

UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
ÁREA DO CONHECIMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIAS

FERNANDO AUGUSTO VACCARO PIRES

**ESCADAS DE CONCRETO ARMADO: ROTINA COMPUTACIONAL DE
DIMENSIONAMENTO**

CAXIAS DO SUL

2019

FERNANDO AUGUSTO VACCARO PIRES

**ESCADAS DE CONCRETO ARMADO: ROTINA COMPUTACIONAL DE
DIMENSIONAMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade de Caxias do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Me. Luciano Zatti

CAXIAS DO SUL

2019

FERNANDO AUGUSTO VACCARO PIRES

**ESCADAS DE CONCRETO ARMADO: ROTINA COMPUTACIONAL DE
DIMENSIONAMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
da Universidade de Caxias do Sul, como
parte dos requisitos para obtenção do título
de Engenheiro Civil.

Aprovado em 29/11/2019

Banca Examinadora

Prof. Me. Luciano Zatti
Universidade de Caxias do Sul

Prof. Me. Gustavo Ribeiro da Silva
Universidade de Caxias do Sul

Prof. Esp. Sergio Paulo da Silva Pacheco
Universidade de Caxias do Sul

RESUMO

Estruturas de concreto armado são largamente utilizadas no mundo da construção civil. No passado, pela falta de conhecimento dos materiais utilizados, e dificuldade de testes laboratoriais, muitas construções eram superdimensionadas. Tal fato não apenas causa maior gasto com materiais, mas também possíveis problemas estruturais, seja pelo excesso de armadura que impede a boa aderência do concreto ou mesmo pelo excesso de peso da estrutura. Com o advento da tecnologia computacional, vários programas foram criados com o intuito de aperfeiçoar o processo de dimensionamento de estruturas de concreto armado, gerando melhores resultados relacionados à segurança e a economia de materiais. Seguindo essa linha, o presente estudo tem por objetivo a criação de uma rotina computacional com a capacidade de dimensionar escadas de concreto armado que sejam armadas transversalmente, longitudinalmente ou que possuam laje em balanço. Além disso, o programa visa projetar estruturas que gerem o menor gasto de materiais possíveis, mas que atendam as normativas em vigor no período de desenvolvimento deste estudo. A linguagem de programação utilizada no presente estudo é a linguagem *Visual Basic for Applications* a qual tem seu uso direcionado ao *software Microsoft Excel*. Através da análise dos resultados obtidos conclui-se que a rotina computacional criada atende aos objetivos descritos nessa pesquisa sendo capaz de calcular escadas de concreto com armaduras transversais, longitudinais e com laje em balanço.

Palavras-chave: Concreto armado. Rotina computacional. Escadas.

ABSTRACT

Reinforced concrete structures are widely used in the construction world. In the past, due to lack of knowledge of the materials used and the difficulty of laboratory tests, many buildings were oversized. Not only is this a major cause of material waste, but it can also cause wear problems, either due to the excess reinforcement that prevents good concrete adhesion or even the excess weight of the structure. With the advancement of computational technology, several programs were created in order to improve the design process of reinforced concrete structures, generating the best results related to safety and material economy. Following this line, the present study aims to create a computational routine capable of dimensioning reinforced concrete structures that are reinforced transversely, longitudinally or have a slab in balance. In addition, the program aims to design structures that generate or lower possible materials expenditures, but that meet the norms in force during the development period of this study. The programming language used in this study is the Visual Basic for Applications language, which has its use directed to the Microsoft Excel software. Through the analysis of the obtained results, it can be concluded that the computational routine created meets the objectives described in this research, being able to of dimensioning reinforced concrete structures that are reinforced transversely, longitudinally or have a slab in balance.

Palavras-chave: Reinforced concrete. Computational routine. Stairs.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Etapas do trabalho	18
Figura 2 – Componentes gerais de uma escada.....	21
Figura 3 – Altura e largura do degrau (escada com e sem bocel).....	24
Figura 4 – Desnível entre pisos e comprimento de uma escada.....	25
Figura 5 – Escada armada longitudinalmente	27
Figura 6 – Escada armada transversalmente.....	28
Figura 7 – Escada com laje em balanço	29
Figura 8 – Relação entre as armaduras e os vãos de uma laje armada em uma única direção	32
Figura 9 – Modelo estrutural de laje com apoios de 2ª ordem	36
Figura 10 – Modelo estrutural de laje com apoio de 3ª ordem	36
Figura 11 – Esforços a considerar em parapeitos	37
Figura 12 – Domínios de estado limite último de uma seção transversal.....	38
Figura 13 – Tipos de ganchos de ancoragem	45
Figura 14 – Mudança de direção das armaduras	46
Figura 15 – Detalhamento das armaduras de uma escada com dois patamares.....	46
Figura 16 – Fluxograma das macroetapas do programa computacional.....	49
Figura 17 – Fluxograma do cadastramento de um novo projeto	50
Figura 18 – Fluxograma do dimensionamento arquitetônico.....	51
Figura 19 – Fluxograma do cadastro dos dados estruturais de projeto.....	52
Figura 20 – Fluxograma do dimensionamento estrutural	54
Figura 21 – Fluxograma do detalhamento das armaduras.....	55
Figura 22 – Fluxograma das especificações de compra	55
Figura 23 – Janela principal	58
Figura 24 – Campo de Cadastro do Projeto.....	59
Figura 25 – Escolha do tipo de dimensionamento arquitetônico	59
Figura 26 – Dimensionamento com base em dimensões fixas	60
Figura 27 – Dimensionamento com base no melhor custo benefício	60
Figura 28 – Opção ajuda do dimensionamento arquitetônico	61
Figura 29 – Opção do detalhe arquitetônico	61
Figura 30 – Imagem de ajuda do detalhe arquitetônico	61

Figura 31 – Campo dos dados estruturais de projeto.....	62
Figura 32 – Seleção do tipo estrutural de escada	62
Figura 33 – Tipo de acesso da escada	62
Figura 34 - Dados dos degraus e do agregado graúdo.....	63
Figura 35 – Caixa de seleção do revestimento dos degraus.....	63
Figura 36 – Caixa de seleção do agregado graúdo do concreto	64
Figura 37 – Análise das flechas da estrutura	64
Figura 38 – Opção ajuda da análise das flechas da estrutura	64
Figura 39 – Visão geral do dimensionamento arquitetônico.....	65
Figura 40 – Análise estrutural.....	66
Figura 41 – Gráficos dos carregamentos, esforços cortantes e momentos fletores ..	66
Figura 42 – Campo das armaduras.....	67
Figura 43 – Seleção da armadura principal e distribuída	67
Figura 44 – Análise da ancoragem das armaduras.....	68
Figura 45 – Detalhamento da escada dimensionada	68
Figura 46 – Campo da análise financeira	69
Figura 47 – Janela dos valores de cálculo	70
Figura 48 – Janela da prancha de impressão	71
Figura 49 – Memorial de cálculo	72

LISTA DE TABELA

Tabela 1 – Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento mínimo de estruturas em concreto armado	19
Tabela 2 – Valores do coeficiente γ_n para lajes em balanço	31
Tabela 3 – Taxas mínimas de armaduras de flexão.....	40
Tabela 4 – Diâmetro dos pinos de dobramento.....	45

LISTA DE SÍMBOLOS

- f_{ck} : resistência característica do concreto (MPa)
- f_{cd} : resistência de cálculo à compressão do concreto (MPa)
- γ_c : coeficiente de minoração da resistência do concreto
- f_{yd} : resistência de cálculo ao escoamento do aço (MPa)
- f_{yk} : resistência característica à tração do aço (MPa)
- γ_s : coeficiente de minoração da resistência à tração do aço
- CA: aço para concreto armado
- N: unidades de passagem
- P: população
- C: capacidade da unidade de passagem
- e: altura do espelho do degrau (cm)
- a: largura do piso do degrau (cm)
- n_e : número inteiro de espelhos
- l_v : desnível entre os pisos (cm)
- n_a : número inteiro de pisos
- l_h : comprimento da escada c(m)
- $l_{patamar}$: largura do patamar (cm)
- n: valor 1, 2 ou 3
- p: resultante dos carregamentos (kN/m²)
- q: resultante das ações variáveis (kN/m²)
- g: resultante das ações permanentes (kN/m²)
- h: espessura da laje (cm)
- d: altura útil da laje (cm)
- h_m : espessura média da escada (cm)
- p_p : peso próprio (kN/m²)
- ρ_c : peso específico do concreto (kN/m³)
- A_{sy} : posição da armadura principal
- A_{sx} : posição da armadura de distribuição
- $P_{d,ser}$: valor de cálculo das ações quase permanente de serviço (kN/m)
- g_k : ações permanentes características (kN/m)

Ψ_{2j} : fator de redução de combinação quase permanente para o estado limite de serviço

q_{ki} : ações variáveis (kN/m)

α_i : coeficiente para o cálculo do módulo de deformação tangencial inicial

E_{ci} : módulo de deformação tangente inicial (MPa)

α_E : coeficiente relacionado ao tipo de agregado

E_{cs} : módulo de elasticidade secante do concreto (MPa)

f_{ctm} : resistência à tração do concreto

m_r : momento de fissuração (kN.m/m)

b : seção de concreto

m_a : momento de serviço, dado em (kN.m/m)

$P_{dV,ser}$: valor de cálculo das ações quase permanentes de serviço verticais (kN/m)

$P_{dH,ser}$: valor de cálculo das ações quase permanentes de serviço horizontais (kN/m)

I_{eq} : momento de inércia equivalente da seção (cm⁴)

I_c : momento de inércia da seção bruta de concreto (cm⁴)

$f_{(t=0)}$: flecha imediata (cm)

$f_{(t=\infty)}$: flecha de longa duração (cm)

f_{adm} : flecha admissível (cm)

k : coeficiente relacionado ao tipo de vinculação da laje

l : vão da laje (m)

m_d : momento de cálculo (kN.m/m)

p : carregamento da estrutura (kN/m²)

x : altura da linha neutra (cm)

c : cobrimento da armadura (cm)

\emptyset : diâmetro das barras da armadura (cm)

A_s : área de aço da armadura principal de flexão (cm²/m)

λ : parâmetro de simplificação do cálculo do estado limite último

α_c : parâmetro de redução da resistência do concreto na compressão

$A_{s,min}$: área mínima da armadura de flexão (cm²/m)

$A_{s,dist}$: área de aço da armadura de distribuição (cm²/m)

V_{sd} : força cortante solicitante de cálculo (kN/m)

V_{Rd1} : força cortante resistente de cálculo (kN/m)

τ_{Rd} : tensão resistente de cálculo do concreto ao cisalhamento (MPa)

ρ_1 : taxa de armadura de tração

f_{ctd} : resistência à tração de cálculo do concreto (MPa)

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

k : coeficiente para o cálculo da força cortante resistente de cálculo

$S_{m\acute{a}x}$: espaçamento máximo (cm)

l_b : comprimento de ancoragem básico (cm)

f_{bd} : resistência de aderência de cálculo da armadura passiva (MPa)

η : coeficiente de conformação superficial

$l_{b,nec}$: comprimento de ancoragem necessário (cm)

$l_{b,m\acute{i}n}$: comprimento de ancoragem mínimo (cm)

α : coeficiente de cálculo do comprimento de ancoragem

$A_{s,ef}$: área de aço efetiva (cm²/m)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVO PRINCIPAL / ESPECÍFICOS	16
1.1.1	Objetivo principal	16
1.1.2	Objetivos específicos	16
1.2	PRESSUPOSTOS	16
1.3	DELIMITAÇÕES	16
1.4	LIMITAÇÕES	17
1.5	DELINEAMENTO	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1	CONCRETO ARMADO	19
2.2	ESCADAS	21
2.2.1	Definição	21
2.2.2	Componentes	21
2.3	PROJETO ARQUITETÔNICO DE ESCADAS DE CONCRETO ARMADO	22
2.3.1	Dimensionamento da largura da escada	23
2.3.2	Dimensionamento dos degraus	24
2.3.3	Dimensionamento dos patamares	26
2.4	PROJETO ESTRUTURAL DE ESCADAS DE CONCRETO ARMADO	26
2.4.1	Tipos de escadas	26
2.4.1.1	<i>Escada armada longitudinalmente</i>	27
2.4.1.2	<i>Escada armada transversalmente</i>	27
2.4.1.3	<i>Escada com laje em balanço</i>	28
2.4.2	Composição dos carregamentos	29
2.4.2.1	<i>Ações permanentes</i>	30
2.4.2.2	<i>Ações variáveis</i>	31
2.4.2.3	<i>Coeficiente adicional para lajes em balanço</i>	31
2.4.3	Dimensionamento segundo o Estado Limite de Serviço – E.L.S.	31
2.4.4	Análise estrutural	35
2.4.5	Dimensionamento segundo o Estado Limite Último – E.L.U.	37
2.4.6	Dispensa de armadura para estribos	41

2.4.7	Espaçamentos mínimos e máximos das armaduras.....	42
2.4.8	Ancoragem das armaduras	42
2.4.9	Detalhamento das armaduras	45
2.4.10	Fôrmas para execução de escadas em concreto armado	47
2.5	ORÇAMENTO DOS INSUMOS NECESSÁRIOS PARA A COMPOSIÇÃO DE ESCADAS DE CONCRETO ARMADO	47
2.6	PRINCÍPIOS BÁSICOS DE PROGRAMAÇÃO	47
3	METODOLOGIA.....	49
4	RESULTADOS.....	57
4.1	JANELA PRINCIPAL	57
4.1.1	Campo de cadastro do projeto	59
4.1.2	Campo de dimensionamento arquitetônico	59
4.2	CAMPO DOS DADOS ESTRUTURAIS DE PROJETO	61
4.2.1	Campo do dimensionamento estrutural	62
4.2.2	Campo da análise estrutural.....	66
4.2.3	Campo das armaduras	66
4.2.4	Campo do detalhamento das armaduras	68
4.2.5	Campo da análise financeira	69
4.3	JANELA DE VALORES DE CÁLCULO	69
4.4	JANELA DA PRANCHA DE IMPRESSÃO	71
4.5	MEMORIAL DE CÁLCULO.....	71
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	73
	REFERÊNCIAS.....	74
	APÊNCIDE A	76
	ANEXO A	81

ANEXO B82

ANEXO C83

ANEXO D83

1 INTRODUÇÃO

O concreto armado, apesar de ter seu uso relativamente recente, é o material construtivo que mais se utiliza no planeta. Sendo composto por barras de aço que têm como função ajudar no seu comportamento frente às solicitações empregadas na estrutura, o concreto armado teve os primeiros ensaios relatados realizados por Mathias Koenem em 1887 (PORTO; FERNANDES, 2015).

Com o passar dos anos e o surgimento da tecnologia digital e, atualmente, o surgimento da Indústria 4.0, que busca aplicar processos de automação e tecnologia da informação aos processos de projeto e execução, a engenharia civil vem se adequando ao uso de diversas tecnologias para acompanhar o ritmo imposto pela sociedade. Tais adequações servem para agilizar processos, muitos deles ligados ao concreto armado, porém é indispensável ter em mente que sempre deve-se distinguir o papel que deve ser exclusivamente do engenheiro e os processos que podem ser realizados por *softwares* (KIMURA, 2019).

Neste contexto, o presente trabalho abordará o dimensionamento de três tipos de escadas em concreto armado, visto que estas estruturas estão presentes na maioria das obras da construção civil. Assim sendo, será desenvolvida uma rotina computacional que siga rigorosamente as prescrições das normas vigentes e da literatura sobre estruturas de concreto armado.

A rotina terá o intuito de auxiliar o engenheiro no processo de dimensionamento das escadas em concreto armado, de modo a agilizar as escolhas de projeto e principalmente o procedimento de cálculo, que será totalmente automatizado. Assim, ao utilizar o programa computacional, o usuário poupará o tempo da revisão dos cálculos e de pesquisa de equações que porventura não tenha domínio, ficando de sua responsabilidade as análises de engenharia sobre a estrutura projetada.

Outro benefício do programa computacional se refere à análise do consumo de insumos necessários para a composição das escadas projetadas, juntamente com seus orçamentos. Deste modo, ao término do projeto o engenheiro poderá avaliar, também, o custo-benefício da estrutura e fazer a escolha que melhor atenda às suas necessidades, com base nos memoriais de cálculo.

Por fim, destaca-se o baixo custo para a aquisição da plataforma em que o programa é capaz de funcionar, visto que basta o usuário possuir uma licença do

software Microsoft Excel, cujo valor de aquisição é consideravelmente inferior ao de outras plataformas que podem ser utilizadas para o cálculo de estruturas de engenharia.

1.1 OBJETIVO PRINCIPAL / ESPECÍFICOS

1.1.1 Objetivo principal

Criar um programa computacional de auxílio ao engenheiro civil capaz de dimensionar escadas em concreto armado que sejam armadas transversalmente, longitudinalmente e com laje em balanço, através de rotina computacional em linguagem VBA.

1.1.2 Objetivos específicos

- a) quantificar os principais insumos necessários para cada escada projetada;
- b) avaliar economicamente o investimento necessário para aquisição dos principais insumos de cada escada;
- c) gerar memorial de cálculo.

1.2 PRESSUPOSTOS

É pressuposto que as normas brasileiras a seguir apresentadas são válidas para esta pesquisa:

- a) NBR 6118:2014 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento;
- b) NBR 9050:2015 – Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos;
- c) NBR 9077:2001 – Saídas de emergência em edifícios;
- d) NBR 6120:1980 – Cargas para o cálculo de estruturas de edificações.

1.3 DELIMITAÇÕES

Dimensionar escadas de concreto que sejam armadas transversalmente, longitudinalmente e com laje em balanço, dimensionadas através de rotina

computacional em linguagem *Visual Basic for Applications* para execução no *software Excel*.

1.4 LIMITAÇÕES

Este trabalho limita-se a:

- a) considerar apenas a influência de forças verticais e aplicar a metodologia de pré-dimensionamento e dimensionamento de escadas presentes na bibliografia consultada e nas recomendações das normas vigentes;
- b) usar linguagem *Visual Basic for Applications* para criação da rotina computacional.

1.5 DELINEAMENTO

O presente estudo tem como ponto inicial a pesquisa bibliográfica com o intuito de aprofundar os conhecimentos sobre os métodos possíveis de dimensionamento de escadas em concreto armado. As principais fontes de pesquisa são livros, normas técnicas, artigos científicos e trabalhos acadêmicos.

A segunda etapa se desenvolve com a aplicação da metodologia pesquisada durante a revisão bibliográfica através da criação de fluxogramas que representem as etapas da criação da rotina computacional em linguagem *Visual Basic for Applications* para uso no *software Microsoft Excel*.

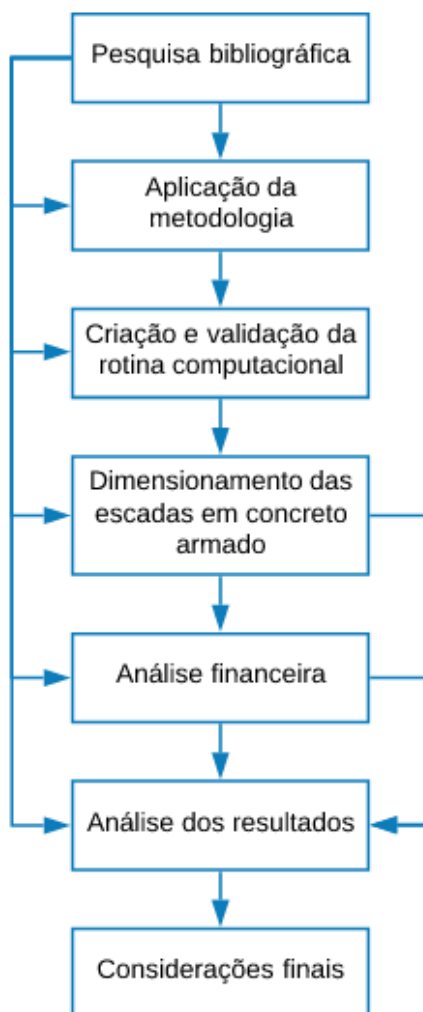
Em sequência desenvolve-se a validação da rotina computacional através da realização de exemplos já resolvidos na bibliografia consultada, dimensionando-se escadas de concreto que sejam armadas transversalmente, longitudinalmente e com laje em balanço.

