

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

Felipe Pinto da Motta Quevedo

**PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA AUTOMATIZAR O
DIMENSIONAMENTO E DETALHAMENTO DE ESCADAS
DE CONCRETO ARMADO EM EDIFÍCIOS**

Porto Alegre
junho 2011

FELIPE PINTO DA MOTTA QUEVEDO

**PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA AUTOMATIZAR O
DIMENSIONAMENTO E DETALHAMENTO DE ESCADAS
DE CONCRETO ARMADO EM EDIFÍCIOS**

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

Orientador: Américo Campos Filho

Porto Alegre
junho 2011

FELIPE PINTO DA MOTTA QUEVEDO

**PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA AUTOMATIZAR O
DIMENSIONAMENTO E DETALHAMENTO DE ESCADAS
DE CONCRETO ARMADO EM EDIFÍCIOS**

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

Porto Alegre, junho de 2011

Prof. Américo Campos Filho
Dr. pela Escola Politécnica da USP
Orientador

Profa. Carin Maria Schmitt
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA

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

Prof. Alexandre Rodrigues Pacheco (UFRGS)
Ph. D. pela Pennsylvania State University

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

Dedico este trabalho ao pessoal da Estádio 3 por me proporcionarem as minhas primeiras escadas reais.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Américo Campos Filho, pela sugestão do tema e pelos momentos de orientação desse trabalho.

Agradeço a Profa Carin Maria Schimitt pelo auxílio e dedicação fornecidos a mim e a meus colegas de turma durante esses dois semestres.

Aos Professores Roberto Domingo Rios, Virgínia Maria Rosito d'Avila, e Rubem Schwingel que, durante o curso, ministraram a mim e a meus colegas devotadas aulas sobre Concreto Armado.

À minha namorada, Suzana, pela oportunidade da companhia e compartilhamento de idéias não só sobre Engenharia Civil, mas também sobre Pedagogia.

Aos colegas de trabalho da Estádio 3 pelas essenciais sugestões de aperfeiçoamento do programa.

Aos colegas de curso que, em sala de aula, ou nos corredores da faculdade, ou até mesmo no RU, me proporcionaram companhia, conversas e debates inesquecíveis sobre Engenharia e o mundo que nos espera.

Tornamos o mundo significativo pela coragem de nossas
perguntas e profundidades de nossas respostas.

Carl Sagan

RESUMO

QUEVEDO, F. P. M. **Programa computacional para automatizar o dimensionamento e detalhamento de escadas de concreto armado em edifícios**. 2011. 119 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Este trabalho teve como intuito a elaboração de um programa – escrito na linguagem *Visual Basic* – para dimensionar e detalhar lances de escadas de concreto armado. Para tanto, dentro desse trabalho, em um primeiro momento, encontra-se explicitado o rumo necessário para tal objetivo. Inicialmente, foram abordados tópicos referentes à concepção arquitetônica de escadas em geral, sendo apresentado especificações que constam em códigos e normas brasileiras sobre largura do lance da escada, geometria dos degraus e patamares, corrimãos e guarda-corpos. Posteriormente, são abordados tópicos referentes ao dimensionamento estrutural de lances que possam ser modelados como uma laje armada em uma direção. São apresentados temas referentes à composição de cargas, ao modelo estrutural, à determinação da área de aço das armaduras usadas no lance, às características das armaduras, às verificações de ancoragem e de dispensa de armaduras de cisalhamento. Como última abordagem teórica são apresentadas as recomendações de detalhamento de lances de escada. Após expor o referencial teórico, é apresentado o programa computacional para automatizar o dimensionamento e detalhamento de escadas de concreto armado em edifícios. Para tanto, inicialmente, são apresentadas as janelas do programa, suas correspondentes funções e configurações. Logo após, tem-se a apresentação dos comentários referentes ao teste do programa e, por fim, têm-se as considerações finais que apresentam o fechamento do trabalho tendo em vista o objetivo alcançado pelo programa.

Palavras-chave: escada, projeto estrutural, concreto armado, programa computacional.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: comparação entre o diagrama de corpo livre de uma escada e o de uma rampa	17
Figura 2: etapas do trabalho de diplomação	23
Figura 3: alguns elementos de uma escada	26
Figura 4: piso e espelho de um degrau	31
Figura 5: bocel e espelho inclinado	32
Figura 6: especificações geométricas do corrimão	34
Figura 7: corrimão ao longo da escada	34
Figura 8: modelo de barra bi-apoiada de um lance de escada armado longitudinalmente	36
Figura 9: corte longitudinal de um trecho de escada	38
Figura 10: exemplos de lances principais e lances secundários	42
Figura 11: apoio sobre lance principal	43
Figura 12: diagramas de esforços solicitantes no trecho inclinado	44
Figura 13: seção retangular equivalente para o dimensionamento de um lance armado longitudinalmente	44
Figura 14: diagrama tensão-deformação do concreto e do aço	45
Figura 15: domínios de estado limite último de uma seção transversal	46
Figura 16: diagramas de esforços resistentes e esforços solicitantes em uma seção de concreto armado	47
Figura 17: detalhe geral de um lance que possui dois patamares	61
Figura 18: detalhe de um lance apoiado sobre vigas e lajes com pequeno engastamento	62
Figura 19: detalhe especial quando há mudança de direção do esforço na barra tracionada	63
Figura 20: janela principal do programa	65
Figura 21: tipos de lances de acordo com a presença ou ausência de patamares	66
Figura 22: janela <Geometria dos Degraus>.....	67
Figura 23: janela <Condições dos Apoios>.....	68
Figura 24: tipos de apoios disponíveis no programa	69
Figura 25: janela <Composição de cargas>	70
Figura 26: calculadora de cargas para o peso próprio da laje do trecho do lance que sustenta o patamar	71
Figura 27: calculadora de cargas para o peso próprio da laje do trecho do lance que sustenta os degraus	72
Figura 28: calculadora de cargas para o reboco e revestimento do lance	72
Figura 29: calculadora de cargas para cargas de parede, corrimão e/ou peitoril	73