Após o dimensionamento há o processo de análise financeira da escada projetada, através de uma estimativa de custo do aço, da madeira e do concreto para a execução da escada projetada.

Por fim, conclui-se este estudo com as considerações finais.

A Figura 1 ilustra a sequência das etapas necessárias para o desenvolvimento desta pesquisa acadêmica.

Figura 1 – Etapas do trabalho



Fonte: Autor (2019).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONCRETO ARMADO

O concreto armado é a união entre o concreto estrutural e o aço em quantidade não inferior ao mínimo estabelecido pela ABNT NBR 6118:2014. Segundo a referida norma, é necessário, ainda, para considerar um elemento como sendo de concreto armado, que haja a aderência entre o concreto e a armadura de aço, sendo esta última livre de alongamentos anteriores à consumação da aderência, sendo denominada de armadura passiva.

Conforme a ABNT NBR 12655:2015 o concreto é composto pela homogeneização entre cimento, agregados – graúdo e miúdo – e água, podendo conter aditivos químicos. No que se refere a resistência característica do concreto (f_{ck}) a sua classificação é obtida através da ABNT NBR 8953:2015, que prescreve que concretos estruturais devem possuir classe de resistência igual ou superior a 20 MPa.

A ABNT NBR 6118:2014 destaca a relação da resistência característica do concreto à compressão com a classe de agressividade ambiental, em busca de garantir solidez e eficácia à estrutura projetada em função dos agentes presentes no meio ao qual ela será inserida. Para o caso de edificações urbanas em que a agressividade é moderada e o risco de agressão à estrutura por agentes externos for pequeno, a agressividade ambiental é definida como classe II. A Tabela 1 indica os cobrimentos nominais mínimos que devem ser considerados em projetos de estruturas de concreto armado (ABNT NBR 6118:2014).

Tabela 1 – Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento mínimo de estruturas em concreto armado

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental			
		I	II	III	IV
		Cobrimento nominal em mm			
Concreto armado	Laje	20	25	35	45
	Viga/Pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo	30	30	40	50

Fonte: Adaptado da ANBT NBR 6118:2014.

Em prol da segurança, a resistência característica do concreto e do aço devem ser minoradas, através de coeficientes de ponderação. Deste modo, sempre que se referir à resistência de cálculo, considera-se que os fatores de minoração já foram previamente inseridos. Para combinações normais, as Equações 1 e 2 apresentam, respectivamente, a resistência de cálculo do concreto e do aço (ABNT NBR 6118:2014).

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \quad (1)$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \quad (2)$$

Onde:

f_{cd} = resistência de cálculo à compressão do concreto (MPa);

f_{ck} = resistência característica à compressão do concreto (MPa);

γ_c = coeficiente de minoração da resistência do concreto, com valor 1,4;

f_{yd} = resistência de cálculo ao escoamento do aço (MPa);

f_{yk} = resistência característica à tração do aço (MPa);

γ_s = coeficiente de minoração da resistência à tração do aço, com valor de 1,15.

No que se refere ao aço que compõe o concreto armado, este tem como principal característica resistir aos esforços de tração sofridos pela estrutura. Utiliza-se o prefixo CA para intitular as barras e fios de aço indicados ao uso em estruturas de concreto armado. As categorias de aço são: CA – 25, CA – 40, CA – 50 e CA – 60, sendo a categoria CA – 50 a mais usual para a construção civil devido às suas características econômicas (FUSCO, 2013).

O valor característico de escoamento do aço é designado segundo o f_{yk} , que representa o ponto onde o aço escoar. Sendo assim, os valores mínimos de tensão de escoamento que os aços mais utilizados na composição de estruturas de concreto armado devem apresentar são (PINHEIRO; CRIVELARO, 2016):

- a) CA 25 – 25 kgf/mm²;
- b) CA 50 – 50 kgf/mm²;
- c) CA 60 – 60 kgf/mm².

2.2 ESCADAS

2.2.1 Definição

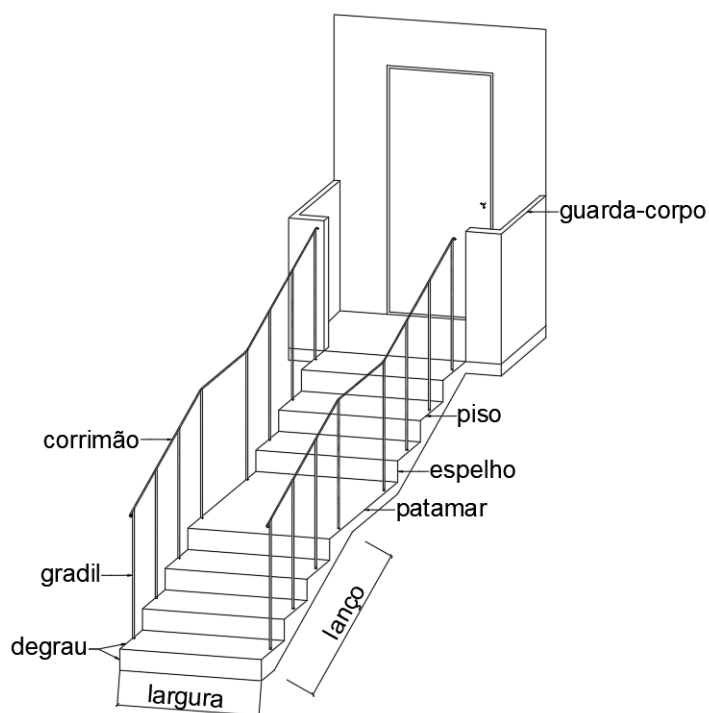
Na literatura existem vários significados para o termo escada, um deles é que a escada é “Uma sequência de três degraus ou mais.” (ABNT NBR 9050:2015, p.62). Esta mesma definição é prescrita pela Lei Complementar N° 375 do município de Caxias do Sul (2010), que complementa que escada é um elemento que serve para viabilizar a circulação vertical para vencer desníveis de dois ou mais pavimentos.

2.2.2 Componentes

As escadas possuem, na sua maioria, componentes em comum, os quais podem ser definidos através do projeto arquitetônico, como o piso, o espelho, a largura e o patamar. Outros, são baseados segundo o projeto estrutural, como por exemplo a altura da escada (SANTOS, 2017).

A Figura 2 apresenta alguns dos principais componentes formadores de uma escada.

Figura 2 – Componentes gerais de uma escada



Fonte: Autor (2019).

O degrau é formado pela união entre o piso e o espelho, estruturas horizontal e vertical, respectivamente. Já o lanço de escada é tido como o conjunto de degraus, sem interrupção, existente entre dois patamares consecutivos (ABNT NBR 9077:2001).

No que se refere à estrutura do patamar, este é entendido como sendo um trecho horizontal destinado ao descanso dos usuários de uma escada ou de uma rampa (MONTENEGRO, 2017).

Os guarda-corpos são os elementos de proteção localizados nas bordas das escadas, os quais podem ser chamados de gradil quando forem compostos na forma de grades. Os guarda-corpos estão presentes em escadas que não possuem o fechamento de suas bordas, com a função de evitar a queda do usuário da escada (ABNT NBR 14718:2008).

No que se refere aos corrimãos, estes devem ser compostos por uma barra ou cano liso, de formato arredondado e sem descontinuidades, em busca de oferecer apoio aos usuários das escadas no seu deslocamento (ABNT NBR 9077:2001).

Em complemento tem-se a prescrição encontrada na ABNT NBR 9050:2015, que afirma que os corrimãos devem ser estruturas rígidas que podem ou não estarem vinculadas aos guarda-corpos.

Sobre o espelho de um degrau pode haver um acréscimo do comprimento do piso, o qual denomina-se bocel ou nariz do degrau, na sua ausência, deve existir uma inclinação na linha de concorrência dos planos do degrau e do espelho, chamada de quina do degrau (ABNT NBR 9077:2001).

2.3 PROJETO ARQUITETÔNICO DE ESCADAS DE CONCRETO ARMADO

O projeto arquitetônico de uma escada geralmente faz parte das atribuições dos arquitetos, que irão determinar, conforme afirma Santos (2017), as dimensões do piso, do espelho, da largura e do patamar das escadas. Porém, não é incomum que os engenheiros civis também realizem tal tarefa na falta de especificações no projeto arquitetônico. Para compor a geometria das escadas de concreto armado duas normativas que devem ser seguidas são:

- a) norma ABNT NBR 9050:2015 – Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos;
- b) norma ABNT NBR 9077:2001 – Saídas de emergência em edifícios.

A ABNT NBR 9050:2015, se auto define como tendo a função permitir que toda e qualquer pessoa, possa usufruir de modo autônomo, independente e seguro das edificações construídas, ampliadas ou reformadas durante o período que a mesma estiver em vigor.

A ABNT NBR 9050:2015 prescreve, ainda, as condições para que os ocupantes de uma edificação possam abandoná-la em segurança em caso de incêndio.

2.3.1 Dimensionamento da largura da escada

A largura da escada dá-se devido a capacidade de tráfego que a mesma deve atender considerando os pavimentos que servirem aos usuários, de modo que a Equação 3 é indicada para a determinação da largura das escadas (ABNT NBR 9077:2001):

$$N = \frac{P}{C} \quad (3)$$

Na qual:

N = unidades de passagem – arredondado para número inteiro imediatamente superior;

P = população;

C = capacidade da unidade de passagem.

Para edifícios residenciais recomenda-se utilizar uma população de duas pessoas por dormitório e o valor de 45 para a capacidade da unidade de passagem para as escadas (ABNT NBR 9077:2001).

A largura mínima das escadas deve ser de 1,10 m, o que corresponde a duas unidades de passagem – cada unidade de passagem é definida como tendo largura mínima de 55 cm – em edificações em geral. Em casos de edificações especiais, como por exemplo os hospitais e afins, a referida norma estabelece o valor mínimo da largura das escadas como sendo de 2,20 m (ABNT NBR 9077:2001).

Em contra partida a ABNT NBR 9050:2015 é mais conservadora e prescreve o valor mínimo de largura das escadas como sendo de 1,20 m, mesmo valor encontrado na Lei Complementar de Caxias do Sul para habitações multifamiliares.

2.3.2 Dimensionamento dos degraus

O dimensionamento geométrico dos degraus é de suma importância para garantir conforto e segurança ao usuário. É indicado o uso da relação de Blondel apresentada na Equação 4, a qual foi desenvolvida tendo por base o passo de uma pessoa em marcha normal (ABNT NBR 9050:2015).

$$63 \text{ cm} \leq (2e + a) \leq 65 \text{ cm} \quad (4)$$

Em que:

e = altura do espelho do degrau (cm);

a = largura do piso do degrau (cm).

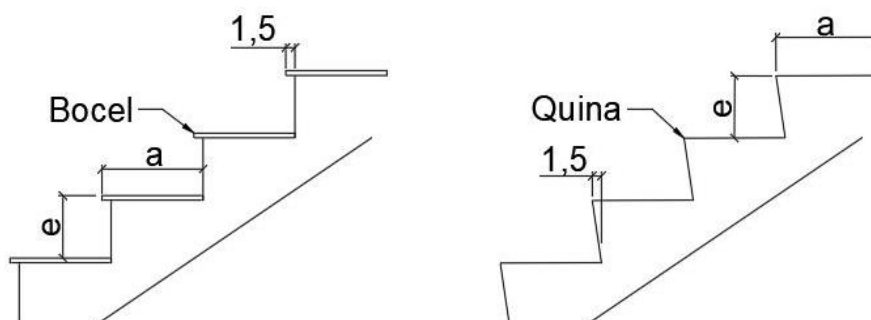
O limite mínimo de 63 cm e máximo de 65 cm para a relação de Blondel prescritos na ABNT NBR 9050:2015 não é unânime em todas as literaturas que tratam do tema. A ABNT NBR 9077:2001, define como limites mínimo e máximo, os valores de 63 cm e 64 cm, respectivamente, enquanto Santos (2017) e Machado (1977), indicam os valores de 62 cm e 64 cm, no entanto a ABNT NBR 9050:2015, se mostra mais completa ao especificar outros valores a serem atendidos durante o processo de dimensionamento geométrico dos degraus, tais como:

a) largura do piso (a): $28 \text{ cm} \leq a \leq 32 \text{ cm}$;

b) altura do espelho (e): $16 \text{ cm} \leq e \leq 18 \text{ cm}$.

Ainda com relação a composição dos degraus, tanto a ABNT NBR 9077:2001 quanto a ABNT NBR 9050:2015 indicam o comprimento do bocel e da quina como sendo no mínimo 1,5 cm. A Figura 3 ilustra a composição dos degraus.

Figura 3 – Altura e largura do degrau (escada com e sem bocel)



Fonte: Adaptado da ABNT NBR 9077:2001.

Juntamente com o dimensionamento geométrico dos degraus deve-se projetar a quantidade de degraus que a escada possuirá. Deste modo utiliza-se a Equação 5 e a Equação 6 para calcular a quantidade de espelhos e a quantidade de degraus, respectivamente (MACHADO, 1977).

$$n_e = \frac{l_v}{e} \quad (5)$$

$$n_a = \frac{l_h}{a} \quad (6)$$

Nas quais:

n_e = número inteiro de espelhos;

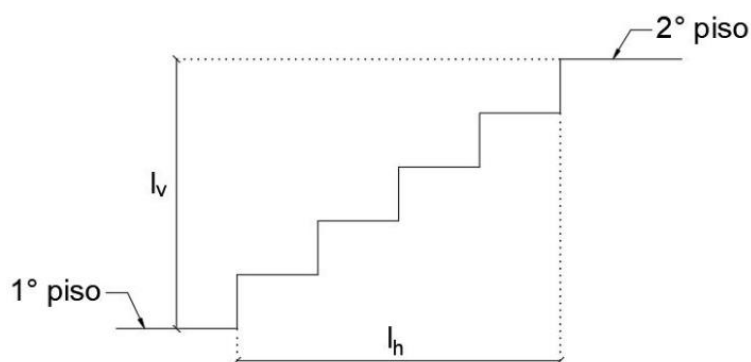
l_v = desnível entre os pisos (cm);

n_a = número inteiro de pisos;

l_h = comprimento da escada (cm).

A Figura 4 representa o desnível entre os pisos e o comprimento de uma escada.

Figura 4 – Desnível entre pisos e comprimento de uma escada



Fonte: adaptado de Machado (1977).

Devido ao fato de que o piso do último degrau de uma escada coincide com o piso da laje superior, pode-se considerar que o número de espelhos de uma escada será o número de pisos desta escada menos um, como consta na Equação 7 (MACHADO, 1977).

$$n_a = n_e - 1 \quad (7)$$

2.3.3 Dimensionamento dos patamares

Ao dimensionar uma escada, deve-se ficar atento que “As escadas devem ter no mínimo um patamar a cada 3,20 m de desnível e sempre que houver mudança de direção.” (ABNT NBR 9050:2015, p. 62).

A Equação 8 é indicada para a realização do cálculo do comprimento dos patamares em função do número de patamares, da altura do espelho e da largura do piso da escada (ABNT NBR 9077:2001).

$$l_{\text{patamar}} = (2e + a) n + a \quad (8)$$

A qual tem:

l_{patamar} = largura do patamar (cm);

n = valor 1, 2 ou 3 quando se referir à escada reta.

2.4 PROJETO ESTRUTURAL DE ESCADAS DE CONCRETO ARMADO

A ABNT NBR 6118:2014 se auto define como sendo a responsável por prescrever as condições mínimas a serem seguidas em um projeto de estruturas de concreto simples ou armado. Dentre os inúmeros procedimentos tratados pela referida normativa, especificamente para escadas em concreto armado pode-se destacar: a composição do carregamento da estrutura, a análise estrutural, o dimensionamento e o detalhamento das armaduras.

2.4.1 Tipos de escadas

Existem inúmeros tipos de escadas na literatura, tais como as com armadura transversal, armadura longitudinal, em cruz, com patamar, com laje em balanço, em viga reta e degraus em balanço, em espiral, em cascata – com degraus engastados um a um – entre outras (MELGES et al., 1997).

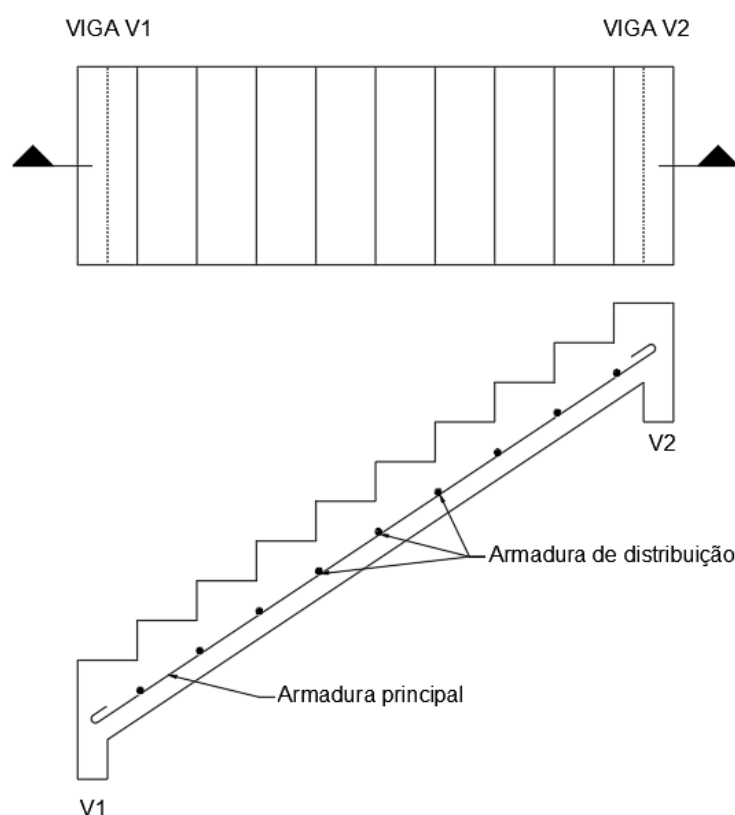
Dentre os inúmeros tipos de escadas, o presente estudo tem por objetivo analisar estruturalmente três tipos de escadas, sendo elas as escadas armadas longitudinalmente, as escadas armadas transversalmente e as escadas com laje em balanço.

2.4.1.1 Escada armada longitudinalmente

As escadas armadas longitudinalmente caracterizam-se por possuírem as armaduras principais arranjadas longitudinalmente na face inferior da estrutura, em contra partida, as armaduras de distribuição organizam-se transversalmente (ROCHA, 1969).

A Figura 5 exemplifica uma escada armada longitudinalmente.

Figura 5 – Escada armada longitudinalmente



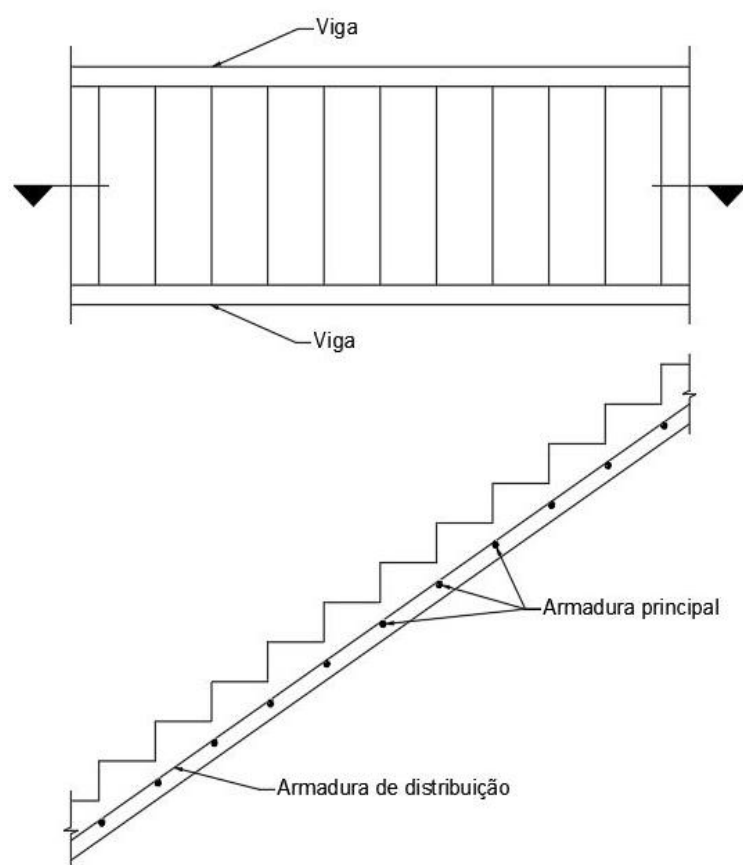
Fonte: Adaptado de Melges et al. (1997).

2.4.1.2 Escada armada transversalmente

As escadas armadas transversalmente, como o próprio nome sugere, têm a armadura principal localizada transversalmente ao sentido do fluxo de passagem dos usuários. Por outro lado, as vigas que dão suporte à estrutura estão dispostas paralelamente ao fluxo de passagem dos usuários. Rocha (1969, p. 678), evidencia tal situação, quando afirma que “Nas escadas armadas transversalmente, os apoios serão vigas ou paredes situadas longitudinalmente nas faces laterais da escada”.

No que diz respeito ao consumo de materiais no dimensionamento deste tipo de escadas, Rocha (1969), indica haver resultados com grande grau de economia em relação ao aço, visto que a espessura média do lanço tende a possuir um valor elevado devido a influência da altura do espelho do degrau. Ainda, segundo o autor, ao optar por um valor mínimo para a espessura da laje – que seja suficiente para obter armaduras com bitolas reduzidas – a consequência será o menor consumo de concreto e de fôrmas de madeira devido as menores dimensões da estrutura. A Figura 6 apresenta uma escada de concreto armada transversalmente.

Figura 6 – Escada armada transversalmente



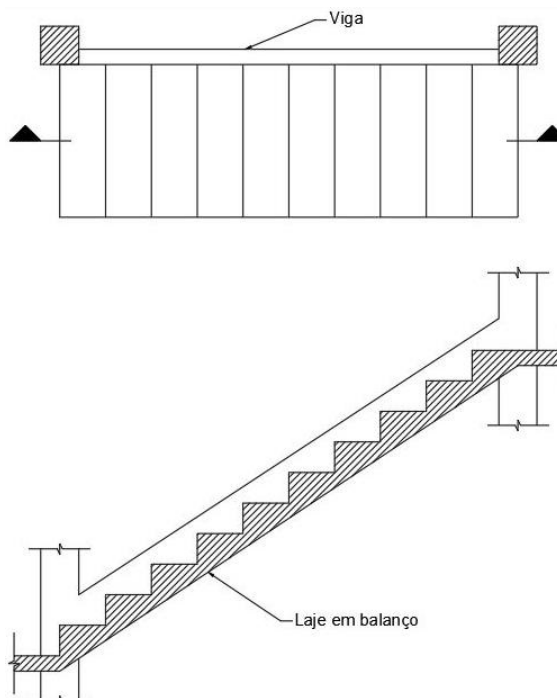
Fonte: Adaptado de Melges et al. (1997).

2.4.1.3 Escada com laje em balanço

As escadas com laje em balanço possuem em uma de suas extremidades o engaste em uma viga como forma de apoio enquanto que a extremidade oposta encontra-se livre. Este tipo de escada possui armadura em uma única direção, tendo a armadura negativa como a principal forma de armadura (MELGES et al., 1997).

Na Figura 7 está apresentado o exemplo de uma escada com laje em balanço.

Figura 7 – Escada com laje em balanço



Fonte: Adaptado de Rocha (1969).

2.4.2 Composição dos carregamentos

Na composição dos carregamentos de estruturas em concreto armado, deve-se majorar os carregamentos a favor da segurança. Tanto as ações permanentes quanto as ações variáveis devem ser multiplicadas por 1,4 em condições normais de combinações quando for analisado o Estado Limite Último (ABNT NBR 6118:2014).

Os carregamentos atuantes nas escadas de concreto armado, com base nas indicações da ABNT NBR 6118:2014, são providas das ações permanentes e das ações variáveis, segundo a Equação 9:

$$p = q + g \quad (9)$$

Em que:

p = resultante dos carregamentos atuantes na escada (kN/m^2);

q = resultante das ações variáveis (kN/m^2);

g = resultante das ações permanentes (kN/m^2).

2.4.2.1 Ações permanentes

As ações permanentes são as que ocorrem com valores praticamente constantes durante toda a vida da construção. Também são consideradas permanentes as ações que aumentam no tempo, tendendo a um valor-limite constante (ABNT NBR 6118:2014, p. 56).

As ações permanentes a serem consideradas no dimensionamento de escadas de concreto armado são o peso próprio e os revestimentos (MELGES et al., 1997).

No que se refere ao peso próprio, é conveniente calculá-lo por metro quadrado de projeção horizontal, relacionando a espessura média da escada com a massa específica do concreto armado. Deve-se iniciar encontrando o valor da espessura da laje, segundo a Equação 10 (ROCHA, 1969):

$$h = \frac{\sqrt{a^2 + e^2}}{a} \cdot d \quad (10)$$

Onde:

h = espessura da laje (cm);

d = altura útil da laje (cm).

A Equação 11 indica como calcular a espessura média de uma escada de concreto, enquanto a Equação 12 indica como obter o peso próprio por metro quadrado.

$$h_m = h + \frac{e}{2} \quad (11)$$

Em que:

h_m = espessura média da escada (cm).

$$p_p = \rho_c \cdot h_m \quad (12)$$

Onde:

p_p = peso próprio por metro quadrado (kN/m²);

ρ_c = peso específico do concreto em (kN/m³).

O peso específico do concreto armado é definido como sendo igual a 25 kN/m³ (ABNT NBR 6120:1980).

Com relação ao peso do revestimento o Anexo A apresenta os pesos específicos dos materiais mais utilizados na construção civil. Para obter o peso por metro quadrado de revestimento basta multiplicar o peso específico do material utilizado para o revestimento pela sua espessura (ABNT NBR 6120:1980).

Cabe destacar que caso a escada possua revestimento inferior – forro – o mesmo deve ser considerado (ROCHA, 1969).

2.4.2.2 Ações variáveis

No que se refere às ações variáveis, estas são ações providas do uso da estrutura. Deve-se atender aos valores prescritos na ABNT NBR 6120:1980 de 3,0 kN/m² para escadas com acesso ao público e 2,5 kN/m² para as escadas que não possuem acesso ao público (MELGES et al., 1997).

2.4.2.3 Coeficiente adicional para lajes em balanço

Ao dimensionar lajes em balanço, os esforços solicitantes de cálculo devem ser majorados conforme a altura da laje, por um coeficiente adicional γ_n (ABNT NBR 6118:2014).

A Tabela 2 apresenta os valores do coeficiente γ_n para lajes em balanço.

Tabela 2 – Valores do coeficiente γ_n para lajes em balanço

$h^{(1)}$ (cm)	≥ 19	18	17	16	15	14	13	12	11	10
$\gamma_n^{(2)}$	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45

Fonte: Adaptado da ANBT NBR 6118:2014.

(1) h é a altura da laje, expressa em centímetros.

(2) $\gamma_n = 1,95 - 0,05 h$.

2.4.3 Dimensionamento segundo o Estado Limite de Serviço – E.L.S.

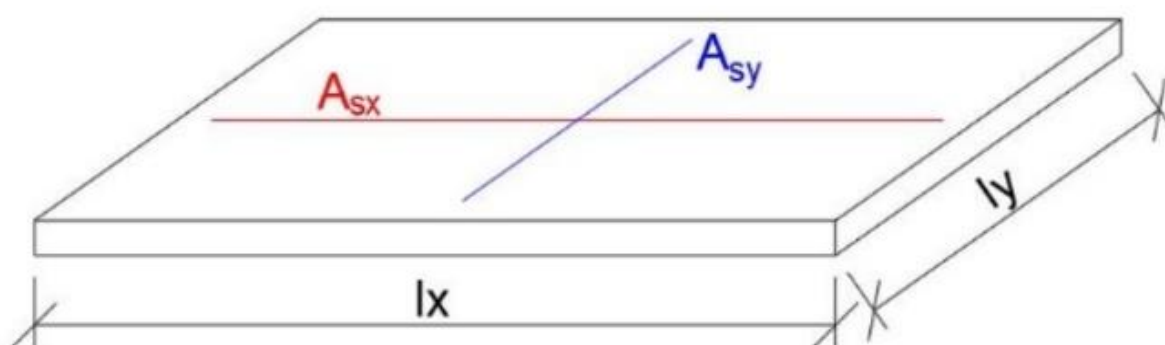
As escadas analisadas neste estudo são as que possuem características que as possibilitem serem dimensionadas como lajes armadas em uma direção, ou seja,

em apenas uma das direções será calculada a armadura, para a outra direção atribua-se o valor mínimo de armadura exigido segundo a ANBT NBR 6118:2014.

Quando a relação entre os vãos de uma laje for maior que duas vezes a laje será armada em uma direção. Assim, possuirá armadura principal na direção do menor vão, devido ao fato deste apresentar momento fletor de maior relevância (ARAÚJO, 2003).

A Figura 8 ilustra o posicionamento da armadura principal (A_{sy}) e armadura de distribuição (A_{sx}) com relação ao maior vão de uma laje (l_x) e o menor vão (l_y).

Figura 8 – Relação entre as armaduras e os vãos de uma laje armada em uma única direção



Fonte: Autor (2019).

As lajes devem possuir no mínimo 8 cm quando servirem de piso não em balanço e 10 cm quando estiverem em balanço (ANBT NBR 6118:2014).

Para garantir que a espessura pré-determinada da laje seja suficiente para suportar as deformações excessivas provenientes das ações que forem impostas sobre a estrutura, deve-se verificar o atendimento ao estado limite de serviço (E.L.S). Para tal verificação se inicia pelo cálculo das cargas de serviço segundo a Equação 13, seguido do cálculo do módulo de elasticidade secante do concreto (CAMPOS FILHO, 2014).

$$P_{d,ser} = \sum g_k + \sum_{i=1}^n \Psi_{2i} q_{ki} \quad (13)$$

Onde:

$P_{d,ser}$ = valor de cálculo das ações quase permanente de serviço (kN/m);

g_k = ações permanentes características (kN/m);

Ψ_{2j} = fator de redução de combinação quase permanente para o E.L.S;
 q_{ki} = ações variáveis (kN/m).

Deve-se adotar o valor de 0,3 para o fator de redução de combinações quase permanente Ψ_{2j} para edifícios residenciais em que não há a predominância de equipamentos pesados por um longo período (ANBT NBR 6118:2014).

Para o cálculo do módulo de elasticidade secante do concreto é necessário ter o valor do coeficiente α_i e do módulo de deformação tangente inicial, para concretos com f_{ck} entre 20 MPa a 50 MPa, segundo as Equações 14 e 15, respectivamente (ANBT NBR 6118:2014).

$$\alpha_i = 0,8 + 0,2 \cdot \frac{f_{ck}}{80} \leq 1,0 \quad (14)$$

$$E_{ci} = \alpha_E \cdot 5600 \sqrt{f_{ck}} \quad (15)$$

Em que:

E_{ci} = módulo de deformação tangente inicial (MPa);

$\alpha_E = 1,2$ para basalto e diabásio;

$\alpha_E = 1,0$ para granito e gnaisse;

$\alpha_E = 0,9$ para calcário;

$\alpha_E = 0,7$ para arenito.

Calcula-se, então o módulo de elasticidade secante do concreto conforme a Equação 16, com a finalidade de encontrar a flecha imediata (ANBT NBR 6118:2014).

$$E_{cs} = \alpha_i \cdot E_{ci} \quad (16)$$

Onde:

E_{cs} = módulo de elasticidade secante do concreto (MPa).

Tendo encontrado o valor de E_{cs} , deve-se calcular o valor médio da resistência à tração do concreto, Equação 17, em prol de determinar o momento de fissuração da estrutura, segundo a Equação 18 e o momento de serviço, Equação 19 (CAMPOS FILHO, 2014).

$$f_{ctm} = 0,3 \sqrt[3]{f_{ck}^2} \quad (17)$$

$$m_r = 0,25 f_{ctm} b h^2 \quad (18)$$

$$m_a = \frac{P_{d,ser} l^2}{2} + P_{dV,ser} l + P_{dH,ser} (1m) \quad (19)$$

Onde:

f_{ctm} = resistência à tração para concretos de até 50 MPa;

m_r = momento de fissuração (kN.m/m);

b = seção de concreto igual a 1 m;

m_a = momento de serviço (kN.m/m);

$P_{dV,ser}$ = valor de cálculo das ações quase permanentes de serviço verticais (kN/m);

$P_{dH,ser}$ = valor de cálculo das ações quase permanentes de serviço horizontais (kN/m).

Devido ao fato de que a armadura ainda não foi definida não é possível a determinação da rigidez da estrutura, sendo assim, se estima o momento de inércia da seção, segundo a seguinte relação (CAMPOS FILHO, 2014):

$$\text{se } m_a \leq m_r \rightarrow I_{eq} = I_c$$

$$\text{se } m_a > m_r \rightarrow I_{eq} = 0,30 I_c$$

Onde:

I_{eq} = momento de inércia equivalente da seção (cm⁴);

I_c = momento de inércia da seção bruta de concreto (cm⁴).

O momento de inércia da seção bruta de concreto é calculado conforme a Equação 20:

$$I_c = \frac{b h^3}{12} \quad (20)$$

Para concluir o processo de análise da segurança em relação ao estado limite de serviço, realiza-se o cálculo da flecha imediata, da flecha de longa duração e da flecha admissível, segundo as Equações 21, 22 e 23 (CAMPOS FILHO, 2014).

$$f_{(t=0)} = \frac{P_{d,ser} l_y^4}{E_{cs} I_{eq} 0,1} \quad (21)$$

$$f_{(t=\infty)} = (1 + \alpha_f) \quad (22)$$

$$f_{adm} = \begin{cases} \frac{1}{250} & \text{para laje não em balanço;} \\ \frac{1}{125} & \text{para laje em balanço.} \end{cases} \quad (23)$$

Nas quais:

$f_{(t=0)}$ = flecha imediata (cm);

$f_{(t=\infty)}$ = flecha de longa duração (cm);

f_{adm} = flecha admissível (cm);

l = vão da laje (cm).

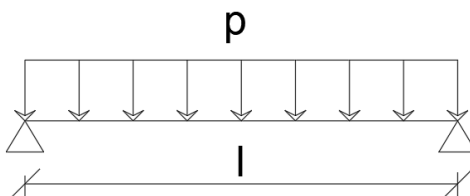
A laje estará segura em relação ao estado limite de serviço de deformações caso o valor da flecha admissível seja maior que o valor da flecha de longa duração. Não sendo verificada esta afirmação, deve-se aumentar o valor pré-determinado da espessura da laje de 1 cm em 1 cm, repetindo a sequência de cálculos da verificação do estado limite de serviço, em busca do menor valor para a espessura da laje que resulte em uma flecha de longa duração inferior à flecha admissível. Outra possibilidade é aumentar a resistência característica do concreto à compressão (CAMPOS FILHO, 2014).

2.4.4 Análise estrutural

“O objetivo da análise estrutural é determinar os efeitos das ações em uma estrutura, com a finalidade de efetuar verificações dos estados-limites último e de serviço.” (ANBT NBR: 6118:2014, p. 81).

Escadas armadas transversalmente e longitudinalmente possuem apoios de 2ª ordem e, assim, pode-se usar o modelo estrutural da Figura 9.

Figura 9 – Modelo estrutural de laje com apoios de 2ª ordem



Fonte: Adaptado de Campos Filho (2014).

Nas lajes com apoios de segunda ordem em ambas as suas extremidades, para o cálculo do momento fletor utiliza-se a Equação 24, e para o cálculo dos esforços cortantes a Equação 25 (CAMPOS FILHOS, 2014).

$$m_d = \frac{pl^2}{8} \quad (24)$$

$$r = \frac{pl}{2} \quad (25)$$

Onde:

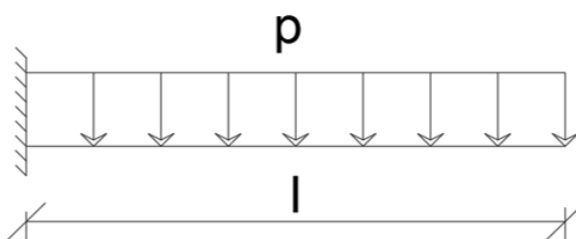
m_d = momento de cálculo (kN.m/m);

p = carregamento da estrutura (kN/m²);

l = vão da laje (m).

O modelo estrutural para escadas com laje em balanço, e conseqüentemente apoios de 3ª ordem, é representado na Figura 10.

Figura 10 – Modelo estrutural de laje com apoio de 3ª ordem



Fonte: Adaptado de Campos Filho (2014).

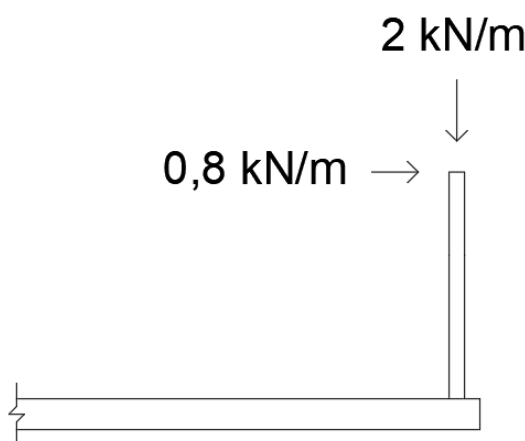
Para lajes em balanço os cálculos do momento fletor e reação de apoio podem ser obtidos segundo as Equações 26 e 27, respectivamente (MELGES et al., 1997):

$$m = \frac{pl^2}{2} \quad (26)$$

$$r = pl \quad (27)$$

Em escadas com lajes em balanço, deve-se acrescentar 0,8 kN/m de esforço horizontal na altura do corrimão, além de no mínimo 2 kN/m como sendo uma carga vertical localizada no decorrer da extremidade livre da laje em balanço, como ilustrado na Figura 11 (ANBT NBR 6120:1980).

Figura 11 – Esforços a considerar em parapeitos



Fonte: Adaptado de Melges et al. (1997).

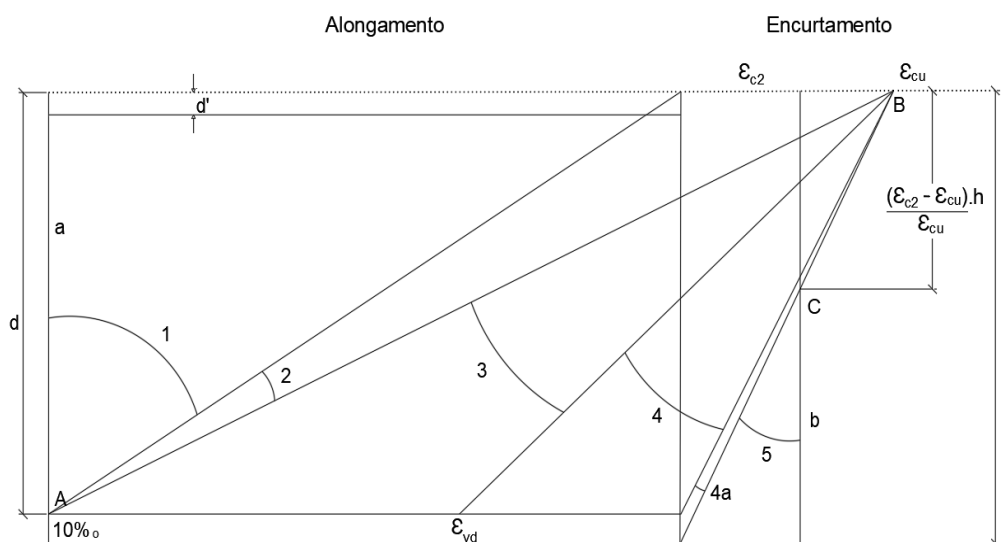
2.4.5 Dimensionamento segundo o Estado Limite Último – E.L.U.