Figura 30: calculadora para carga accidental	73
Figura 31: campos referentes aos dados dos materiais utilizados no dimensionamento ..	74
Figura 32: campo para o dimensionamento	74
Figura 33: fluxograma usado no dimensionamento	75
Figura 34: aviso de erro na entrada de dados	76
Figura 35: modelo usado para o cálculo do momento máximo e as reações nos apoios .	76
Figura 36: janela <Seleção de bitolas>.....	78
Figura 37: janela <Relatório do Dimensionamento>	79
Figura 38: janela <Detalhamento do Lance>	80
Figura 39: comprimento das armaduras	81
Figura 40: verificando e alterando o gancho no apoio	83
Figura 41: arquivos do programa	84
Figura 42: janela <Coeficientes de Ponderação>.....	84
Figura 43: janela <Características das Barras e Fios de Aço>.....	85
Figura 44: exemplos usados para testar o programa	87
Figura 45: detalhamento dos exemplos	88
Figura 46: resultados numéricos dos exemplos.....	89

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: calculo da população/capacidade da unidade de passagem de acordo com o Código de Edificações de Porto Alegre.....	29
Quadro 2: cálculo da população/capacidade da unidade de passagem de acordo com a NBR 9077	30
Quadro 3: peso específico de materiais.....	40
Quadro 4: espessura da laje da escada em função do vão maior.....	49
Quadro 5: classes de agressividade ambiental	50
Quadro 6: correspondência entre classe de agressividade ambiental e cobrimento nominal para $\Delta C = 10$ mm	50
Quadro 7: taxas mínimas de armadura de flexão para uma seção em formato retangular	51
Quadro 8: relação entre η_1 e η_b	53
Quadro 9: características das barras de aço.....	54
Quadro 10: características dos fios de aço	55
Quadro 11: diâmetro dos pinos de dobramento	58

LISTA DE SÍMBOLOS

N = número de unidades de passagem arredondando para o n° inteiro acima, ou número de degraus do lance da escada

P = população do pavimento de maior lotação

C = capacidade da unidade de passagem

e = altura do espelho do degrau (cm)

a = largura do piso do degrau (cm) ou largura do apoio usado no programa (cm), ou posição em que se encontra apoio sobre lance principal (cm)

l_{patamar} = largura do patamar (cm)

n_{INT} = número inteiro para a determinação da largura do patamar (1, 2 ou 3)

M_k = momento fletor característico por unidade de comprimento de laje (kNm/m)

p = carga superficial total atuante na laje da escada (kN/m²)

g = carga superficial permanente atuante na laje da escada (kN/m²)

q = carga superficial variável atuante na laje da escada (kN/m²)

α = ângulo de inclinação do trecho inclinado do lance de uma escada ou, no caso de ancoragens, coeficiente de minoração para ancoragens com gancho

g_{patamar} = carga permanente devido ao peso próprio do patamar (kN/m²)

$g_{\text{lanceinclinado}}$ = carga permanente devido ao peso próprio do lance inclinado (kN/m²)

γ_{ca} = peso específico do concreto armado (kN/m³)

h_p = espessura do patamar (m)

h = espessura da laje do lance (m)

h_m = espessura média do trecho inclinado do lance (m)

h_1 = espessura paralela à direção da gravidade do trecho do lance inclinado (m)

γ_{cs} = peso específico do concreto simples ou do enchimento dos degraus (kN/m³)

$g_{\text{parapeito}}$ = carga permanente do parapeito ou parede (kN/m²)

γ_{alv} = peso específico da alvenaria (kN/m³)

$H_{\text{parapeito}}$ = altura do parapeito ou da parede (m)

t = espessura do parapeito ou da parede (m)

l_{lance} = largura do lance da escada onde a carga se distribui (m)

L_p = largura de um lance principal (m)

L_s = largura de um lance secundário (m)

L_{c1} = comprimento acrescentado ao vão do lance secundário devido ao apoio 1 estar sobre lance primário (cm)

L_1 = largura do patamar inferior do lance (m)

L_2 = largura do trecho inclinado que contém os degraus do lance (m)

L_3 = largura do patamar superior do lance (m)

R_1 = reação do apoio 1 (kN/m)

N_{rd} = esforço normal resistente de cálculo por unidade de comprimento (kN/m)

M_{rd} = momento fletor resistente de cálculo por unidade de comprimento (kNm/m)

N_{sd} = esforço normal solicitante de cálculo por unidade de comprimento (kN/m)

M_{sd} = momento fletor solicitante de cálculo por unidade de comprimento (kNm/m)

p = carga distribuída sobre uma barra inclinada (kN/m²) ou peso linear de uma barra ou fio de aço (kg/m)

l = comprimento de uma barra inclinada (m)

M_d = momento fletor de cálculo por unidade de comprimento (kNm/m)

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

d = altura útil (cm)

b_w = largura da seção usada no dimensionamento (cm)

x = posição da linha neutra em relação à fibra mais comprimida da seção (cm), ou eixo de referência do diagrama de esforços solicitantes e resistentes, ou variável da posição da seção s no cálculo da função $M(x)$

σ_c = tensão de compressão do concreto (MPa)

ϵ_c = deformação específica do concreto (MPa)

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

γ_c = coeficiente de minoração da resistência do concreto

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

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

γ_s = coeficiente de minoração da resistência do aço, sendo seu valor igual a 1,15

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

h = altura da seção de dimensionamento (cm)

ϵ_{yd} = deformação específica de cálculo do aço

A_s = área de aço (cm²/m);

x_{lim} = posição da linha neutra entre o domínio 3 e o domínio 4 de deformação (cm)

c = cobrimento nominal da armadura (cm)

ϕ = diâmetro da bitola da armadura (cm)

ρ_{min} = taxa geométrica mínima da armadura de flexão (%)

ω_{\min} = taxa mecânica mínima da armadura de flexão (%)

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

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

η_b = coeficiente de conformação superficial de acordo com a NBR 7477:1982

η_1 = coeficiente de conformação superficial de acordo com a NBR 6118:2007

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

V_{rd1} = força cortante resistente de cálculo (kN/m)

f_{ctm} = resistência média à tração do concreto (MPa)

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

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

τ_{rd} = tensão de cisalhamento resistente de cálculo (MPa)

ρ_1 = taxa de armadura longitudinal de tração usada na verificação do esforço de corte

k = coeficiente de majoração da força cortante resistente de cálculo

$V_{d,\text{max}}$ = máximo esforço de corte de cálculo atuante na seção para dispensa de estribos (kN/m)

ϕ = bitola da armadura (mm)

$f_{ctd,\text{inf}}$ = resistência à tração inferior de cálculo do concreto (MPa)

f_{bd} = resistência de aderência de cálculo entre a armadura e o concreto (MPa)

η_2 = coeficiente de conformação superficial

η_3 = coeficiente de conformação superficial

l_b = comprimento de ancoragem básico (cm)

$l_{b,\min}$ = comprimento de ancoragem mínimo (cm)

$A_{s,calc}$ = área de aço calculada para ancoragem (cm^2/m)

$A_{s,efet}$ = área de aço efetiva usada na ancoragem (cm^2/m)

R = raio de curvatura interno do gancho

R_{sd} = força de tração na armadura proveniente do diagrama de forças decalado de a_1

a_1 = deslocamento do diagrama de momentos fletores, paralelo ao eixo da peça, para substituir os efeitos provocados pela fissuração oblíqua

V_d = força cortante de cálculo no apoio (kN/m)

L_5 = altura do trecho inclinado do lance (cm)

a_1 = largura do apoio 1 usada na janela <Condições dos Apoios> (cm)

a_2 = largura do apoio 2 usada na janela <Condições dos Apoios> (cm)

p_1 = carga total aplicada sobre o patamar inferior do lance (m)

p_2 = carga total aplicada sobre o trecho inclinado que contém os degraus do lance (m)

p_3 = carga total aplicada sobre o patamar superior do lance (m)

L_{a1} = metade da largura do apoio 1 quando externo acrescentado ao vão para o cálculo do $M(x)$ (cm)

L_{a2} = metade da largura do apoio 2 quando externo acrescentado ao vão para o cálculo do $M(x)$ (cm)

L_{c2} = comprimento acrescentado ao vão do lance secundário devido ao apoio 2 estar sobre lance primário (cm)

$M(x)$ = função momento fletor no modelo da barra bi-apoiada (kNm/m)

V = volume do lance (m^3)

A_f = área de formas necessária para moldar a escada *in loco* (m^2)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
2 DIRETRIZES DA PESQUISA	20
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA	20
2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO	20
2.2.1 Objetivo principal	20
2.2.2 Objetivo secundário	20
2.3 PRESSUPOSTOS	21
2.4 DELIMITAÇÕES	21
2.5 LIMITAÇÕES	21
2.6 DELINEAMENTO	22
3 CONCEPÇÃO DE ESCADAS EM EDIFÍCIOS	24
3.1 ELEMENTOS DAS ESCADAS E SUA TERMINOLOGIA	24
3.2 ESPECIFICAÇÕES GERAIS RELATIVAS ÀS ESCADAS	26
3.3 ESPECIFICAÇÕES RELATIVAS À LARGURA DAS ESCADAS	27
3.4 ESPECIFICAÇÕES RELATIVAS AOS DEGRAUS	31
3.5 ESPECIFICAÇÕES RELATIVAS AOS PATAMARES	32
3.6 ESPECIFICAÇÕES RELATIVAS AOS CORRIMÃOS E AOS GUARDA-CORPOS	33
4 DIMENSIONAMENTO DE LANCES DE ESCADA EM CONCRETO ARMADO	35
4.1 COMPOSIÇÃO DE CARGAS ATUANTES NAS ESCADAS	37
4.1.1 Peso próprio da laje	38
4.1.2 Peso próprio do revestimento e reboco	39
4.1.3 Parapeitos e paredes	40
4.1.4 Carga acidental	41
4.2 MODELO ESTRUTURAL	41
4.3 DIMENSIONAMENTO DA ARMADURA PRINCIPAL	43
4.4 ARMADURA MÍNIMA	51
4.5 DIMENSIONAMENTO DA ARMADURA DE DISTRIBUIÇÃO	52
4.6 ARMADURAS PARA ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO	52
4.7 DISPENSA DE ARMADURAS PARA FORÇA CORTANTE	55
4.8 COMPRIMENTO DE ANCORAGEM	57
5 DETALHAMENTO DE LANCES DE ESCADA	61

6 PROGRAMA PARA DIMENSIONAMENTO E DETALHAMENTO DE LANCES DE ESCADA	64
6.1 APRESENTAÇÃO DAS JANELAS DO PROGRAMA	64
6.2 ARQUIVOS E CONFIGURAÇÕES DO PROGRAMA	83
6.3 TESTE E ANÁLISE DO PROGRAMA	85
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	91
REFERÊNCIAS	92
APÊNDICE A.....	93

1 INTRODUÇÃO

Um dos principais objetos de estudo da Engenharia Civil são as estruturas executadas em concreto armado. O concreto armado é usado para dar forma a uma série de subestruturas que compõem uma edificação, tais como blocos de fundação, pilares, vigas, lajes, cortinas e, de interesse especial para esse trabalho, as escadas.

As escadas têm como função principal atender a necessidade de circulação vertical dentro das edificações com certo nível de conforto. Em comparação com as rampas, conforme mostra os diagramas da figura 1, o contato com a superfície horizontal das escadas gera apenas forças verticais facilmente equilibradas pela musculatura humana, enquanto que, nas rampas, conjuntamente com a força vertical, aparecem forças paralelas ao plano, as quais devem ser continuamente equilibradas pelos músculos do corpo. Nessa comparação, é como se, a cada passo do usuário, as escadas permitissem um pequeno descanso da musculatura do corpo.

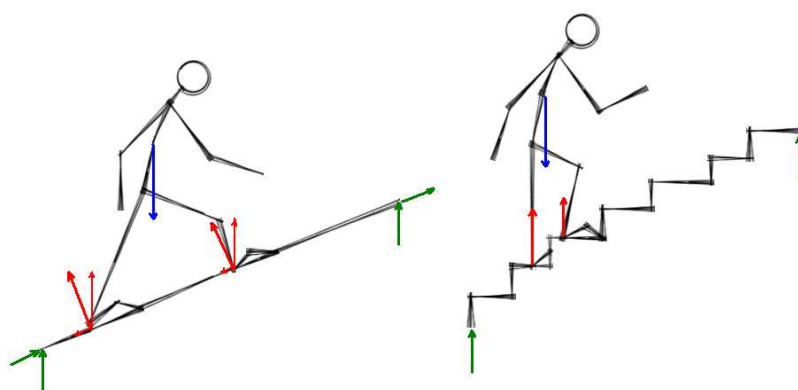


Figura 1: comparação entre o diagrama de corpo livre de uma escada e o de uma rampa (elaborada pelo autor do trabalho)

As escadas não são subestruturas vitais para a estabilidade global do edifício. Apenas transmitem cargas de seu peso próprio e cargas devido ao caminhar das pessoas para o sistema estrutural da edificação. Deste modo, as escadas são vistas como cargas para o sistema estrutural do prédio. Isso permite a simplificação de que, dentro do projeto estrutural do edifício, o projeto estrutural das escadas fique sendo uma parte independente do resto.