O estado limite último refere-se ao colapso da estrutura ou a qualquer tipo de ruína capaz de interromper sua utilização, portanto, dimensionar uma estrutura de concreto armado segundo o E.L.U é garantir o mínimo de chances de que uma estrutura colapse (ANBT NBR 6118:2014).

Para a realização da análise o E.L.U nas seções das estruturas de concreto armado, deve-se ter como hipótese que as seções transversais se conservam planas após a deformação, de maneira que as deformações de cada ponto da seção transversal sejam proporcionais à sua distância em relação a linha neutra. Outras

hipóteses a serem aceitas são de que as tensões de tração do concreto, normais à seção transversal são desprezadas e que o E.L.U é definido conforme o domínio ao qual a distribuição das deformações na seção transversal da estrutura pertencer, segundo a Figura 12 (ANBT NBR 6118:2014).

Figura 12 – Domínios de estado limite último de uma seção transversal



Fonte: Adaptado da ANBT NBR 6118:2014.

Os cinco domínios ilustrados na Figura 13, representam:

- domínio 1: tração não uniforme, de modo a não existir compressão;
- domínio 2: flexão simples ou composta onde não há compressão do concreto;
- domínio 3: flexão simples ou composta ocorrendo a ruptura à compressão do concreto e o escoamento do aço;
- domínio 4: flexão composta em que ocorre a compressão das armaduras;
- domínio 5: compressão heterogênea sem a presença de tração.

As lajes armadas em uma direção podem ser analisadas segundo o E.L.U como sendo placas pertencentes ao regime rígido plástico. Sendo assim, é necessário que a estrutura possua comportamento dúctil – para que um eventual colapso dê sinais que irá ocorrer – o qual é obtido, segundo a ANBT NBR 6118:2014, quando a relação entre a altura da linha neutra (x) e a altura útil da laje (d) atender aos seguintes requisitos:

$$\frac{x}{d} \leq \begin{cases} 0,45 & \text{se } f_{ck} \leq 50 \text{ MPa;} \\ 0,35 & \text{se } 50 \text{ MPa} < f_{ck} \leq 90 \text{ MPa.} \end{cases}$$

A altura útil da laje (d) é definida segundo a Equação 28.

$$d = h - c - \frac{\emptyset}{2} \quad (28)$$

Onde:

h = espessura da laje (cm);

c = cobrimento da armadura (Tabela 1);

\emptyset = diâmetro das barras da armadura (cm).

As Equações 29 e 30, são utilizadas para o cálculo da linha neutra e da armadura dimensionada à flexão simples, respectivamente (CAMPOS FILHO, 2014):

$$x = \frac{d}{\lambda} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 m_d}{\alpha_c f_{cd} b d^2}} \right) \quad (29)$$

$$A_s = \frac{\alpha_c \lambda f_{cd} b x}{f_{yd}} \quad (30)$$

Onde:

A_s = área de aço da armadura principal de flexão (cm²/m);

λ = parâmetro de simplificação do cálculo do E.L.U;

α_c = parâmetro de redução da resistência do concreto na compressão.

Para a obtenção do parâmetro λ a ANBT NBR 6118:2014 indica que:

$$\lambda = \begin{cases} 0,8 & \text{se } f_{ck} \leq 50 \text{ MPa} \\ 0,8 - \frac{f_{ck} - 50}{400} & \text{se } f_{ck} > 50 \text{ MPa} \end{cases}$$

No que se refere ao parâmetro de redução da resistência do concreto à compressão, o mesmo é definido segundo a classe de resistência do concreto conforme a seguinte relação (ANBT NBR 6118:2014):

$$\alpha_c = \begin{cases} 0,85 & \text{para classes até C50} \\ 0,85 \cdot \left[1,0 - \frac{f_{ck} - 50}{200} \right] & \text{para classes de C50 até C90} \end{cases}$$

Em prol da garantia de um bom desempenho, ductibilidade à flexão e controle de fissuração, a Tabela 2 indica os valores mínimos das taxas de armadura que devem ser respeitados para o cálculo da armadura principal mínima segundo a Equação 31 (ANBT NBR 6118:2014).

$$A_{s,min} = \rho_{min} b h \quad (31)$$

Onde:

$A_{s,min}$ = área mínima da armadura de flexão (cm²/m);

b = seção de concreto igual a 100 cm;

h = espessura da laje (cm).

Tabela 3 – Taxas mínimas de armaduras de flexão

Forma da seção	Valores de ρ_{min}^1 ($A_{s,min}/Ac$) em %						
	Retangular	20	25	30	35	40	45
0,150		0,150	0,150	0,164	0,179	0,194	0,208

Fonte: Adaptado da ANBT NBR 6118:2014.

(1) Valores de ρ_{min} nesta Tabela pressupõem uso de aço CA-50, d/h = 0,8 e $\gamma_c = 1,4$ e $\gamma_s = 1,15$.

Seguindo o pressuposto de cálculo das armaduras mínimas, a relação a seguir é utilizada para o dimensionamento da armadura mínima de distribuição, onde (ANBT NBR 6118:2014):

$$A_{s,dist} \geq \begin{cases} \frac{A_s}{5} \\ \frac{A_{s,min}}{2} \\ 0,9 \text{ cm}^2/\text{m} \end{cases}$$

Onde:

$A_{s,dist}$ = área de aço da armadura de distribuição (cm²/m);

A_s = área de aço da armadura principal de flexão (cm²/m);

$A_{s,min}$ = área mínima de aço da armadura de flexão (cm²/m).

A adoção das armaduras deve ser realizada com base nos resultados dos cálculos da área de seção de armadura por metro de largura segundo os valores dispostos no Anexo B.

2.4.6 Dispensa de armadura para estribos

Para garantir que a $A_{s,min}$ seja suficiente para atender aos esforços cortantes, não sendo necessário o dimensionamento de armaduras transversais – estribos – deve-se atender a relação a seguir (ANBT NBR 6118:2014):

$$\tau_{wd} \leq \tau_{rd}$$

A relação acima pode ser obtida pela composição das Equações 32 e 33.

$$\tau_{Rd} = \gamma_c \cdot r \cdot 100 \quad (32)$$

$$\tau_{rd} = 0,038 f_{ck}^{\frac{2}{3}} \quad (33)$$

Nas quais:

τ_{Rd} = tensão resistente de cálculo do concreto ao cisalhamento (MPa);

τ_{wd} = tensão solicitante de cálculo (MPa);

γ_c = coeficiente de majoração dos esforços solicitantes.

“Nos projetos de estruturas de concreto armado deve ser utilizado aço classificado pela ABNT NBR 7480:2007, com o valor característico da resistência de escoamento nas categorias CA-25, CA-50 e CA-60” (ANBT NBR: 6118:2014, p. 28).

O aço utilizado para a construção civil é classificado como barras ou fios. As barras são produto da laminação a quente e possuem diâmetro nominal a partir de 6,3 milímetros, enquanto que os fios são oriundos da laminação a frio e são os que possuem diâmetro nominal de 10 milímetros ou menos (ABNT NBR 7480:2007).

As características das barras e dos fios estão indicadas, respectivamente no Anexo C e no Anexo D.

2.4.7 Espaçamentos mínimos e máximos das armaduras

Para garantir que a armadura esteja completamente envolvida pelo concreto e assim, protegida dos agentes externos, deve haver um afastamento mínimo entre as barras da armadura, o qual deve ser de no mínimo 20 centímetros e nunca menor que o diâmetro das barras mais grossas que compõem a armadura em questão (FUSCO, 2013).

No que se refere ao espaçamento máximo que deve existir entre cada uma das barras da armadura de flexão das lajes deve-se seguir a relação (ANBT NBR 6118:2014):

$$S_{\text{máx}} \leq \begin{cases} 2h; \\ 20 \text{ cm.} \end{cases}$$

Onde:

$S_{\text{máx}}$ = espaçamento máximo (cm);

h = altura da laje (cm).

2.4.8 Ancoragem das armaduras

A ancoragem das armaduras é resultante da configuração superficial de suas barras, juntamente com a qualidade do concreto e o posicionamento das armaduras conforme o projeto estrutural durante as etapas de concretagem. Consideram-se, também, os esforços resultantes do tracionamento das armaduras, assim como, a forma que a própria ancoragem está disposta na estrutura. Desta maneira, o emprego da ancoragem visa garantir o funcionamento da estrutura, explorando as capacidades em conjunto do concreto e do aço (FUSCO, 2013).

“Todas as barras das armaduras devem ser ancoradas de forma que as forças a que estejam submetidas sejam integralmente transmitidas ao concreto, seja por meio de aderência ou de dispositivos mecânicos ou por combinação de ambos” (ANBT NBR: 6118:2014, p. 35).

Dentre as opções para a realização da ancoragem das armaduras passivas, há o processo de ancoragem por aderência entre a barra de aço e o concreto, o qual ocorre com o aumento do comprimento das barras de aço ou ao se criar um grande

raio de curvatura, o qual pode possuir ou não gancho na sua extremidade, obedecendo as seguintes prescrições (ANBT NBR 6118:2014):

- a) nas barras lisas é obrigatória a existência de gancho;
- b) não deve haver gancho em armaduras que ora sejam solicitadas à tração e ora solicitadas à compressão;
- c) nos demais casos, com ou sem gancho, exceto em barras com $\varnothing \geq 32$ mm onde o gancho deve ser dispensado.

O comprimento de ancoragem básico é entendido como sendo o comprimento reto necessário que uma barra de armadura passiva deve possuir para que se possa ancorar a força-limite $A_s f_{yd}$ na barra analisada. Sendo assim, utiliza-se da Equação 34 para o dimensionamento do comprimento de ancoragem básico (ANBT NBR 6118:2014).

$$l_b = \frac{\varnothing f_{yd}}{4 f_{bd}} \geq 25\varnothing \quad (34)$$

Onde:

l_b = comprimento de ancoragem básico (cm);

f_{bd} = resistência de aderência de cálculo da armadura passiva (MPa).

Através da Equação 35 obtêm-se a resistência de cálculo resultante da relação entre a armadura e o concreto na ancoragem da armadura passiva (ANBT NBR 6118:2014).

$$f_{bd} = \eta_1 \eta_2 \eta_3 f_{ctd} \quad (35)$$

Onde:

$\eta_1 = 1,0$ se as barras forem lisas;

$\eta_1 = 1,4$ se as barras forem entalhadas;

$\eta_1 = 2,25$ se as barras forem nervuradas;

$\eta_2 = 1,0$ caso haja boa aderência;

$\eta_2 = 0,7$ caso haja má aderência;

$\eta_3 = 1,0$ se as barras possuírem $\varnothing \geq 32$ mm;

$\eta_3 = \frac{132-\varnothing}{100}$ se $\varnothing \geq 32$ mm. 1,0 se as barras forem lisas;

O valor da resistência à tração de cálculo do concreto f_{ctd} , é obtido segundo as Equações 36 e 37.

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk,inf}}{\gamma_c} \quad (36)$$

$$f_{ctk,inf} = 0,7 f_{ctm} \quad (37)$$

Onde:

f_{ctd} = resistência à tração de cálculo do concreto (MPa);

$f_{ctk,inf}$ = resistência característica inferior à tração do concreto (MPa).

A Equação 38 é utilizada para o cálculo do comprimento de ancoragem necessário ($l_{b,nec}$) comparando este com o comprimento de ancoragem mínimo que as armaduras devem possuir ($l_{b,mín}$) (ANBT NBR 6118:2014).

$$l_{b,nec} = \alpha l_b \frac{A_{s,calc}}{A_{s,ef}} \geq l_{b,mín} \quad (38)$$

Em que:

$l_{b,mín}$ = definido como o maior valor entre $0,3 l_b$, $10 \varnothing$ e 100 mm ;

α = coeficiente de cálculo do comprimento de ancoragem;

$A_{s,ef}$ = área de aço efetiva (cm^2/m).

O coeficiente de cálculo do comprimento de ancoragem deve possuir, segundo os parâmetros a seguir apresentados, o valor de (ANBT NBR 6118:2014):

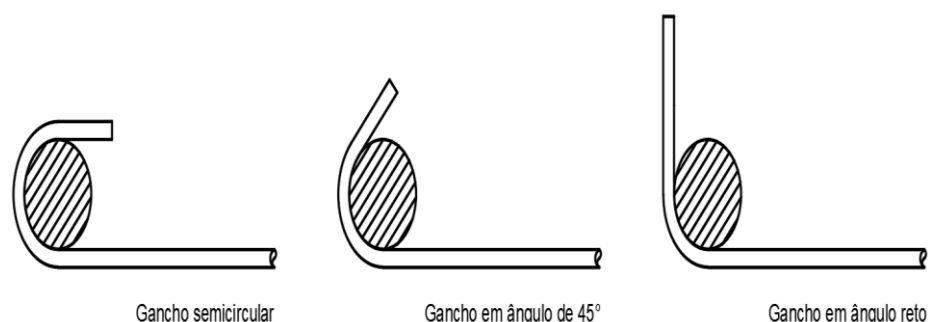
- a) 1,0 para barras sem gancho;
- b) 0,7 para barras tracionadas que possuírem gancho, sendo que o cobrimento no plano normal ao do gancho deve ser $\geq 3\varnothing$;
- c) 0,7 caso estejam presentes barras transversais soldadas;
- d) 0,5 quando existirem tanto barras transversais soldadas quando gancho com cobrimento no plano normal ao gancho $\geq 3\varnothing$.

É importante destacar que caso haja a necessidade da presença de ganchos para a realização da ancoragem das armaduras no concreto, há a possibilidade de uso de ganchos semicirculares, em ângulo de 45° e em ângulo reto.

As três possibilidades de ganchos de ancoragem estão ilustradas na Figura 13, sendo que as mesmas devem obedecer às seguintes prescrições (ANBT NBR 6118:2014):

- para os ganchos semicirculares (obrigatórios para ganchos em barras lisas), devem possuir ponta reta de comprimento $\geq 2\phi$;
- para os ganchos de ângulo de 45° devem possuir ponta reta de comprimento $\geq 4\phi$;
- para os ganchos de ângulo reto, a ponta deve ter comprimento $\geq 8\phi$.

Figura 13 – Tipos de ganchos de ancoragem



Fonte: Adaptado de Fusco (2013).

Deve-se atender, ainda, segundo a Tabela 3, o diâmetro interno da curvatura dos ganchos das armaduras longitudinais de tração, em prol da garantia da qualidade da ancoragem (ANBT NBR 6118:2014).

Tabela 4 – Diâmetro dos pinos de dobramento

Bitola mm	Tipo de aço para composição do gancho de ancoragem		
	CA – 25	CA – 50	CA – 60
< 20	4 ϕ	5 ϕ	6 ϕ
≥ 20	5 ϕ	8 ϕ	-

Fonte: Adaptado da ANBT NBR 6118:2014.

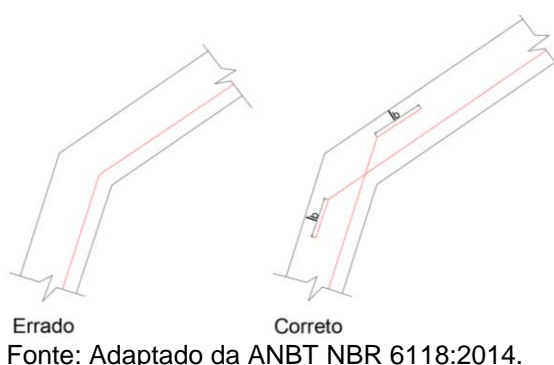
2.4.9 Detalhamento das armaduras

O detalhamento das armaduras é primordial para a garantia do posicionamento das mesmas durante o processo de concretagem. Deste modo, é

necessário ter cuidados especiais no detalhamento das armaduras para que todas as peculiaridades da estrutura sejam identificadas (ANBT NBR 6118:2014).

Nas escadas em concreto armado, um dos principais detalhes refere-se à mudança de direção das armaduras. Em locais onde uma barra tracionada possui tendência à retificação é recomendado que a mesma seja substituída por outras duas barras, as quais devem se prolongar além do ponto onde se cruzam e possuírem suas extremidades ancoradas, conforme a Figura 14 (ANBT NBR 6118:2014).

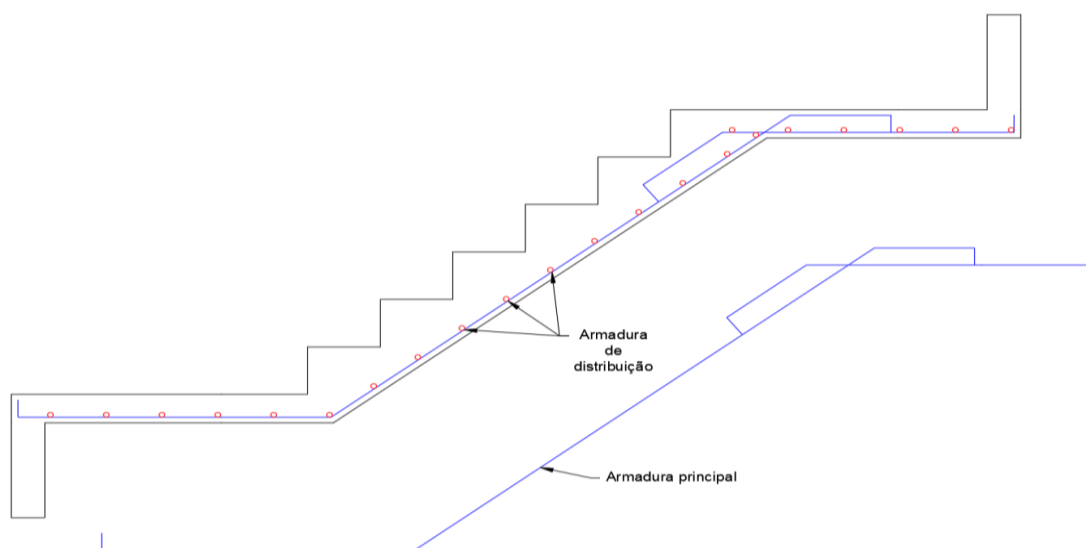
Figura 14 – Mudança de direção das armaduras



Fonte: Adaptado da ANBT NBR 6118:2014.

Por possuir características diferenciadas entre os projetistas, o detalhamento das armaduras não possui um padrão único, deste modo, a Figura 15 ilustra uma das maneiras de representar o detalhamento das armaduras de uma escada de concreto armado (SANTOS, 2017).

Figura 15 – Detalhamento das armaduras de uma escada com dois patamares



Fonte: Adaptado de Santos (2017).

2.4.10 Fôrmas para execução de escadas em concreto armado

Tendo completado o dimensionamento estrutural das escadas em concreto armado, resta a composição das fôrmas, que são estruturas provisórias com a função de moldar o concreto em estado fresco, além de serem resistentes a todas as ações nelas aplicadas até o momento que o concreto se torne autoportante (ANBT NBR 15696:2009).

De modo geral o material mais utilizado na composição das fôrmas para estruturas de concreto armado é a madeira. Sendo assim, para garantir a qualidade da execução da concretagem e a possibilidade de reutilização, as fôrmas de madeira devem ser especificadas pelo projetista, de modo a possuírem (SALGADO, 2009):

- a) elevado módulo de elasticidade e resistência razoável;
- b) baixo custo;
- c) pequeno peso específico.