As escadas são projetadas por arquitetos e engenheiros e o seu projeto deve atender requisitos de acessibilidade, conforto, segurança, durabilidade e desempenho em serviço. Geralmente, os arquitetos se encarregam, durante o desenvolvimento do projeto arquitetônico, da concepção da escada – definindo o tipo, sua posição na edificação, a geometria e o material de seus elementos. Com o projeto arquitetônico em mãos, os engenheiros, ao longo da elaboração do projeto estrutural, abordam o dimensionamento estrutural e o detalhamento das escadas – definindo seu sistema estrutural, sua espessura, a quantidade e a disposição dos materiais. Por fim, de posse dos projetos e das técnicas de execução, o engenheiro de obras e sua equipe moldam fisicamente a escada durante a execução da obra. Tanto o projeto, quanto a execução estão sujeitos às restrições fornecidas pelas normas e códigos para o atendimento mínimo dos requisitos exigidos das escadas.

Nesse contexto, o presente trabalho abordará assuntos referentes à concepção, dimensionamento e detalhamento das escadas de concreto armado com o objetivo de desenvolver um *software* capaz de dimensionar e detalhar automaticamente essas estruturas. Como ficará claro ao longo do texto, dimensionar e detalhar um lance de escada de concreto armado é algo bastante simples. Contudo, os escritórios de cálculo, muitas vezes, carecem de um programa exclusivo e dedicado ao dimensionamento e detalhamento dessas estruturas. Neste aspecto, torna-se interessante o desenvolvimento de um *software* que auxilie os engenheiros durante o dimensionamento e detalhamento de lances de escadas de concreto armado.

Este trabalho está dividido em 7 capítulos, iniciando neste primeiro no qual é feita a introdução do trabalho. O capítulo 2 descreve as diretrizes de pesquisa desenvolvida para a elaboração do programa, indicando a questão, os objetivos, as limitações, as delimitações e o delineamento que permeiam esse trabalho. No capítulo 3, desenvolvem-se os tópicos relativos à concepção de escadas em geral. Considerando-se normas e códigos referentes a esse assunto, são apresentados cuidados que o projetista deve ter ao lançar e definir uma escada para uma edificação. Já o capítulo 4, de indispensável importância ao objetivo proposto pelo trabalho, apresenta-se a parte teórica referente ao dimensionamento. São explicitados temas contidos nas referências bibliográficas pertinentes à composição de cargas, ao modelo estrutural, ao dimensionamento, às características das armaduras, as verificações das ancoragem e dispensa de armadura de corte. Dentro do capítulo 5, serão abordados assuntos referentes ao detalhamento de lances de escadas. Será visto, de acordo com os autores e

normas, como as armaduras devem ser dispostas sobre os lances da escada. No capítulo 6 será apresentado o programa desenvolvido. Primeiramente, será visto, sequencialmente, cada janela do programa explicando suas funcionalidades. Logo após, serão explicadas algumas configurações do programa, sendo que a última proposta do capítulo 6 será a apresentação e comentários sobre o teste do programa. Para finalizar o trabalho, o capítulo 7 apresentará as considerações finais, proporcionando o fechamento do trabalho em busca do objetivo do programa.

2 DIRETRIZES DA PESQUISA

Este capítulo tem a finalidade de situar o leitor dentro do escopo deste trabalho. Para tanto, serão apresentados a questão de pesquisa, os objetivos do trabalho, os pressupostos, as delimitações, as limitações e o delineamento.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa deste trabalho é: qual seria um procedimento computacional adequado para automatizar o dimensionamento e detalhamento de escadas de concreto armado?

2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

Os objetivos do trabalho estão classificados em principal e secundário e são apresentados nos próximos itens.

2.2.1 Objetivo principal

O objetivo principal desse trabalho é o desenvolvimento de uma ferramenta computacional em *Visual Basic* que auxilie o engenheiro durante o projeto de escadas de concreto armado.

2.2.2 Objetivo secundário

O objetivo secundário deste trabalho é o levantamento do processo de concepção, dimensionamento e detalhamento de escadas de concreto armado.

2.3 PRESSUPOSTO

É pressuposto do trabalho a validade das recomendações que constam na:

- a) NBR 6118:2007 – Projeto de Estruturas de Concreto;
- b) NBR 6120:1980 – Cargas para o Cálculo de Estruturas de Edificações;
- c) NBR 7480:2007 – Aço Destinado a Armaduras para Estruturas de Concreto Armado;
- d) NBR 9077:1993 – Saídas de Emergências em Edifícios;
- e) NBR 9050:2004 – Acessibilidade a Edificações, Mobiliário, Espaços e Equipamentos Urbanos;
- f) Lei Complementar n. 284, de 27 de outubro de 1992, que institui o Código de Edificações de Porto Alegre.

2.4 DELIMITAÇÕES

O presente trabalho delimita-se a desenvolver um programa orientado ao dimensionamento e detalhamento de escadas de concreto armado.

2.5 LIMITAÇÕES

Como limitações dessa pesquisa considera-se que:

- a) serão tratadas escadas que possam ser analisadas exclusivamente pelos seus lances;
- b) a análise se restringe a lances cujas lajes são armadas longitudinalmente, e que;
- c) possam ser considerados simplesmente apoiados em seus extremos.

2.6 DELINEAMENTO

O trabalho foi realizado através das seguintes etapas:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) desenvolvimento das rotinas de cálculo;
- c) desenvolvimento do *software*;
- d) validação do *software*;
- e) considerações finais.

A **pesquisa bibliográfica** teve como objetivo principal coletar informações sobre o assunto que foi desenvolvido ao longo do trabalho. As principais referências do trabalho estão divididas nos seguintes tipos: normas, códigos e livros referentes ao projeto e dimensionamento de estruturas de concreto armado; e concepção e detalhamento de escadas. A etapa de **desenvolvimento das rotinas de cálculo** compreendeu o estudo e o planejamento em algoritmos programáveis dos tópicos referentes ao dimensionamento e detalhamento de lances de escadas apoiados em seus extremos e armados ao longo de sua direção longitudinal. A etapa de **desenvolvimento do software** se limitou a transcrever o estudo da etapa anterior em objetos, eventos e rotinas na linguagem *Visual Basic*. Além da implementação do algoritmo estudado, essa etapa contou com a concepção e desenvolvimento da interface do programa. Na etapa de **validação do software** foram feitos testes no programa quanto ao seu funcionamento e quanto a solução de exemplos com o intuito de verificar sua confiabilidade quanto aos resultados. Por fim, a etapa de **considerações finais** teve por objetivo fazer o fechamento do trabalho com enfoque na eficácia do programa.

A figura 2 apresenta em forma de diagrama as etapas descritas acima.



Figura 2: etapas do trabalho de diplomação

3 CONCEPÇÃO DE ESCADAS EM EDIFÍCIOS

A primeira etapa do projeto de uma escada é o seu projeto arquitetônico. Nesse projeto é contemplada a fase de concepção. A etapa de concepção da escada tem por finalidade determinar o seu tipo, sua geometria, seus elementos e sua disposição dentro da edificação. Além disso, para que a escada atenda o conjunto de necessidades exigidas pela sociedade, seu projeto arquitetônico deve estar de acordo com as normas e códigos aplicados à localidade onde será executada. Como o programa apenas dimensiona e detalha, sem considerações em relação a essa fase, esse capítulo explicita algumas especificações necessárias que o projetista não deve deixar de se preocupar quando deseja fazer um bom projeto e melhor uso do programa.

Quando se trata da concepção das escadas, são comumente usados três documentos:

- a) NBR 9077:1993, referente a saídas de emergências em edifícios;
- b) NBR 9050:2004, referente à acessibilidade em edificações;
- c) no caso de Porto Alegre, a Lei Complementar n. 284 referente ao Código de Edificações.

De modo geral, as recomendações que constam nessas normas exemplificam a preocupação que os projetistas devem ter durante a concepção das escadas visando à segurança e acessibilidade dos usuários das edificações.

3.1 ELEMENTOS DAS ESCADAS E SUA TERMINOLOGIA

As escadas são compostas por diversos elementos e há uma série de definições para esses elementos na literatura. Esse item tem como finalidade apresentar algumas definições encontradas nas referências bibliográficas.

O Código de Edificações de Porto Alegre define a **escada** como sendo um “Elemento de composição arquitetônica cuja função é propiciar a possibilidade de circulação vertical entre

dois ou mais pisos de diferentes níveis, constituindo uma sucessão de, no mínimo, três degraus.” (PORTO ALEGRE, 2006, p. 12).

De acordo com o mesmo Código (PORTO ALEGRE, 2006, p. 11) o **degrau** é “Cada um dos pisos onde se assenta o pé ao subir ou descer uma escada.”. Conforme a NBR 9077, o degrau é constituído por duas superfícies, uma horizontal chamada de **piso** e uma vertical chamada de **espelho** (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1993, p. 3).

Uma série ininterrupta de degraus chama-se **lance de escada**. A projeção horizontal de uma escada deixa no meio um espaço chamado **vão de escada** (GUERRIN, 1990, p. 332). Ainda, conforme o mesmo autor (1990, p. 332) “[...] a parte horizontal de uma escada entre dois lances chama-se **patamar** ou **patamar de descanso**. A cada andar a escada chega a um **patamar de chegada**, que é ao mesmo tempo **patamar de saída** do andar superior [...]”.

Quando as bordas livres das escadas não apresentam fechamento com paredes é usado um elemento chamado **guarda-corpo** ou **guarda** que, segundo o Código de Edificações de Porto Alegre (PORTO ALEGRE, 2006, p. 13) consiste em uma “Barreira protetora vertical, maciça ou não, [...] servindo como proteção contra eventuais quedas de um nível para outro.”.

Nas escadas, ao longo do perímetro externo e interno, há um elemento chamado **corrimão** ou **mainel**, que segundo a NBR 9077 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1993, p. 2) é definido como sendo uma “Barra, cano ou peça similar, com superfície lisa, arredondada e contínua, localizada junto às paredes ou guardas de escadas, [...] para as pessoas nela se apoiarem ao subir, descer ou se deslocar.”.

A figura 3 apresenta visualmente alguns desses elementos presentes nas escadas.

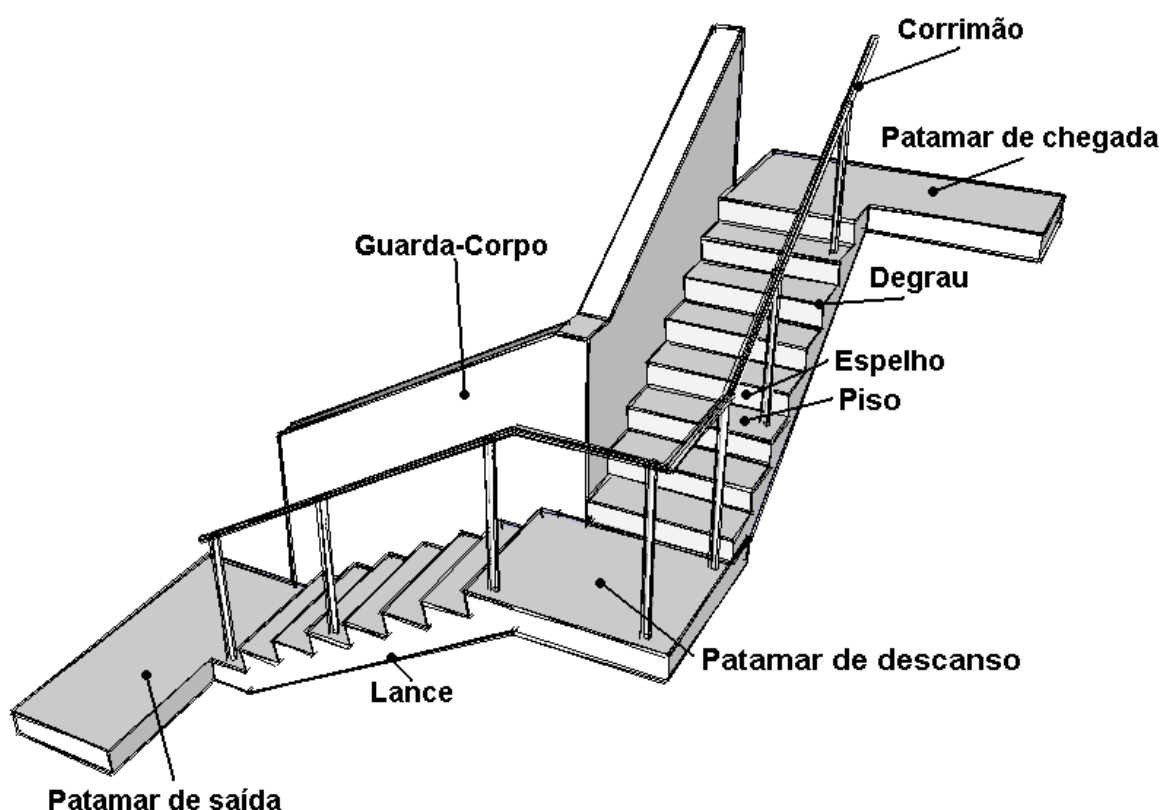


Figura 3: alguns elementos de uma escada
(elaborada pelo autor do trabalho)