2.5 ORÇAMENTO DOS INSUMOS NECESSÁRIOS PARA A COMPOSIÇÃO DE ESCADAS DE CONCRETO ARMADO

A elaboração de orçamentos tem como referência dos preços dos insumos e dos custos, o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI). Este sistema indica as regras e os critérios que devem ser seguidos para a elaboração de orçamentos de referência de obra e serviços de engenharia, sendo de responsabilidade da Caixa Econômica Federal as especificações dos tipos de insumos e composição dos serviços (SINAPI, 2019).

Os preços dos insumos presentes na base de dados do SINAPI são provenientes de coletas de dados, periodicamente atualizados, realizadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (SINAPI, 2019).

2.6 PRINCÍPIOS BÁSICOS DE PROGRAMAÇÃO

A programação de um *software* se dá através de uma lógica de programação, a qual aplica conceitos de lógica para criar uma linguagem que seja capaz de orientar o sistema a produzir determinadas ações (LEME, 2015).

O *Visual Basic for Applications* foi criado com o objetivo de compilar aplicativos orientados a objetos de forma produtiva, de modo que o desenvolvedor possa usar este tipo de linguagem no sistema operacional do *Windows*. Deste modo, o desenvolvimento de rotinas computacionais se dá de maneira simples e rápida (MICROSOFT, 2019).

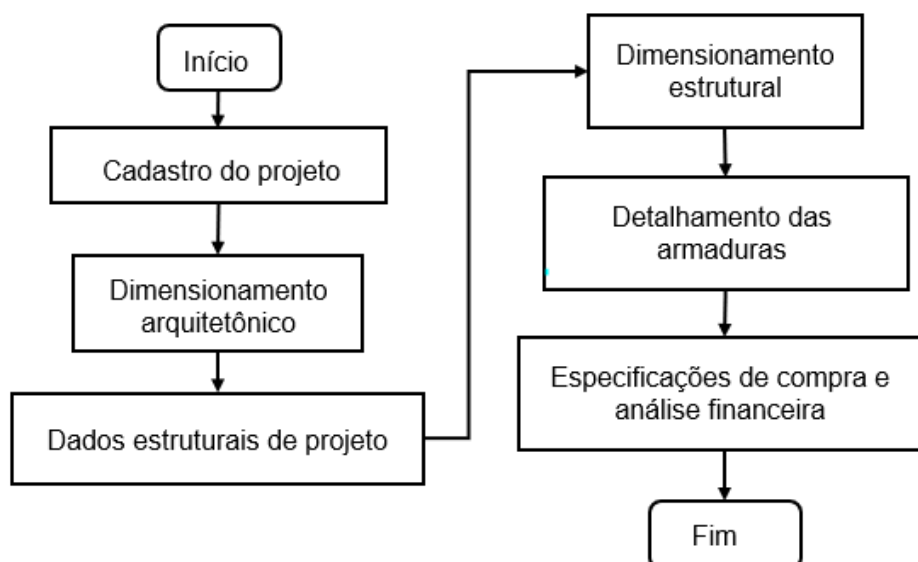
Para o desenvolvimento deste estudo, a linguagem *Visual Basic for Applications* será utilizada como base para o desenvolvimento da rotina computacional empregada para dimensionar escadas em concreto armado no *software Excel* segundo o referencial teórico descrito no Capítulo 2.

3 METODOLOGIA

Para que o desenvolvimento da rotina computacional capaz de dimensionar escadas em concreto armado tenha maior êxito e garanta que nenhuma das etapas foi esquecida ou erroneamente planejada, foram desenvolvidos fluxogramas das ações. Através desses fluxogramas é possível ter um entendimento mais visual do funcionamento da rotina computacional, além de especificar quais são as ações de responsabilidade do projetista e quais ações serão executadas automaticamente pelo programa.

De maneira geral o programa computacional é composto por seis macroetapas, sendo elas: cadastro do projeto, dimensionamento arquitetônico, definição dos dados estruturais de projeto, dimensionamento estrutural, detalhamento das armaduras, especificações de compra com análise financeira. A Figura 16 apresenta o fluxograma das macroetapas da rotina computacional.

Figura 16 – Fluxograma das macroetapas do programa computacional



Fonte: Autor (2019).

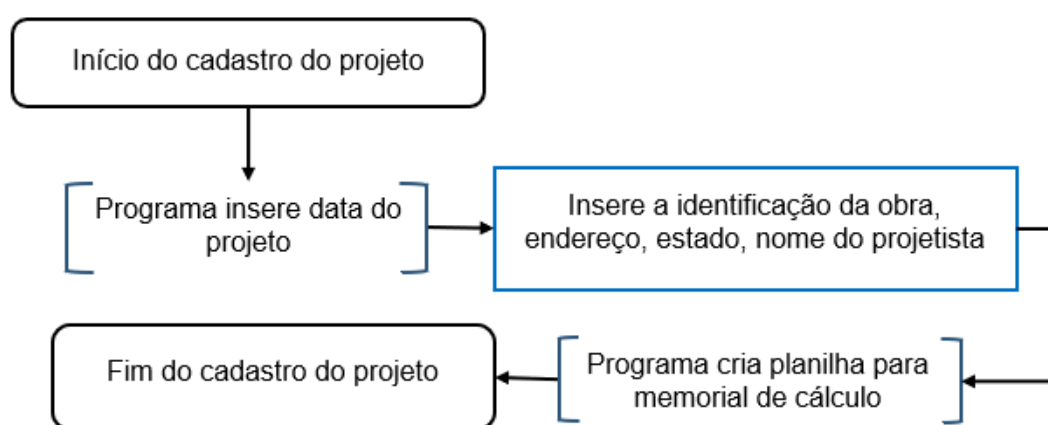
A primeira macroetapa desenvolvida pela rotina computacional diz respeito ao cadastro do projeto a ser realizado. Nesta fase o programa apresenta campos nos quais o usuário deve inserir primeiramente o nome da obra para a qual está sendo desenvolvido o projeto, seguido do seu endereço e da sua Unidade da Federação. Findada a identificação da obra, o usuário deve inserir o nome do responsável técnico pelo projeto.

Cabe destacar que nesta macroetapa há um campo identificado para o preenchimento da data de realização do projeto, o qual é automaticamente preenchido pelo próprio programa computacional, com base na data atual configurada no computador utilizado, que impede que o usuário faça alterações, em prol de garantir a veracidade da data do projeto.

Para finalizar o cadastro do projeto o usuário deve clicar no botão que corresponde a criação de uma planilha no *software Excel* e salvamento dos dados da mesma nesta planilha.

A Figura 17 apresenta o fluxograma do cadastramento de um novo projeto.

Figura 17 – Fluxograma do cadastramento de um novo projeto



Fonte: Autor (2019).

A segunda macroetapa que compõe a rotina computacional está relacionada ao dimensionamento arquitetônico das escadas em concreto armado. Nesta fase são determinadas as características dimensionais da escada a ser projetada, sendo que a primeira definição está relacionada ao tipo de dimensionamento. O usuário deve optar entre inserir todas as dimensões da escada, ou permitir que o programa calcule a escada que seja economicamente mais barata.

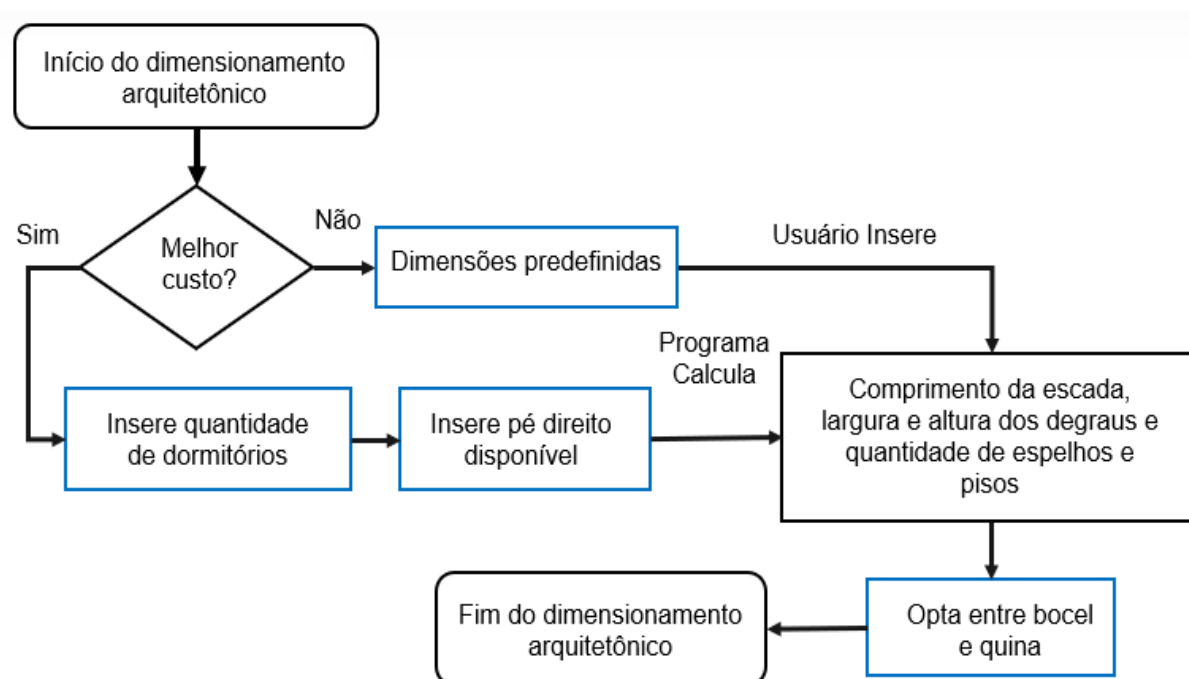
Caso o usuário opte por uma escada com melhor custo, deve inserir a quantidade de dormitórios presentes na construção, para que o programa calcule a largura da escada, que tem como fundamentação a capacidade de tráfego que a mesma deve atender para a população existente no local. Outro dado a ser inserido é o pé direito disponível para a execução da escada. Assim, o programa verificará, com base na relação de Blondel, Equação 4, quais são as menores dimensões possíveis para os degraus, e conseqüentemente menos concreto e aço serão necessários.

A outra opção é o próprio usuário inserir todas as dimensões da escada com base em um projeto arquitetônico já dimensionado.

Ainda dentro da macroetapa de dimensionamento arquitetônico, o usuário deve optar pela presença de bocel ou quina, Figura 4, na composição dos degraus da escada.

A Figura 18 ilustra o fluxograma do dimensionamento arquitetônico que compõe o programa computacional de dimensionamento de escadas em concreto armado.

Figura 18 – Fluxograma do dimensionamento arquitetônico



Fonte: Autor (2019).

Finalizado do processo de dimensionamento arquitetônico da escada em concreto armado, o programa computacional irá salvar os dados estruturais de projeto com base nas informações inseridas pelo usuário na terceira macroetapa.

Automaticamente o programa insere os valores do coeficiente de minoração da resistência do concreto (γ_c), do coeficiente de minoração da resistência à tração do aço (γ_s), do peso específico do concreto armado (ρ_c).

Primeiramente o usuário deve selecionar a resistência característica à tração do aço (f_{yk}) e a classe de agressividade ambiental (CAA) a serem utilizadas na composição da escada de concreto armado. Para a resistência característica à tração do aço o programa apresentará duas opções, CA-50 e CA-60 e para a classe de

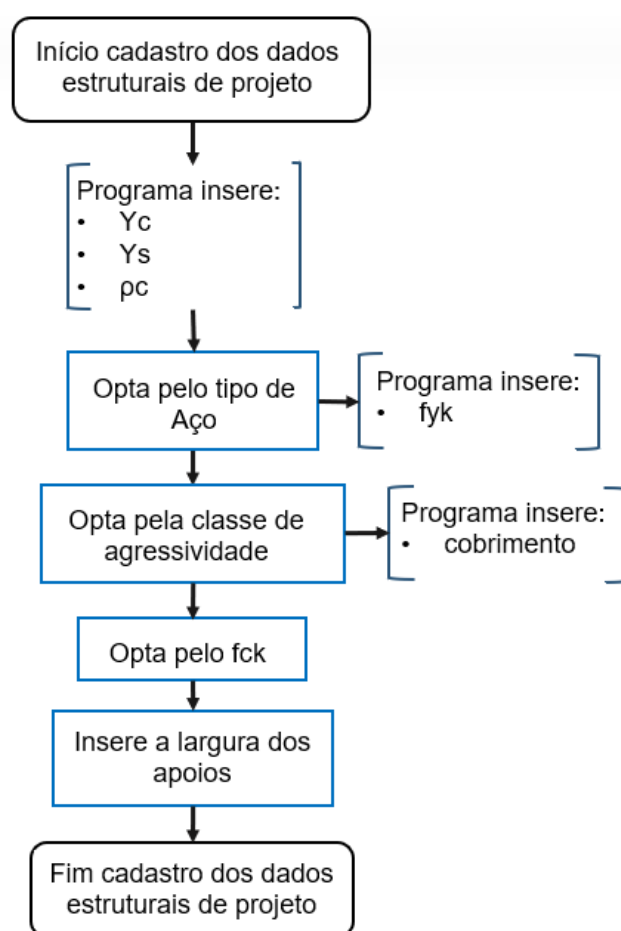
agressividade ambiental o usuário poderá optar por uma das quatro classes, segundo a Tabela 1.

A próxima ação do usuário está relacionada com a escolha da resistência característica à compressão do concreto (f_{ck}). Para este item, o programa computacional será configurado para disponibilizar valores de 20, 25, 30, 35, 40, 45 e 50 MPa.

Para finalizar essa macroetapa o usuário deve inserir a largura das vigas que darão apoio à escada.

O fluxograma da definição dos dados estruturais de projeto está ilustrado na Figura 19.

Figura 19 – Fluxograma do cadastro dos dados estruturais de projeto



Fonte: Autor (2019).

O próximo passo da rotina computacional se desenvolve com o dimensionamento estrutural das escadas em concreto armado. Esta macroetapa foi subdividida em quatro partes.

A primeira parte refere-se à análise do estado limite de serviço (E.L.S.), em que são verificadas as flechas atuantes na estrutura. Sendo assim, primeiramente o usuário deve selecionar uma dentre as três opções de escadas – escada armada transversalmente, escada armada longitudinalmente e escada com laje em balanço – analisadas neste estudo. Em seguida deve-se caracterizar a destinação da escada, optando se a mesma terá ou não acesso ao público, além de inserir a altura e o peso do parapeito caso a escada dimensionada possuir laje em balanço. Cabe ressaltar que caso o usuário opte por dimensionar uma escada com laje em balanço, automaticamente os carregamentos presentes na Figura 12 serão inseridos na extremidade da escada.

Para finalizar a primeira etapa do dimensionamento estrutural das escadas de concreto armado, o usuário deve inserir a espessura do revestimento dos degraus e selecionar o material do mesmo, além do agregado graúdo presente na composição do concreto.

Findadas estas seleções por parte do usuário o programa computacional irá informar se o estado limite de serviço foi atendido, calculando a flecha imediata, a flecha de longa duração e a flecha admissível, conforme as Equações 21, 22 e 23, respectivamente. Caso o estado limite de serviço não seja atendido, a rotina computacional irá solicitar o aumento da altura útil da laje ou da resistência característica do concreto até que o estado limite de serviço seja atendido.

A segunda etapa do dimensionamento estrutural corresponde à análise estrutural. O programa apresenta uma imagem com os carregamentos da estrutura, seguidas de outras duas imagens, dos momentos fletores e os esforços cortantes segundo as Equações 24 e 25, caso a estrutura possua apoio de segunda ordem. Se o apoio for de terceira ordem, o cálculo tem como base as Equações 26 e 27.

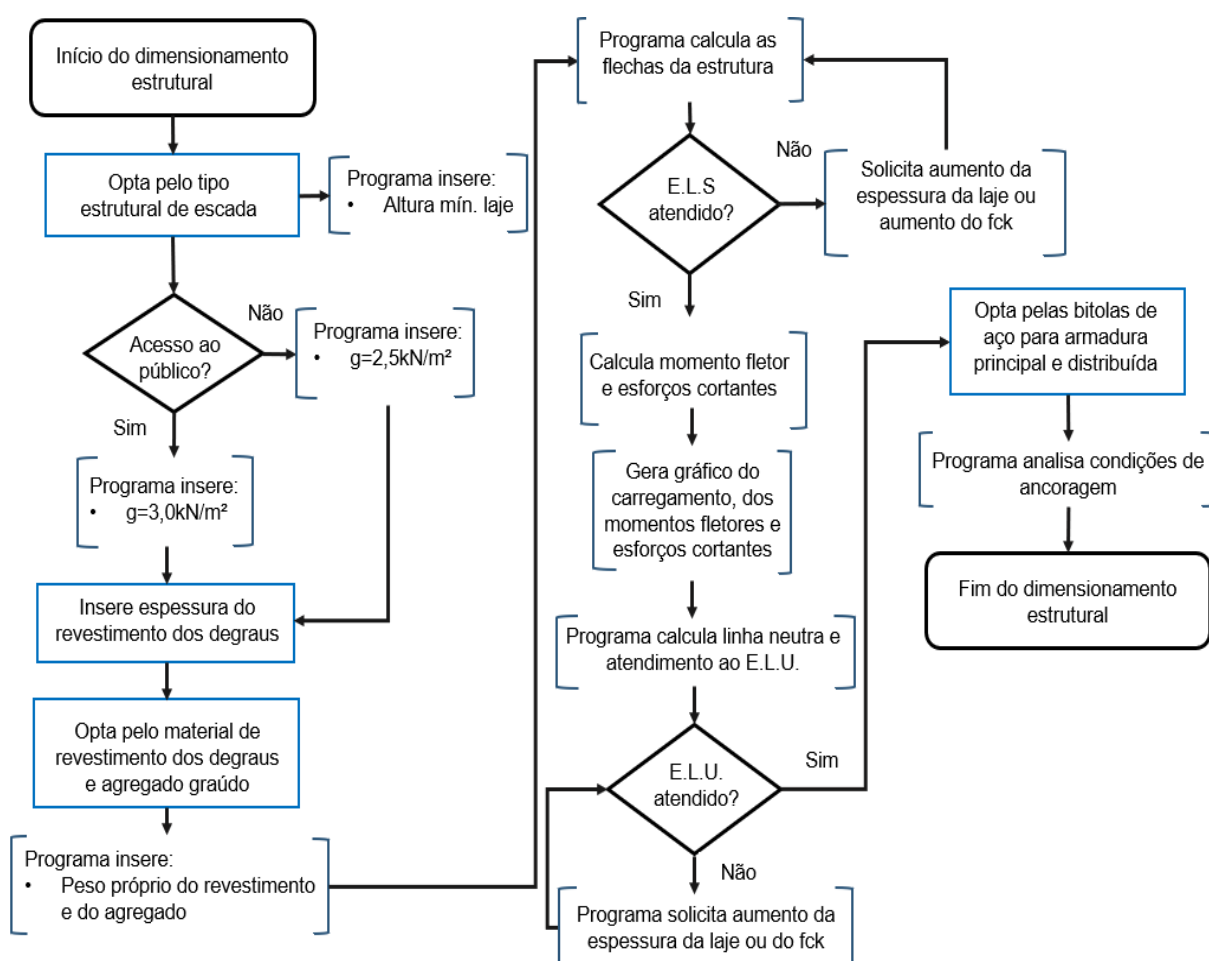
A terceira etapa se dá com a composição das armaduras da estrutura, momento em que a rotina computacional irá calcular a linha neutra – Equação 29 –, a área de aço da armadura principal à flexão – Equação 30 – e a área mínima da armadura de flexão – Equação 31. O programa analisará, também, a área de aço da armadura de distribuição e o espaçamento máximo das armaduras.

Tendo realizado o processo recém descrito, o programa computacional irá solicitar ao usuário que selecione as bitolas para comporem a área de aço principal e a área de aço de distribuição, informando se as mesmas estão dentro das prescrições da ANBT NBR 6118:2014.