3.2 ESPECIFICAÇÕES GERAIS RELATIVAS ÀS ESCADAS

Na literatura, encontram-se algumas especificações de caráter geral sobre as escadas, ou seja, que servem para qualquer tipo de escada. Aqui serão apresentadas algumas especificações de normas e códigos que estão relacionadas com a segurança:

- a) as escadas devem ser constituídas de materiais resistentes ao fogo quando servirem a mais de dois pavimentos (PORTO ALEGRE, 2006, p. 34);
- b) as escadas devem ter revestimento antiderrapante nos pisos dos degraus (PORTO ALEGRE, 2006, p. 34);
- c) de acordo com a NBR 9077, as escadas não enclausuradas, sem portas corta-fogo, devem possuir elementos estruturais que resistam ao fogo, no mínimo, por 2 horas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1993, p. 34);

- d) as escadas, que servem de saídas de emergência, localizadas em cinemas, teatros, auditórios, hospitais e escolas não devem se desenvolver em leque (PORTO ALEGRE, 2006, p. 34);
- e) as escadas em escolas deverão distar no máximo 30,00 m das salas de aula e em hospitais deverão localizar-se de modo que nenhum enfermo necessite percorrer mais de 40,00 m para alcançá-las (PORTO ALEGRE, 2006, p. 34);
- f) o Código de Edificações de Porto Alegre (PORTO ALEGRE, 2006, p. 36) afirma que “A existência de elevador em uma edificação não dispensa a construção de escada.”.

3.3 ESPECIFICAÇÕES RELATIVAS À LARGURA DAS ESCADAS

Tanto a NBR 9077 quanto o Código de Edificações de Porto Alegre, determinam a largura de uma escada usando três elementos, mas essa Norma indica (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1993, p. 4):

- a) **unidade de passagem:** largura mínima no valor de 55 cm necessária para a passagem de uma fila de pessoas;
- b) **capacidade da unidade de passagem:** número de pessoas que passam pela unidade de passagem em 1 minuto;
- c) **população:** número de pessoas para as quais uma edificação, ou parte dela, é projetada.

Com base na população e na capacidade da unidade de passagem, a fórmula 1 permite determinar a largura necessária a ser adotada na escada em múltiplos da unidade de passagem (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1993, p. 5):

$$N = P/C \quad \text{(fórmula 1)}$$

Onde:

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

P = população do pavimento de maior lotação;

C = capacidade da unidade de passagem.

Tanto a população do pavimento de maior lotação, quanto a capacidade da unidade de passagem são dados pelo quadro 1 (quando se usa a verificação pelo Código de Edificações de Porto Alegre) ou pelo quadro 2 (quando se usa a verificação pela NBR 9077:1993).

Após calcular o valor de **N** com a fórmula 1, é necessário fazer uma verificação quanto a mínima largura admissível que pode ser adotada. O Código de Edificações de Porto Alegre (PORTO ALEGRE, 2006, p. 34) determina um valor mínimo de 1,10 m (ou seja, duas unidades de passagem). Porém, é conveniente utilizar um valor mais exigente, que corresponde ao apresentado pela NBR 9050, de uma largura mínima admissível de 1,20 m (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004, p. 45). Além disso, em alguns tipos de edificações, como hospitais ou clínicas de internação, usa-se um limite ainda maior, de 2,20 m, e, em galerias e centros comerciais, usa-se uma largura mínima de 1,65 m (PORTO ALEGRE, 2006, p. 34).

A rigor, o projetista deve calcular o valor de **N** através dos quadros 1 e 2, comparar os dois valores com o valor mínimo e escolher o maior.

PADRÕES PARA DIMENSIONAMENTO DE CIRCULAÇÕES CÁLCULO DA POPULAÇÃO/CAPACIDADE DA UNIDADE DE PASSAGEM					
OCUPAÇÃO/USO			POPULAÇÃO	CAPACIDADE	
				escadas	
A	Residencial		2 pessoas/dormitório	45	
B	Serviços de hospedagem		1,5 pessoas/leito	45	
C	Comercial Varejista	C-1	1 pessoa/3m² de área bruta, para térreo e subsolo, 1 pessoa/5m² de área bruta, para pavimentos superiores	60	
		C-2			
		C-3			
		C-4	1 pessoa/m² de área bruta	75	
D	Serviços profissionais, pessoais e técnicos		1 pessoa/9m² de área bruta	60	
E	Serviços de educação e cultura física		1 aluno/m² de sala de aula	60	
F	Locais de reunião do público	F-1	1 pessoa/m² de área bruta	75	
		F-2			
		F-4			
		F-5			
		F-6			
		F-3 F-7			2 pessoas/m² de área bruta para assistentes
		G	Serviços automotivos	G-2	1 pessoa/40 vagas
G-3					
G-4	1 pessoa/20m² de área bruta				
G-5					
H	Serviços de saúde e institucionais	H-1	1 pessoa/9m² de área bruta	60	
		H-4	1 pessoa/9m² de área bruta em setores administrativos 1 pessoa/3m² de área de alojamentos		
		H-2 H-3 H-5	1,5 pessoa/leito	22	
		I	Industrial , comercial de alto risco, atacadista e depósitos		1 pessoa/10m² de área bruta
J	Depósitos de baixo risco		1 pessoa/30m² de área bruta	60	

Quadro 1: cálculo da população e capacidade da unidade de passagem de acordo com o Código de Edificações de Porto Alegre (PORTO ALEGRE, 2006, p. 75-76)