A quarta e última etapa do dimensionamento estrutural refere-se à ancoragem das armaduras, em que a rotina computacional irá calcular o comprimento de ancoragem básico segundo a Equação 38 e o comprimento de ancoragem necessário conforme a Equação 34.

A Figura 20 apresenta o fluxograma do dimensionamento estrutural das escadas de concreto armado segundo as quatro etapas anteriormente descritas.

Figura 20 – Fluxograma do dimensionamento estrutural



Fonte: Autor (2019).

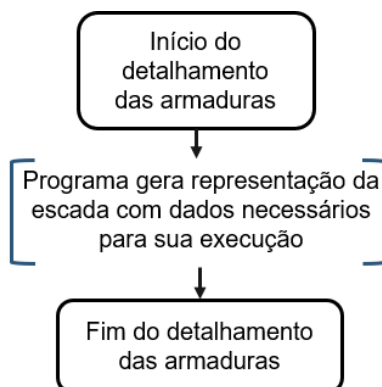
Terminado o processo de dimensionamento estrutural o programa computacional apresenta o detalhamento das armaduras da referida escada de concreto armado.

Nessa macroetapa as ações são exclusivas da rotina computacional, que apresenta uma imagem do detalhamento das armaduras. Juntamente com a imagem, são gerados os dados de comprimento das armaduras, quantidade de barras,

comprimento dos ganchos entre outras peculiaridades do detalhamento das armaduras da escada projetada.

A Figura 21 apresenta o fluxograma do detalhamento das armaduras.

Figura 21 – Fluxograma do detalhamento das armaduras

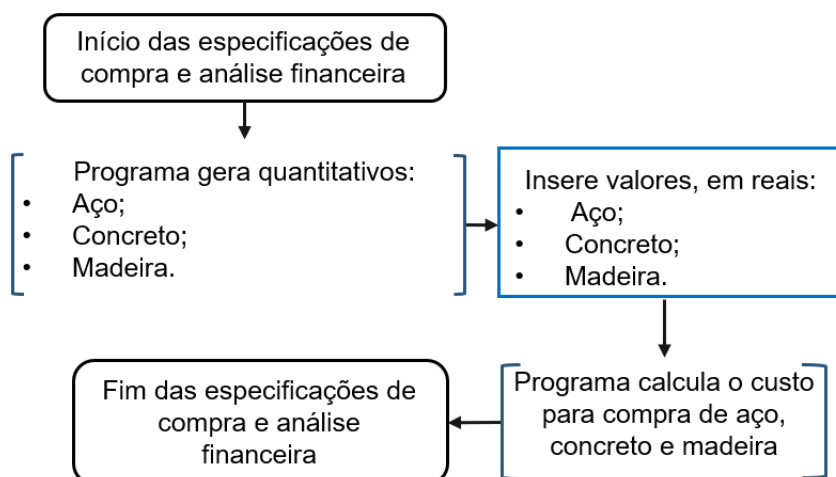


Fonte: Autor (2019).

A última macroetapa é composta pelas especificações de compra e análise financeira, em que o programa computacional irá apresentar a quantidade de barras de aço que devem ser adquiridas, assim como o volume de concreto em m³ e a área em m² de fôrmas de madeira necessárias para a execução da escada projetada. Em sequência o usuário insere o preço, em reais, de cada um desses itens e a rotina calcula o custo final estimado da escada.

A Figura 22 apresenta o fluxograma das especificações de compra e análise financeira.

Figura 22 – Fluxograma das especificações de compra



Fonte: Autor (2019).

Antes de finalizar o programa o usuário deverá optar por salvar ou não o projeto. Caso opte por salvar, o projeto será salvo em uma planilha do *software Microsoft Excel*, em que todo o memorial de cálculo ficará disponível para próximas consultas.

4 RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados obtidos com base na metodologia apresentada no Capítulo 3, com a qual pode-se desenvolver um programa computacional de dimensionamento de escadas de concreto armado.

Para facilitar o entendimento do funcionamento do programa, esse capítulo apresenta os campos de dados do programa com base nas seis macroetapas descritas na Figura 16. Além disso, tem como valores de cálculo o exemplo de validação da rotina computacional segundo o Apêndice A, o qual foi realizado com base na revisão bibliográfica deste trabalho.

Cabe destacar que cada campo do programa só é disponibilizado para a visualização do usuário após o mesmo ter completado todas as etapas solicitadas do campo anterior. Outro ponto que merece atenção é que, caso o usuário insira caracteres tais como letras ou valores negativos, o programa exibirá uma mensagem de alerta, solicitando a alteração dos valores.

Em síntese, o programa desenvolvido possui três janelas, sendo elas a Principal, a de Valores de Cálculo e a da Prancha de Impressão. Tal separação tem a intenção de deixar claro ao usuário quais são os campos aos quais ele deve inserir dados e quais campos são preenchidos automaticamente pelo programa.

4.1 JANELA PRINCIPAL

A janela principal é aquela à qual o usuário realizará a inserção de todos os dados necessários para o dimensionamento da escada escolhida. Nessa janela, o programa irá abrir os campos de dimensionamento conforme as solicitações as opções escolhidas pelo usuário.

Na janela principal o usuário tem a possibilidade de, a qualquer momento, alterar os dados que ele já inseriu e que porventura deseje modificar. Ao fazer tal alteração, o programa gera novos resultados com base nas alterações feitas, sem prejuízo ao dimensionamento da estrutura.

A Figura 23 apresenta como a janela principal do programa é disponibilizada ao usuário ao final de todas as etapas de dimensionamento. Os valores presentes na Figura 23 são os mesmos presentes no Apêndice A que serviu de validação da rotina computacional desenvolvida.

Figura 23 – Janela principal

CADASTRO DO PROJETO

Obra: Data:

Endereço:

Cidade: UF:

Projetista:

DIMENSIONAMENTO ARQUITETÔNICO

Projetar com base em dimensões fixas

Projetar escada com melhor custo

lv cm

lh cm

n m

a cm

e cm

na un.

ne un.

Atenção!
Ao clicar no botão Salvar assume-se que os dados inseridos estão de acordo com as recomendações normativas!

DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL

Selecione o tipo de escada a ser dimensionada

Escada armada transversalmente

Escada armada longitudinalmente

Escada com laje em balanço

Altura mínima da hje cm

Escada sem parapeto!

Com acesso ao público kN/m²

Sem acesso ao público

Espessura do revestimento: cm

Selecione o revestimento dos degraus

Mármore cm

Basalto kN/m³

Selecione o agregado graúdo do concreto

f_t(=0) cm

f_t(=∞) cm

f_{adm} cm

EL.S Atendido

Gerar análise estrutural e Armaduras

ARMADURAS

Comportamento ductil

As cm²/m

As_{min} cm²/m

Smáx cm

Considerar área de aço = cm²/m

Selecione a Armadura Principal entre as opções abaixo:

φ 4,0 mm c/ 8 cm Área de aço = 1,56 cm²/m

φ 5,0 mm c/ 13 cm Área de aço = 1,54 cm²/m

φ 6,3 mm c/ 20 cm Área de aço = 1,58 cm²/m

φ 8,0 mm c/ 20 cm Área de aço = 2,5 cm²/m

φ 10,0 mm c/ 20 cm Área de aço = 4 cm²/m

φ 12,5 mm c/ 20 cm Área de aço = 6,25 cm²/m

Bitola de 16,0 mm não atende a área de aço necessária!

As_{dist} cm²/m

EL.U, Atendido!

Selecione a Armadura de Distribuição entre as opções abaixo:

φ 4,0 mm c/ 13 cm Área de aço = 0,96 cm²/m

φ 5,0 mm c/ 20 cm Área de aço = 1 cm²/m

φ 6,3 mm c/ 20 cm Área de aço = 1,58 cm²/m

φ 8,0 mm c/ 20 cm Área de aço = 2,5 cm²/m

φ 10,0 mm c/ 20 cm Área de aço = 4 cm²/m

φ 12,5 mm c/ 20 cm Área de aço = 6,25 cm²/m

Bitola de 16,0 mm não atende a área de aço necessária!

Armadura principal

Armadura distribuída

Volume de concreto 1,24 m³

ANÁLISE FINANCEIRA

Inserir os preços em reais para:

Concreto por m³ Aço em kg Madeira em m³

Despesas em reais:

Com concreto Com aço Com madeira Total das despesas

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade de Caxias do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil para o acadêmico Fernando Augusto Vaccaro Pires.

Fonte: Autor (2019).

4.1.1 Campo de cadastro do projeto

Ao iniciar o dimensionamento das escadas de concreto armado, o primeiro campo a ser disponibilizado ao usuário é o campo de cadastro do projeto, o qual segue os passos presentes no fluxograma da Figura 17. A Figura 24 apresenta o campo do cadastro do projeto.

Figura 24 – Campo de Cadastro do Projeto

CADASTRO DO PROJETO

Obra: Data:

Endereço:

Cidade: UF:

Projetista:

Fonte: Autor (2019).

4.1.2 Campo de dimensionamento arquitetônico

Ao clicar para salvar o projeto no campo de cadastro do projeto o próximo campo – Dimensionamento Arquitetônico – é disponibilizado ao usuário, porém apenas parte dele pode ser visualizada, visto que o mesmo apresenta duas formas de dimensionamento, conforme a Figura 25. A primeira forma refere-se a ao projeto com base em dimensões arquitetônicas fixas, ou seja, provenientes de outro projeto arquitetônico e que não devem ser alteradas. A segunda opção refere-se ao dimensionamento com base no melhor custo benefício.

Figura 25 – Escolha do tipo de dimensionamento arquitetônico

DIMENSIONAMENTO ARQUITETÔNICO

Fonte: Autor (2019).

Caso o usuário opte pela primeira opção um subcampo será aberto, conforme a Figura 26, no qual deve-se inserir o comprimento da escada, a sua altura, o seu comprimento horizontal, a sua largura, a largura e altura dos degraus, assim como o número de espelhos e de pisos, respectivamente.

Figura 26 – Dimensionamento com base em dimensões fixas

lv	<input type="text" value="280"/>	cm	<p>Atenção!</p> <p>Ao clicar no botão Salvar assume-se que os dados inseridos estão de acordo com as recomendações normativas!</p>
lh	<input type="text" value="420"/>	cm	
n	<input type="text" value="1,1"/>	m	
a	<input type="text" value="28"/>	cm	
e	<input type="text" value="17,5"/>	cm	
na	<input type="text" value="15"/>	un.	
ne	<input type="text" value="16"/>	un.	
<input type="button" value="Ajuda"/>		<input type="button" value="Salvar"/>	

Fonte: Autor (2019).

Exceto a largura da escada, que deve ser inserida em metros, todas as outras dimensões devem ser adicionadas em centímetros.

Se o projetista optar pela segunda opção, que calcula a escada com base no melhor custo benefício, dois subcampos serão abertos. O primeiro solicita a inserção do número de dormitórios, para a realização do cálculo da largura da escada. O segundo subcampo solicita a inserção da altura que a escada deve ter para interligar os pavimentos. Assim, quando o projetista clicar em calcular, automaticamente o programa irá calcular comprimento da escada, a sua altura, o seu comprimento horizontal, a sua largura, a largura e altura dos degraus além do número de espelhos e de pisos, respectivamente.

A Figura 27 apresenta o dimensionamento realizado com base no melhor custo benefício.

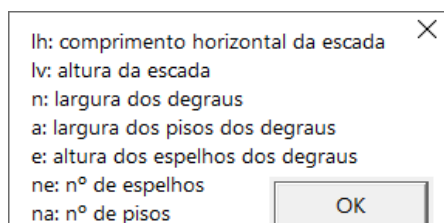
Figura 27 – Dimensionamento com base no melhor custo benefício

Insira o número de dormitórios da residência:					
	<input type="text" value="2"/>	un.			
Largura da escada	<input type="text" value="1,1"/>	m	<input type="button" value="Calcular"/>		
Insira o pé direito entre os pavimentos:					
lv	<input type="text" value="280"/>	cm	lh	<input type="text" value="420"/>	cm
	<input type="button" value="Ajuda"/>		a	<input type="text" value="28"/>	cm
			e	<input type="text" value="17,5"/>	cm
			na	<input type="text" value="15"/>	un.
	<input type="button" value="Calcular"/>		ne	<input type="text" value="16"/>	un.

Fonte: Autor (2019).

Ainda, dentro do campo de dimensionamento arquitetônico, o usuário tem a opção de solicitar ajuda, a qual apresenta a descrição das abreviaturas de cada uma das dimensões da escada, conforme a Figura 28.

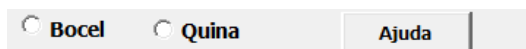
Figura 28 – Opção ajuda do dimensionamento arquitetônico



Fonte: Autor (2019).

Ao clicar para salvar essa etapa, o programa abre a opção de escolha do detalhe arquitetônico dos degraus, Figura 29, em que o projetista deve optar entre bocel ou quina, detalhes descritos na Figura 3.

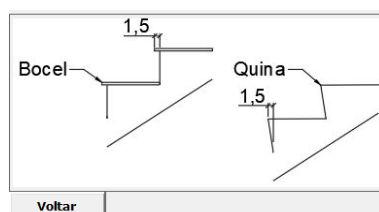
Figura 29 – Opção do detalhe arquitetônico



Fonte: Autor (2019).

Caso o projetista tenha dúvidas sobre a diferença entre bocel e quina, pode pedir ajuda, momento em que o programa irá apresentar uma imagem com detalhes das duas opções, conforme a Figura 30.

Figura 30 – Imagem de ajuda do detalhe arquitetônico



Fonte: Autor (2019).

4.2 CAMPO DOS DADOS ESTRUTURAIS DE PROJETO

A terceira macroetapa de dimensionamento se desenvolve com a inserção dos dados estruturais de projeto, conforme a Figura 31.

Figura 31 – Campo dos dados estruturais de projeto

DADOS ESTRUTURAIS DE PROJETO

Aço yc

CAA ys

fck MPa pc kN/m³

Insiria a largura dos apoios:

cm

Fonte: Autor (2019).

Essa etapa segue a sequência descrita no fluxograma da Figura 20. Destaca-se apenas que apenas valores cadastrados nas configurações do programa podem ser selecionados para a escolha do aço, da classe de agressividade ambiental e da resistência característica do concreto.

4.2.1 Campo do dimensionamento estrutural

A etapa de dimensionamento estrutural tem início quando o programa solicita que o usuário escolha o tipo estrutural de escada a qual deseja dimensionar.

Ao optar entre escada armada transversalmente, escada armada longitudinalmente e escada com laje em balanço o programa gera a altura mínima que a laje da escada deve ter, conforme a Figura 32, além de tornar visível o subcampo do tipo de acesso a escada, conforme a Figura 33.

Figura 32 – Seleção do tipo estrutural de escada

DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL

Selecione o tipo de escada a ser dimensionada

Escada armada transversalmente

Escada armada longitudinalmente

Escada com laje em balanço

Altura mínima da laje cm

Fonte: Autor (2019).

Figura 33 – Tipo de acesso da escada

Com acesso ao público

Sem acesso ao público

kN/m²

Fonte: Autor (2019).

Caso o usuário opte por uma escada com acesso ao público, o programa automaticamente insere uma carga de 3,0 kN/m². Se a opção for por escada sem acesso ao público o valor atribuído ao carregamento será de 2,5 kN/m².

Ao clicar no tipo de acesso permitido da escada, o programa também tornará visível a lacuna para inserção da espessura do revestimento dos degraus, além de duas caixas de seleção, conforme a Figura 34.

Figura 34 - Dados dos degraus e do agregado graúdo

Formulário de entrada de dados para degraus e agregado graúdo. O formulário contém os seguintes campos:

- Espeçura do revestimento: cm
- Seleçõe o revestimento dos degraus: kN/m³
- Seleçõe o agregado graúdo do concreto: kN/m³
- Botão **Calcular**

Fonte: Autor (2019).

Na primeira caixa de seleção o usuário deve escolher o tipo de revestimento que deseja para os degraus, dentre as opções apresentadas na Figura 35.

Figura 35 – Caixa de seleção do revestimento dos degraus

Caixa de seleção do revestimento dos degraus. O formulário contém o seguinte campo:

- Seleçõe o revestimento dos degraus: kN/m³
- Lista de opções:
 - Arenito
 - Basalto
 - Gneiss
 - Granito
 - Mármore
 - Pinho
 - Cedro
 - Imbuia

Fonte: Autor (2019).

A segunda caixa de seleção está relacionada à escolha do agregado graúdo do concreto, dentre as opções apresentadas na Figura 36 o usuário deve selecionar apenas uma. Assim, o programa insere o peso específico do agregado selecionado.

Figura 36 – Caixa de seleção do agregado graúdo do concreto

Fonte: Autor (2019).

Ao clicar para calcular, o usuário permite que o programa dê sequência ao dimensionamento. Dessa forma, o programa apresentará os valores da flecha imediata, da flecha de longa duração e da flecha admissível e uma mensagem informando se o Estado Limite de Serviço foi ou não atendido, conforme a Figura 37.

Figura 37 – Análise das flechas da estrutura

Fonte: Autor (2019).

Caso tenha dificuldades, o usuário poderá solicitar ajuda, momento em que o programa apresentará a descrição do significado das variáveis conforme a Figura 38.

Figura 38 – Opção ajuda da análise das flechas da estrutura

Fonte: Autor (2019).

A Figura 39 apresenta a visão geral do dimensionamento estrutural, o qual será detalhado passo a passo para melhor entendimento.

Figura 39 – Visão geral do dimensionamento arquitetônico

DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL

Selecione o tipo de escada a ser dimensionada

Escada armada transversalmente
 Escada armada longitudinalmente
 Escada com laje em balanço

Altura mínima da laje cm

Escada sem parapeito!

Com acesso ao público kN/m²
 Sem acesso ao público

Espessura do revestimento: cm

Selecione o revestimento dos degraus

Selecione o agredado graúdo do concreto

kN/m³

f(t=0) cm

f(t=∞) cm

fadm cm

E.L.S Atendido

Gerar análise estrutural e Armaduras

Fonte: Autor (2019).

4.2.2 Campo da análise estrutural

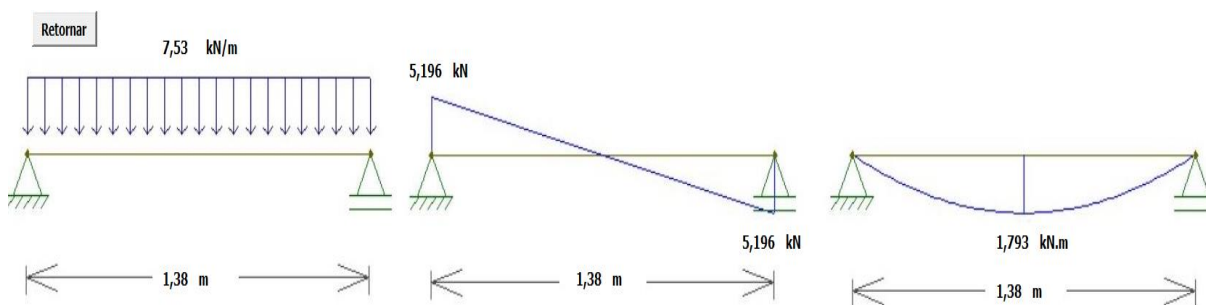
O campo da análise estrutural apresenta os valores do momento fletor e dos esforços cortantes, conforme a Figura 40.

Figura 40 – Análise estrutural

Fonte: Autor (2019).

Ainda, no campo da análise estrutural o usuário pode optar por visualizar gráficos, sendo direcionado para uma janela que apresenta o gráfico dos carregamentos, o gráfico dos esforços cortantes e o gráfico dos momentos fletores, conforme a Figura 41.

Figura 41 – Gráficos dos carregamentos, esforços cortantes e momentos fletores



Fonte: Autor (2019).

4.2.3 Campo das armaduras

No início do campo das armaduras é informado se a estrutura apresenta comportamento dúctil, ou seja, se a estrutura pertence ao regime rígido plástico.

Na sequência são apresentadas a área de aço calculada e a área de aço mínima, em centímetros quadrados por metro, além do espaçamento máximo, em centímetros e da área de aço, em centímetros quadrados por metro, que deve ser considerada na escolha das armaduras, conforme a Figura 42.

Figura 42 – Campo das armaduras

ARMADURAS		
	Comportamento dúctil!	
As	0,84	cm ² /m
As,mín	1,5	cm ² /m
Smáx	20	cm
Considerar área de aço =		1,5 cm ² /m

Fonte: Autor (2019).

A próxima etapa se dá quando o programa libera as armaduras principais que atendam aos resultados apresentados na Figura 43. Assim, o usuário pode optar por uma das opções disponíveis.

Na sequência, o programa apresenta a área distribuída de aço e a análise de atendimento ao Estado Limite Último, seguido das armaduras distribuídas disponíveis para a escolha do projetista.

A Figura 43 apresenta o quadro de opções de armaduras principais e distribuídas.

Figura 43 – Seleção da armadura principal e distribuída

Selecione a Armadura Principal entre as opções abaixo:		
<input type="radio"/>	φ 4,0 mm c/ 8	cm Área de aço = 1,56 cm ² /m
<input type="radio"/>	φ 5,0 mm c/ 13	cm Área de aço = 1,54 cm ² /m
<input checked="" type="radio"/>	φ 6,3 mm c/ 20	cm Área de aço = 1,58 cm ² /m
<input type="radio"/>	φ 8,0 mm c/ 20	cm Área de aço = 2,5 cm ² /m
<input type="radio"/>	φ 10,0 mm c/ 20	cm Área de aço = 4 cm ² /m
<input type="radio"/>	φ 12,5 mm c/ 20	cm Área de aço = 6,25 cm ² /m
Bitola de 16,0 mm não atende a área de aço necessária!		
	As,dist	0,9 cm ² /m
E.L.U. Atendido!		
Selecione a Armadura de Distribuição entre as opções abaixo:		
<input type="radio"/>	φ 4,0 mm c/ 13	cm Área de aço = 0,96 cm ² /m
<input checked="" type="radio"/>	φ 5,0 mm c/ 20	cm Área de aço = 1 cm ² /m
<input type="radio"/>	φ 6,3 mm c/ 20	cm Área de aço = 1,58 cm ² /m
<input type="radio"/>	φ 8,0 mm c/ 20	cm Área de aço = 2,5 cm ² /m
<input type="radio"/>	φ 10,0 mm c/ 20	cm Área de aço = 4 cm ² /m
<input type="radio"/>	φ 12,5 mm c/ 20	cm Área de aço = 6,25 cm ² /m
Bitola de 16,0 mm não atende a área de aço necessária!		

Fonte: Autor (2019).

O programa analisa as condições de ancoragem das armaduras para saber se serão retas, com ganchos ou com grampos.

A Figura 44 apresenta a análise da ancoragem das armaduras.

Figura 44 – Análise da ancoragem das armaduras

		dispensável (valor para dispensar ancoragem com gancho)	
		25,5 cm	
ANCORAGEM			
lb	21,1 cm	lb final	20,1 cm
lb,nec	20,1 cm	Ancoragem reta atende a necessidade	
lb min	10 cm		

Fonte: Autor (2019).

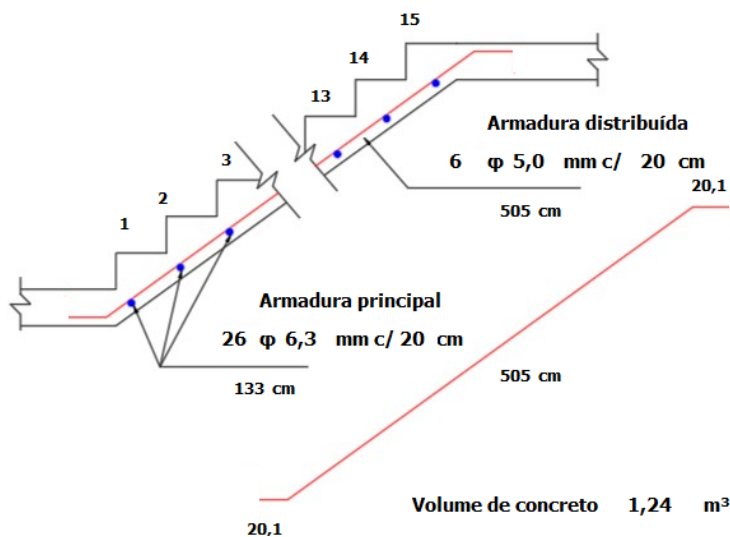
4.2.4 Campo do detalhamento das armaduras

Tendo o usuário selecionado as armaduras principais e distribuídas, o programa gera uma imagem em corte da escada com os seguintes detalhamentos:

- número de degraus da escada;
- posicionamento das armaduras principais e distribuídas;
- quantidade de barras, bitola e espaçamento das armaduras principais e distribuídas;
- comprimento das barras das armaduras principais e distribuídas;
- volume do concreto.

A Figura 44 apresenta o detalhamento de uma escada armada transversalmente, conforme dimensionamento segundo o Apêndice A.

Figura 45 – Detalhamento da escada dimensionada



Fonte: Autor (2019).

4.2.5 Campo da análise financeira

O último campo apresentado na janela principal refere-se à análise financeira, e serve como uma estimativa de custo para a execução da escada dimensionada.

É importante destacar que esse campo é opcional, visto que o usuário pode estar interessado apenas no dimensionamento da estrutura e não no seu custo de implantação. Assim sendo, caso o usuário opte por não realizar a análise financeira de nada essa escolha influenciará no memorial de cálculo ou no salvamento do projeto.

Caso o usuário opte por realizar a análise financeira, primeiramente deve inserir os valores, em reais, do concreto por metro cúbico, do aço em quilogramas e da madeira em metros quadrados. Assim, o programa é capaz de realizar o cálculo do custo estimado para a aquisição do concreto, do aço e da madeira, conforme apresentado na Figura 46.

Figura 46 – Campo da análise financeira

ANÁLISE FINANCEIRA

Insira os preços em reais para:

Concreto por m ³	Aço em kg	Madeira em m ²
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Despesas em reais:

Com concreto	Com aço	Com madeira	Total das despesas
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Calcular

Fonte: Autor (2019).

4.3 JANELA DE VALORES DE CÁLCULO

A janela valores de cálculo tem a função de apresentar o resultado de todos os cálculos realizados durante o dimensionamento da escada em análise. Nessa janela, nenhum dos dados podem ser alterados pelo usuário, pois há uma programação que impede alterações por parte do projetista. O motivo desse bloqueio, é garantir que essa janela apresente os resultados reais do dimensionamento, servindo como base para o memorial de cálculo gerado pelo programa ao final do projeto.

A Figura 47 apresenta a janela valores de cálculo.

Figura 47 – Janela dos valores de cálculo

Valores de cálculo

lv (altura) cm 280	fctm (resistência à tração do concreto) MPa 2,897	ddd (altura útil da laje) cm 7
lh (comprimento) cm 420	mr (momento de fissuração) kN.m/m 7,243	fdl (resistência de cálculo à compressão do concreto) MPa 2,15
N (largura) m 1,1	ma (momento de serviço) kN.m/m 3,497	md (momento de cálculo) kN.m/m 251,02
a (largura do piso) cm 28	feq (momento de inércia equivalente da seção) cm ⁴ 8333	fdt (resistência à tração de cálculo do concreto) MPa 1,4485
e (altura do espelho) cm 17,5	ic (momento de inércia da seção bruta do concreto) cm ⁴ 8333	γn (coeficiente de majoração) 1,45
na (nº pisos) un. 15	adm (divisor para fórmula da flecha admissível) 250	tet (carga do revestimento dos degraus) kN/m ² 0,28
ne (nº espelhos) un. 16	h (espessura da laje) cm 10	ly (dimensão final com apoio) cm 138
(capacidade da unidade de passagem) un. 45	hm (espessura média da escada) cm 19	nfinal (comprimento final com apoio) cm 138
pd ser, estrutural (ações quase permanentes de serviço) kN/m ² 7,53	pp (peso próprio próprio por m ²) kN/m ² 4,75	nfinal (comprimento final com apoio) m 1,38
pd ser (ações quase permanentes de serviço com minoração das ações acidentais em 30%) kN/m ² 5,78	pdv (ações quase permanentes de serviço verticais) kN/m ² 0	wintf (divisor para fórmula da flecha admissível) 250
alfai un. 0,875	pdh (ações quase permanentes de serviço horizontais) kN/m ² 0	divisor (constante de cálculo do momento conforme tipo de escada) 8
eci (módulo de deformação tangencial inicial) MPa 36800,956	pcob (cobrimento) cm 2,5	divrecao (constante de cálculo da reação conforme tipo de escada) 2
ecs (módulo de elasticidade secante do concreto) MPa 32206,087		

fyd (resistência de cálculo ao escoamento do aço) MPa 43,479	fyk (valor característico de escoamento do aço) kgf/mm ² 50	ANCORAGEM lb 21,1 lb,nec 20,1 lb min 10
fyd (resistência de cálculo ao escoamento do aço) MPa 43,479	fyk (valor característico de escoamento do aço) kgf/mm ² 50	ANCORAGEM lb final 20,1 cm Ancorem reta atende a necessidade
lym (dimensão para cálculo do momento) m 1,38	x/d (relação entre a altura da linha neutra e a altura útil da laje) 0,036	dispensável (valor para dispensar ancoragem com gancho) cm 25,5
td (tensão solicitante de cálculo do concreto ao cisalhamento) MPa 0,104		
td (tensão resistente de cálculo do concreto ao cisalhamento) MPa 0,367		

AÇO PRINCIPAL	AÇO DISTRIBUÍDO	
bitola 4 1,56 cm ² /m espaçamento	bitola 4 0,96 cm ² /m espaçamento	13 cm
bitola 5 1,54 cm ² /m espaçamento	bitola 5 1 cm ² /m espaçamento	20 cm
bitola 6,3 1,58 cm ² /m espaçamento	bitola 6,3 1,58 cm ² /m espaçamento	20 cm
bitola 8 2,5 cm ² /m espaçamento	bitola 8 2,5 cm ² /m espaçamento	20 cm
bitola 10 4 cm ² /m espaçamento	bitola 10 4 cm ² /m espaçamento	20 cm
bitola 12,5 6,25 cm ² /m espaçamento	bitola 12,5 6,25 cm ² /m espaçamento	20 cm
bitola 16 - cm ² /m espaçamento	bitola 16 - cm ² /m espaçamento	- cm

Fonte: Autor (2019).

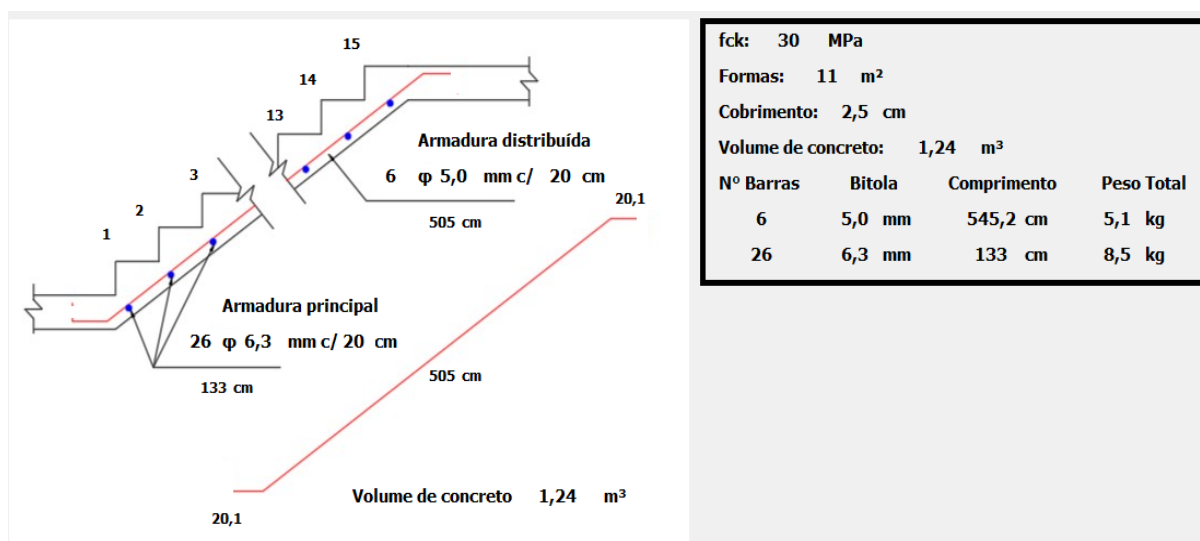
4.4 JANELA DA PRANCHA DE IMPRESSÃO

A última janela do programa é a da prancha de impressão, a qual pode ser impressa, e apresenta o mesmo detalhamento da Figura 45, além de uma lista com os principais dados para a execução da escada, sendo eles:

- resistência característica do concreto;
- área de formas de madeira;
- cobrimento necessário das armaduras;
- volume de concreto;
- quantidade, bitola e comprimento de cada barra, tanto para armaduras principais quanto para armaduras distribuídas;
- peso total das armaduras principais e das armaduras distribuídas.

A Figura 48 apresenta a janela prancha de impressão.

Figura 48 – Janela da prancha de impressão



Fonte: Autor (2019).

4.5 MEMORIAL DE CÁLCULO

O programa de dimensionamento de escadas de concreto armado foi programado para apresentar ao usuário um memorial de cálculo com todas as principais informações pertinentes ao projeto.

Ao finalizar o dimensionamento e solicitar o salvamento do projeto, o programa gera o memorial de cálculo em uma planilha do *software Microsoft Excel*.

A Figura 49 apresenta o memorial de cálculo da escada dimensionada segundo o Apêndice A.

Figura 49 – Memorial de cálculo

Obra:	Teste	Data:	30/10/2019
Endereço:	Universidade de Caxias do Sul	Cidade:	Caxias dos Sul
Projetista:	Fernando Augusto Vaccaro Pires	UF:	RS
Dimensionamento Arquitetônico com base em dimensões fixas			
lv	280	cm	
lh	420	cm	
n	1,1	m	
a	28	cm	
e	17,5	cm	
na	15	un.	
ne	16	un.	
Dados estruturais de projeto			
Aço	CA - 50		
CAA	II		
fck	30	MPa	
Apoio	28	cm	
yc	1,4		
ys	1,15		
pc	25	kN/m ³	
Escada Armada Transversalmente			
Altura mínima da laje	8	cm	
Escada sem acesso ao público			
Carga Acidental	2,5	kN/m ²	
Revestimento dos degraus			
Mármore	28	kN/m ³	
Agregado graúdo do concreto			
Basalto	1,2	kN/m ³	
f(t=0)	0,098	cm	
f(t=∞)	0,227	cm	
fadm	0,552	cm	
E.L.S Atendido			
Análise Estrutural			
r	5,196	kN	
m	1,793	kN.m	
Análise das Armaduras			
Comportamento dúctil!			
Área de aço principal calculada	0,84	cm ² /m	
Área de aço distribuído calculada	0,9	cm ² /m	
Área de aço mínima calculada	1,5	cm ² /m	
Espaçamento máximo	20	cm	
Considerar área de aço	1,5	cm ² /m	
Armadura Principal			
Barras de	6,3	mm a cada	20 cm
Área de aço	1,58	cm ² /m	
Armadura Distribuída			
Barras de	5,0	mm a cada	20 cm
Fonte: Autor (2019).			

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos, conclui-se que o objetivo principal deste estudo, que era criar um programa computacional capaz de dimensionar escadas de concreto que fossem armadas transversalmente, longitudinalmente e com laje em balanço, foi atendido. Além disso, pode-se comprovar a veracidade dos resultados gerados pelo programa, através da comparação com os resultados realizados no cálculo manual de validação.

A utilização do programa desenvolvido se apresentou muito mais rápida do que se o dimensionamento fosse realizado manualmente, visto que ao projetista não é necessário a realização dos cálculos, mas apenas as análises de engenharia.

Outro destaque positivo é que o programa, por ser capaz de gerar memoriais de cálculo, pode servir como base para novos projetos e análises de custo-benefício, atendendo aos objetivos específicos desta pesquisa.

Como esta é uma versão inicial de um programa de dimensionamento de escadas de concreto armado, pesquisas futuras que se aprofundem mais sobre o mesmo podem vir a contribuir para que o programa seja capaz de ampliar sua gama de possibilidades de dimensionamento.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, José Milton. **Curso de concreto armado**. 2. Ed. Rio Grande: Dunas, 2003. 4 v.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7480**: Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado – especificação. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8953**: Concreto para fins estruturais – classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9050**: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9077**: Saídas de emergência em edifícios. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland – preparo, controle e recebimento - procedimento. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14718**: Guarda-corpos para edificação. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15696**: Fôrmas e escoramentos para estruturas de concreto – projeto, dimensionamento e procedimentos executivos. Rio de Janeiro, 2009.

CAMPOS FILHO, Américo. **Projeto de Lajes Maciças de Concreto Armado**. Porto Alegre: DECIV/UFRGS, 2014. Apostila da disciplina ENG 011112 – UFRGS. Disponível em: <https://chasqueweb.ufrgs.br/~americo/eng011112/>. Acesso em: 28 abr. 2019.

CAXIAS DO SUL, **Lei Complementar N° 375**, de 22 de dezembro de 2010. Consolida a legislação que dispõe sobre o código de obras do município e dá outras providências. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/rs/c/caxias-do-sul/lei-complementar/2010/37/375/lei-complementar-n-375-2010-consolida-a-legislacao-que-dispoe-sobre-o-codigo-de-obras-do-municipio-e-da-outras-providencias>. Acesso em: 5 abr. 2019.

FUSCO, Péricles Brasiliense. **Técnicas de armar as estruturas de concreto**. 2. ed. São Paulo: Pini, 2013.

KIMURA, Alio Ernesto. **Indústria 4.0, cidades inteligentes e o concreto**. Revista Concreto & Construções, São Paulo, 2019-. ISSN 1809-7197. Trimestral.

LEME, Everaldo (Org). **Programação de computadores**. São Paulo: Pearson, 2015. Disponível em:

<https://bv4.digitalpages.com.br/?term=programa%25C3%25A7%25C3%25A3o&searchpage=1&filtro=todos&from=busca&page=-12§ion=0#/legacy/22108>. Acesso em: 15 maio 2019.

MACHADO, Ardevan. **O desenho na prática da engenharia**. 2. ed. São Paulo: Paika Realizações Gráficas, 1977.

MELGES, José Luiz Pinheiro; PINHEIRO, Libânio Miranda; GIONGO, José Samuel. **Concreto armado: escadas**. São Carlos. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 1997.

MICROSOFT. **Funcionalidades da linguagem do visual basic**. Disponível em: <https://docs.microsoft.com/pt-br/dotnet/visual-basic/programming-guide/language-features/>. Acesso em: 15 maio 2019.

MONTENEGRO, Gildo Azevedo. **Desenho arquitetônico**. 5. ed. São Paulo: Blucher, 2017. Disponível em:

<https://bv4.digitalpages.com.br/?from=explorar%2F4%2Farquitetura-e-urbanismo&page=1§ion=0#/legacy/158958>. Acesso em: 09 abr. 2019.

PINHEIRO, Antonio Carlos da Fonseca Braganca; CRIVELARO, Marcos. **Materiais de construção**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2016.

PORTO, Thiago Bomjardim, FERNANDES, Danielle Stefane Gualberto. **Curso básico de concreto armado**: conforme NBR 6118/2014. São Paulo: Oficina de Textos, 2016.

ROCHA, Anderson Moreira da. **Curso prático de concreto armado**. 5. Ed. Rio de Janeiro: Editora Científica, 1969.

SALGADO, Júlio César Pereira. **Técnicas e práticas construtivas para edificação**. 2º ed. rev. São Paulo: Érica, 2009.