GRUPO	DIVISÃO	EXEMPLOS	P	C
Residencial	Habitações unifamiliares e multifamiliares	Casas e edifícios de apartamentos em geral	Duas pessoas por dormitório (c)	45
	Habitações coletivas	Pensionatos, internatos, mosteiros, conventos, residenciais geriátricos	Duas pessoas por dormitório e uma pessoa por 4 m² de área de alojamento (d)	
Serviços de hospedagem	Hotéis, hotéis residenciais	Hotéis, motéis, pensões, hospedarias, albergues, casas de cômodos	Uma pessoa por 15,00 m² de área (e) e (g)	
Comercial Varejista	Comércio de pequeno, médio e grande portes. Centros comerciais	Lojas de departamentos, galerias comerciais, supermercados, shopping centers	Uma pessoa por 3,00 m² de área (e) e (j)	60
Serviços profissionais, pessoais e técnicos	Locais de prestação de serviço, agências bancárias, serviços de reparação	Escritórios administrativos, técnicos, consultórios, bancos, lavanderias, reparação e manutenção	Uma pessoa por 7,00 m² de área	
Educativa e cultural física	Escolas em geral, escolas especiais, espaço para cultura física, centros de treinamento profissionais	Escolas de ensino, cursos, escolas de arte, escolas de cultura, esportes e escolas profissionais	Uma pessoa por 1,50 m² de área (f)	22
	Pré-escolas, e escolas para portadores de deficiência	Creches, escolas maternais, jardins, escola para excepcionais, deficientes visuais e auditivos e outros	Uma pessoa por 1,50 m² de área (f)	
Locais de reunião de público	Locais onde há objetos de valores inestimáveis	Museu, galeria de arte, arquivos, bibliotecas e assemelhados	Uma pessoa por 3,00 m² de área	75
	Templos, auditórios, apresentação de artes cênicas, locais para refeições	Igrejas, templos, auditórios, teatros, cinemas, estúdios, restaurantes, lanchonetes, bares, refeitórios, cantinas	Uma pessoa por m² de área (e) e (g)	
	Centros esportivos, clubes sociais, construções provisórias	Estádios, ginásios, arenas, boates, clubes noturnos, salão de baile, clubes sociais e circos	Duas pessoas por m² de área (g)	
	Estação e terminais de passageiros	Estações rodoviárias, aeroportos, estação de transbordo e outros	Necessidade de consultar outras normas	
Serviços automotivos	Garagens sem/com acesso ao público e com/sem abastecimento	Garagens automáticas, garagens coletivas, postos de abastecimento	Uma pessoa por 40 vagas de veículo	60
	Serviços de conservação, manutenção e reparos. Manutenção de veículos de grande porte	Postos de serviços sem abastecimento, oficinas de conserto de veículos, oficinas e garagens de veículos de carga e coletivos	Uma pessoa por 20 m² de área (e)	
Serviços de saúde e institucionais	Hospitais veterinários e assemelhados	Hospitais, clínicas e consultórios veterinários	Uma pessoa por 7 m² de área (e)	45
	Locais onde pessoas requerem cuidados especiais por limitações físicas ou mentais	Asilos, orfanatos, abrigos geriátricos, reformatórios sem celas e outros	Duas pessoas por dormitório (c) e uma pessoa por 4 m² de área de alojamento (e)	22
	Hospitais e assemelhados	Hospitais, casas de saúde, pronto-socorros, clínicas com internação, postos	Uma pessoa e meia por leito + uma pessoa por 7,00 m² de área de ambulatório (h)	
	Prédios e instalações vinculados às forças armadas, polícias civil e militar e locais onde a liberdade das pessoas sofre restrição	Quartéis, centrais de polícia, delegacias distritais, postos policiais, hospitais psiquiátricos, reformatórios, prisões em geral	Necessidade de consultar outras normas	45
Industrial, comercial de alto risco, atacadista e depósitos	Atividades que manipulam materiais com risco de incêndio	Fábricas, marcenarias, subestações, estúdios de TV, impressoras, fábrica de doces, fábricas com materiais explosivos	Uma pessoa por 10,00 m² de área	60
Depósitos de baixo risco	Depósitos sem risco de incêndio expressivo	Edificações que armazenam, exclusivamente, tijolos, pedras, areias, cimentos, metais e outros materiais incombustíveis	Uma pessoa por 30,00 m² de área (j)	

Quadro 2: cálculo da população e capacidade da unidade de passagem de acordo com a NBR 9077 (adaptado da ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1993, p. 25-30)

3.4 ESPECIFICAÇÕES RELATIVAS AOS DEGRAUS

Quanto ao dimensionamento da geometria dos degraus, todas as normas referentes a escadas apresentam a relação de Blondel – fórmula 2 – que relaciona a largura do piso do degrau com a altura do seu espelho:

$$63 \text{ cm} < (2e + a) < 64 \text{ cm} \quad (\text{fórmula 2})$$

Onde:

a = largura do piso do degrau (cm);

e = altura do espelho do degrau (cm).

Na figura 4 apresentam-se o piso e o espelho do degrau.

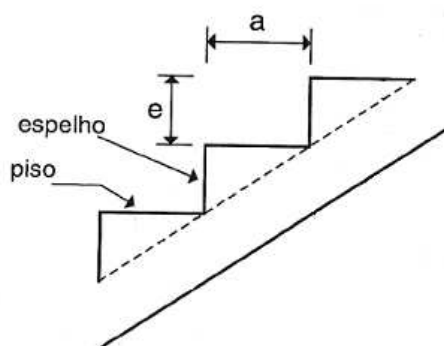


Figura 4: piso e espelho de um degrau
(adaptada de ARAÚJO, 2003a, p. 57)

Como limitantes impostos pelas normas e recomendações da literatura, os degraus devem possuir espelho de dimensão e compreendido entre 16 e 18 cm (PORTO ALEGRE, 2006, p. 35) e, segundo a NBR 9050, a largura do piso a deve ficar compreendida entre 28 e 32 cm (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004, p. 45). Além disso, a NBR 9077 recomenda que as dimensões do espelho e do piso sejam constantes ao longo de todo o lance, sendo tolerado apenas 5 mm de diferença total em lances sucessivos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1993, p. 9).

Ainda, há outras verificações referentes aos degraus que devem ser respeitadas durante a etapa de concepção. Uma delas é referida na NBR 9077 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1993, p. 9) que estabelece o lance mínimo de 3 degraus e o comprimento máximo do lance entre dois patamares consecutivos de 3,70 m. A outra verificação constante, tanto na NBR 9077, quanto na NBR 9050, é referente ao uso do **bocel** (um prolongamento do revestimento do piso do degrau); ou ainda, na ausência deste, a inclinação do espelho do degrau. Conforme a figura 5, tanto o bocel quanto a projeção da inclinação do espelho devem avançar, no mínimo, 1,5 cm sobre o piso do degrau (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004, p. 44).