SANTOS, José Sérgio dos. **Desconstruindo o projeto estrutural de edifícios: concreto armado e protendido**. São Paulo: Oficina de texto, 2017.

SINAPI, Sistema nacional de pesquisa de custos e índices da construção civil. Disponível em: <http://www.caixa.gov.br/poder-publico/apoio-poder-publico/sinapi/Paginas/default.aspx>. Acesso em: 14 maio 2019.

APÊNCIDE A – CÁLCULO MANUAL PARA VALIDAÇÃO DO PROGRAMA

Exemplo de validação:

Dados:

- Concreto C30: (f_{ck} : 30MPa);
- Aço CA-50;
- e: 17,5 cm;
- a: 28,0 cm;
- Classe de agressividade ambiental: II;
- Largura dos apoios: 28 cm;
- lv: 280 cm;
- lh: 420 cm.

Dimensionamento da largura da escada:

$$N = \frac{P}{C} \rightarrow N = \frac{4}{45} \rightarrow N = 0,089$$

Arredondar para número inteiro imediatamente superior. Sendo $N = 1$ unidade de passagem $\rightarrow 0,55$ m e largura mínima = 1,10 m, usar a largura mínima.

Análise dos degraus:

$$63 \leq (2e + a) \leq 65$$

$$63 \leq (2 * 17,5 + 28,0) \leq 65$$

$$63 \leq 63 \leq 65 \rightarrow \text{Blondel atendido!}$$

$$ne = \frac{lv}{e} \rightarrow ne = \frac{280}{17,5} \rightarrow ne = 16 \text{ unidades}$$

$$na = \frac{lh}{a} \rightarrow na = \frac{420}{28,0} \rightarrow 15 \text{ unidades}$$

Dimensionamento estrutural:

Escada armada transversalmente;

Altura mínima da laje: 8cm

$$h = \frac{\sqrt{a^2 + e^2}}{a} \cdot d \rightarrow h = \frac{\sqrt{28^2 + 17,5^2}}{28} \cdot 8 \rightarrow h = 9,43 \text{ cm}$$

$$h \cong 10 \text{ cm}$$

$$h_m = h + \frac{e}{2} \rightarrow h_m = 10 + \frac{17,5}{2} \rightarrow h_m = 18,75$$

$$h_m \cong 19 \text{ cm}$$

$$p \cdot p = \rho_c \cdot h_m \rightarrow p \cdot p = 25 * 0,19 \rightarrow p \cdot p = 4,75 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Revestimento: } 1 \text{ cm de mármore} \rightarrow 0,01 * 28 = 0,28 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Carga acidental: } 2,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \rightarrow \text{sem acesso ao público}$$

$$P_{d,\text{serv}} = \sum g_k + \sum \psi_{2i} * q_{ki}$$

$$P_{d,\text{serv}} = (4,75 + 0,28) + (0,3 * 2,5) \rightarrow P_{d,\text{serv}} = 5,79 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\alpha_i = 0,8 + 0,2 \frac{f_{ck}}{80} \leq 1,0 \rightarrow \alpha_i = 0,8 + 0,2 \frac{30}{80} \leq 1,0 \rightarrow \alpha_i = 0,875 \leq 1,0 \rightarrow \text{OK!}$$

$$E_{ci} = \alpha_e \cdot 5600 \cdot \sqrt{f_{ck}}; \alpha_e = 1,2 \text{ para basalto};$$

$$E_{ci} = 1,2 * 5600 * \sqrt{30} \rightarrow E_{ci} = 36806,96 \text{ MPa}$$

$$E_{cs} = \alpha_i \cdot E_{ci} \rightarrow E_{cs} = 0,875 * 36806,96 \text{ MPa} \rightarrow E_{cs} = 32206,09 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm} = 0,3 \cdot \sqrt[3]{f_{ck}^2} \rightarrow f_{ctm} = 0,3 \cdot \sqrt[3]{30^2} \rightarrow f_{ctm} = 2,896 \text{ MPa}$$

$$m_r = 0,25 \cdot f_{ctm} \cdot b \cdot h^2 \rightarrow m_r = 0,25 * 2,896 * 1 * 10 \rightarrow m_r = 7,243 \text{ kN} \cdot \frac{\text{m}}{\text{m}}$$

$$m_a = \frac{P_{d,\text{serv}} \cdot l^2 \cdot 1\text{m}}{2} \rightarrow m_a = \frac{5,78 * 1,10^2 * 1}{2} \rightarrow m_a = 3,497 \text{ kN} \cdot \frac{\text{m}}{\text{m}}$$

$$m_a \leq m_r \rightarrow I_{eq} = I_c$$

$$I_c = \frac{b \cdot h^3}{12} \rightarrow I_c = \frac{100 * 10^3}{12} \rightarrow I_c \cong 8333 \text{ cm}^4 = I_{eq}$$

Análise das Flechas:

$$f_{t=0} = \frac{1}{E_{cs} * I_{eq} * 0,1} \cdot \frac{P_{d,\text{serv}} * 10^{-4} * l_y^4}{0,08}$$

$$f_{t=0} = \frac{1}{32206,09 * 8333 * 0,1} \cdot \frac{5,78 * 10^{-4} * 138^4}{0,08} \cong 0,098 \text{ cm}$$

$$f_{t=\alpha} = 2,32 * f_{t=0} \rightarrow f_{t=\alpha} = 2,32 * 0,098 \cong 0,227 \text{ cm}$$

$$f_{adm} = \frac{l_y}{250} \rightarrow f_{adm} = \frac{138}{250} \rightarrow f_{adm} = 0,552 \text{ cm}$$

$$f_{adm} \geq f_{t=\alpha} \rightarrow \text{E. L. S Atendido!}$$

Análise estrutural:

$$P_{d,estrutural} = 4,75 + 0,28 + 2,5 \rightarrow P_{d,estrutural} = 7,53 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$m = \frac{P_{d,estrutural} * l_y^2}{8} \rightarrow m = \frac{7,53 * 1,38^2}{8} \rightarrow m = 1,793 \text{ kN. m}$$

$$r = \frac{P_{d,estrutural} * l_y}{2} \rightarrow r = \frac{(7,53 * 1,38)}{2} \rightarrow r = 5,196 \text{ kN}$$

Dimensionamento quanto aos Estado Limite Último:

$$d = h - c - \frac{\phi}{2} \rightarrow d = 10 - 2,5 - 0,5 \rightarrow d = 7 \text{ cm}$$

$$\lambda = 0,8;$$

$$\alpha_c = 0,85$$

$$m_d = m * 1,4 \rightarrow m_d = 1,793 * 1,4 * 100 \rightarrow m_d = 251,02 \text{ kN.} \frac{\text{cm}}{\text{m}}$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1,4} \rightarrow f_{cd} = \frac{30}{1,4} \rightarrow f_{cd} = 21,5 \text{ MPa} \rightarrow f_{cd} = 2,15 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$x = \frac{d}{\lambda} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m_d}{\alpha_c \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d^2}} \right) \rightarrow x = \frac{0,7}{0,8} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 * 251,02}{0,85 * 2,15 * 100 * 7^2}} \right)$$

$$x \cong 0,249 \text{ cm}$$

$$\frac{x}{d} = \frac{0,249}{7} \rightarrow \frac{x}{d} = 0,0355$$

$$\frac{x}{d} \leq 0,45 \text{ OK!} \rightarrow \text{Comportamento Dúctil}$$

$$A_s = \frac{\alpha_c \cdot \lambda \cdot f_{cd} \cdot b \cdot x}{f_{yd}} \rightarrow A_s = \frac{0,85 * 0,8 * 2,15 * 100 * 0,249}{43,479} \rightarrow A_s \cong 0,84 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

$$A_{s,\text{mín}} = \rho_{\text{mín}} \cdot b \cdot h \rightarrow A_{s,\text{mín}} = 0,15\% * 100 * 10 \rightarrow A_{s,\text{mín}} = 1,5 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

Usar o valor da $A_{s,\text{mín}}$.

$$A_{s,\text{dist}} \geq \begin{cases} \frac{A_s}{5} \rightarrow \frac{0,84}{5} = 0,168 \text{ cm}^2/\text{m} \\ \frac{A_{s,\text{mín}}}{2} \rightarrow \frac{1,5}{2} = 0,75 \text{ cm}^2/\text{m} \\ 0,9 \text{ cm}^2/\text{m} \end{cases}$$

$$A_{s,\text{dist}} = 0,9 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\text{Espaçamento máximo} \leq \begin{cases} 2 \cdot h \rightarrow 2 * 10 = 20 \text{ cm} \\ 20 \text{ cm} \end{cases}$$

Espaçamento máximo: 20 cm

Armadura principal: $\phi 6,3 \text{ mm c}/20 \text{ cm} \rightarrow A = 1,58 \text{ cm}^2/\text{m}$

Armadura distribuída: $\phi 5,3 \text{ mm c}/20 \text{ cm} \rightarrow A = 1,00 \text{ cm}^2/\text{m}$

$$\tau_{wd} = \gamma_c \cdot r \cdot 100 \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 * 5,196 * 100 \cong 0,104 \text{ MPa}$$

$$\tau_{rd} = 0,038 \cdot f_{ck}^{\frac{2}{3}} \rightarrow \tau_{rd} = 0,038 \cdot 30^{\frac{2}{3}} \cong 0,366 \text{ MPa}$$

$$\tau_{rd} \geq \tau_{wd} \rightarrow \text{E. L. U. Atendido!}$$

Ancoragem

$$f_{bd} = 2,25 * 1,0 * 1,0 * 1,448 \rightarrow f_{bd} = 3,258 \text{ MPa}$$

$$l_b = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}} \rightarrow l_b = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{43,479 * 10}{3,258} \rightarrow \phi 33,4 \geq \phi 25 \text{ OK!}$$

$$l_b = 33,4 * 0,63 \rightarrow l_b \cong 21,1 \text{ cm}$$

$$l_{b,nec} = \alpha \cdot l_b \cdot \frac{A_s}{A} \rightarrow l_{b,nec} = 1,0 * 21,1 * \frac{1,5}{1,58} \rightarrow l_{b,nec} = 20 \text{ cm}$$

$$l_{b \text{ mín}} \geq \begin{cases} 0,3 * l_b \rightarrow 0,3 * 21,1 = 6,33 \text{ cm} \\ 10 * \phi \rightarrow 10 * 0,63 = 6,30 \text{ cm} \\ 10 \text{ cm} \end{cases}$$

$$l_{b,nec} \geq l_{b,\text{mín}} \text{ OK!}$$

$$\text{sendo } \alpha = \arctg\left(\frac{e}{a}\right) \cong 32^\circ$$

$$l_{b \text{ disp}} = \frac{28,0 - 2,5}{\cos \alpha} \cong 30 \text{ cm} \rightarrow \text{Ancoragem reta atende a necessidade!}$$

$$\text{Volume de concreto: } \left(\frac{lh}{\cos \alpha} \cdot h_m + \frac{e + a}{2} \cdot n_e \right) \cdot \text{largura}$$

$$\text{Volume de concreto: } \left(\frac{4,20}{\cos \alpha} \cdot 0,19 + \frac{0,175 * 0,28}{2} \cdot 16 \right) \cdot 1,38 \cong 1,84 \text{ m}^3$$

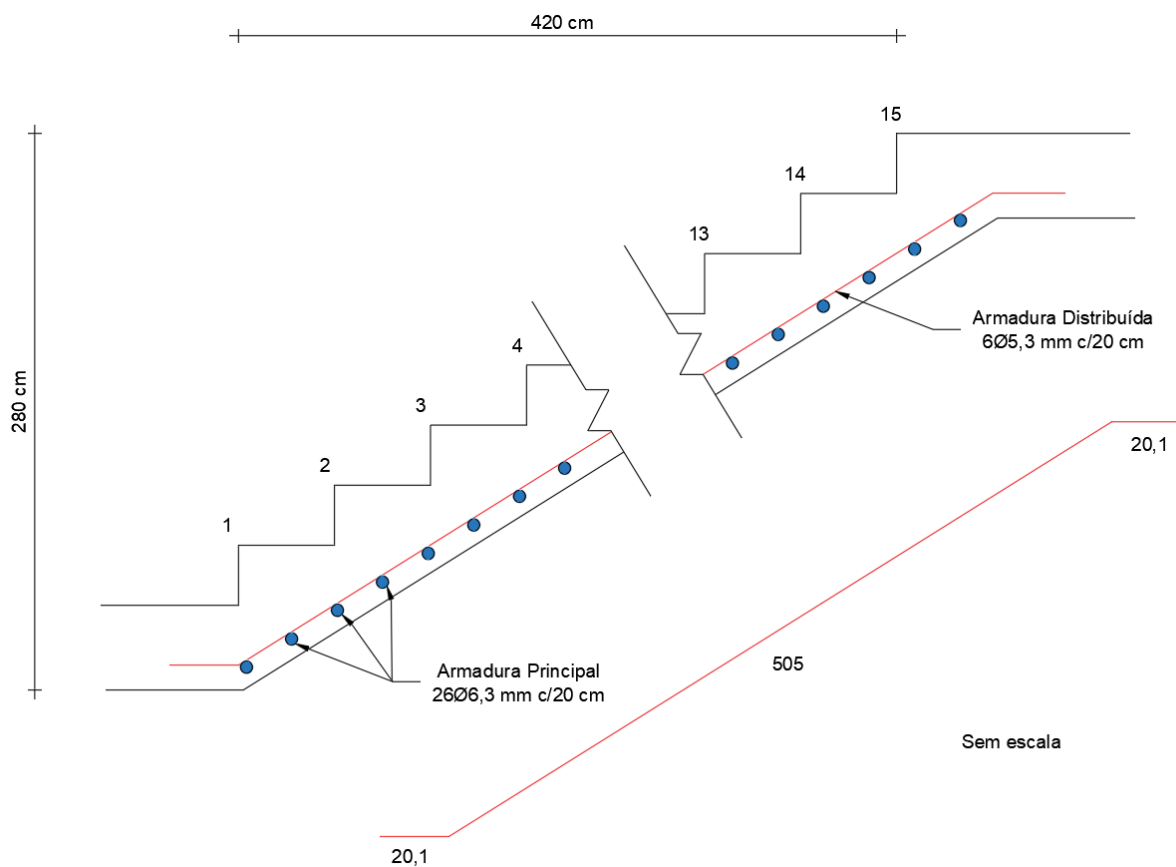
Área das fôrmas:

$$\frac{lh}{\cos \alpha} \cdot h_m \cdot 2 + \frac{e + a}{2} \cdot n_e + \text{largura} \cdot h_m \cdot 2 + \text{largura} \cdot e \cdot n_e + \frac{lh}{\cos \alpha} \cdot \text{largura}$$

$$\text{Área das fôrmas } \cong 11 \text{ m}^2$$

$$\text{Peso do aço: } 26 * 1,33 * 0,245 + 6 * 5,452 * 0,154 \cong 13,51 \text{ kg}$$

Detalhamento:



ANEXO A – PESO ESPECÍFICO DOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

Tabela A – Peso específico dos materiais de construção

Materiais		Peso específico aparente (kN/m³)
Rochas	Arenito	26
	Basalto	30
	Gneiss	30
	Granito	28
	Mármore e calcário	28
Blocos artificiais	Blocos de argamassa	22
	Cimento amianto	20
	Lajotas cerâmicas	18
	Tijolos furados	13
	Tijolos maciços	18
	Tijolos sílico-calcáreos	20
Revestimentos e concretos	Argamassa de cal, cimento e areia	19
	Argamassa de cimento e areia	21
	Argamassa de gesso	12,5
	Concreto simples	24
	Concreto armado	25
Madeiras	Pinho, cedro	5
	Louro, imbuia, pau óleo	6,5
	Guajuvirá, guatambu, grápia	8
	Angico, cabriúva, ipê róseo	10
Metais	Aço	78,5
	Alumínio e ligas	28
	Bronze	85
	Chumbo	114
	Cobre	89
	Ferro fundido	72,5
	Estanho	74
	Latão	85
	Zinco	72
Materiais diversos	Alcatrão	12
	Asfalto	13
	Borracha	17
	Papel	15
	Plástico em folhas	21
	Vidro plano	26

Fonte: Adaptado da ANBT NBR 6120:1980.

ANEXO B – ÁREA DA SEÇÃO DE ARMADURA POR METRO DE LARGURA

TABELA B – Área da seção de armadura por metro de largura

Espaçamento (cm)	Bitola ϕ						
	4	5	6,3	8	10	12,5	16
7,0	1,79	2,86	4,50	7,14	11,43	17,86	28,57
7,5	1,67	2,67	4,20	6,67	10,67	16,67	26,67
8,0	1,56	2,50	3,94	6,25	10,00	15,63	25,00
8,5	1,47	2,35	3,71	5,88	9,41	14,71	23,53
9,0	1,39	2,22	3,50	5,56	8,89	13,89	22,22
9,5	1,32	2,11	3,32	5,26	8,42	13,16	21,05
10,0	1,25	2,00	3,15	5,00	8,00	12,50	20,00
11,0	1,14	1,82	2,86	4,55	7,27	11,36	18,18
12,0	1,04	1,67	2,63	4,17	6,67	10,42	16,66
12,5	1,00	1,60	2,52	4,00	6,40	10,00	16,00
13,0	0,96	1,54	2,42	3,85	6,15	9,62	15,38
14,0	0,89	1,43	2,25	3,55	5,71	8,93	14,28
15,0	0,83	1,33	2,10	3,33	5,33	8,33	13,33
16,0	0,78	1,25	1,97	3,13	5,00	7,81	12,50
17,0	0,74	1,18	1,85	2,94	4,71	7,35	11,76
17,5	0,71	1,14	1,80	2,86	4,57	7,14	11,43
18,0	0,69	1,11	1,75	2,78	4,44	6,95	11,11
19,0	0,66	1,05	1,66	2,63	4,21	6,58	10,52
20,0	0,63	1,00	1,58	2,50	4,00	6,25	10,00
21,0	0,60	0,95	1,50	2,38	3,81	5,95	9,52
22,0	0,57	0,91	1,43	2,27	3,64	5,68	9,09
23,0	0,54	0,87	1,37	2,17	3,48	5,44	8,70
24,0	0,52	0,83	1,31	2,08	3,33	5,21	8,33
25,0	0,50	0,80	1,26	2,00	3,20	5,00	8,00
26,0	0,48	0,77	1,21	1,92	3,08	4,81	7,69
27,0	0,46	0,74	1,17	1,85	2,96	4,63	7,40
28,0	0,45	0,71	1,13	1,79	2,86	4,46	7,14
29,0	0,43	0,69	1,09	1,72	2,76	4,31	6,89
30,0	0,42	0,67	1,05	1,67	2,67	4,17	6,66
33,0	0,38	0,61	0,95	1,52	2,42	3,79	6,06

Fonte: Adaptado de FUSCO (2013).

ANEXO C – CARACTERÍSTICAS DAS BARRAS

Tabela C – Características das barras

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

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 7480:2007.

ANEXO D – CARACTERÍSTICAS DOS FIOS

Tabela D – Características dos fios

Diâmetro nominal mm	Massa e tolerância por unidade de comprimento		Valores nominais	
Fios	Massa Nominal kg/m	Máxima variação permitida para a massa nominal	Área da seção mm ²	Perímetro mm
2,4	0,036	± 6%	4,5	7,5
3,4	0,071	± 6%	9,1	10,7
3,8	0,089	± 6%	11,3	11,9
4,2	0,109	± 6%	13,9	13,2
4,6	0,130	± 6%	16,6	14,5
5,0	0,154	± 6%	19,6	15,7
5,5	0,187	± 6%	23,8	17,3
6,0	0,222	± 6%	28,3	18,8
6,4	0,253	± 6%	32,2	20,1
7,0	0,302	± 6%	28,5	22
8,0	0,395	± 6%	50,3	25,1
9,5	0,558	± 6%	70,9	29,8
10,0	0,617	± 6%	78,5	31,4

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 7480:2007.