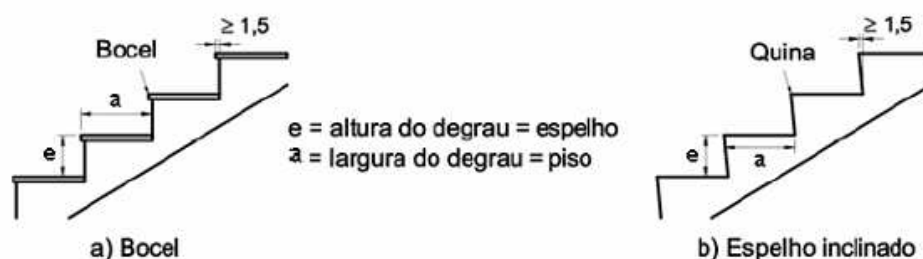


Figura 5: bocel e espelho inclinado (adaptada de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004, p. 44)

3.5 ESPECIFICAÇÕES RELATIVAS AOS PATAMARES

Segundo o Código de Obras de Porto Alegre e a NBR 9077, o comprimento do patamar l_{patamar} pode ser dado pela fórmula 3, sendo que, quando a escada apresenta mudança de direção, o seu valor mínimo será o da largura do vão da escada (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1993, p. 9):

$$l_{\text{patamar}} = (2 \cdot e + a) \cdot n_{\text{INT}} + a \quad (\text{fórmula 3})$$

Onde:

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

a = largura do piso do degrau (cm);

e = largura do espelho do degrau (cm);

n_{INT} = um número inteiro (1, 2 ou 3).

Do mesmo modo que para a largura das escadas, a NBR 9050 fixa a dimensão mínima do patamar em 1,20 m, sendo que a escada deve ter no mínimo um patamar a cada 3,20 m de desnível ou para cada mudança de direção (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004, p. 45).

3.6 ESPECIFICAÇÕES RELATIVAS AOS CORRIMÃOS E AOS GUARDA-CORPOS

De acordo com o Código de Edificações de Porto Alegre (PORTO ALEGRE, 2006, p. 34), ao longo do perímetro externo e interno, as escadas devem ser dotadas de corrimãos situados entre 80 e 92 cm acima do nível da superfície superior do degrau, afastado de 4 a 5 cm das paredes ou guarda-corpos, devendo prolongar-se, no mínimo 30 cm sobre o patamar de chegada e de saída.

Segundo a NBR 9050 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004, p. 46) os corrimãos devem apresentar uma largura de 3,0 cm a 4,5 cm, sem arestas vivas, boa empunhadura, bom deslizamento e, preferencialmente, sendo de seção circular. A figura 6 ilustra essas recomendações.

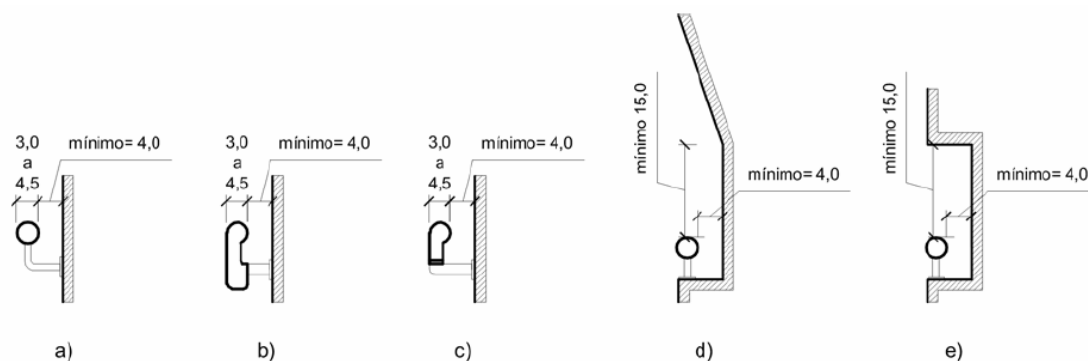


Figura 6: especificações geométricas do corrimão
(ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004, p. 15)

Ainda segundo a NBR 9050 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004, p. 47) os corrimãos laterais devem ser contínuos e sem interrupções conforme mostra a figura 7.

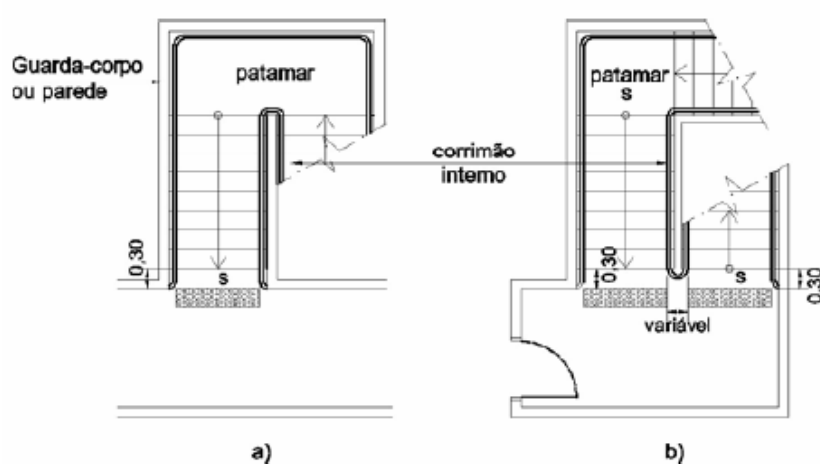


Figura 7: corrimão ao longo da escada
(ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004, p. 47)

Quando o desnível a vencer for superior a 1,20 m, as escadas devem ser dotadas de guarda-corpos com altura mínima de 92 cm ou, quando em patamares, guarda-corpos com altura mínima de 1,05 m (PORTO ALEGRE, 2006, p. 34).

4 DIMENSIONAMENTO DE LANCES DE ESCADA EM CONCRETO ARMADO

A fase de dimensionamento está estritamente ligada ao projeto estrutural. O projeto estrutural das escadas pode ser feito das mais variadas formas, dependendo dos aspectos arquitetônicos e da criatividade dos projetistas, o que, imediatamente, limita a generalização dos programas que abordam o dimensionamento dessas estruturas. Dependendo da forma e das condições de apoio das escadas pode-se ter diversos sistemas estruturais como, escadas em balanço, armadas em cruz e helicoidais. Contudo, o programa proposto por esse trabalho abordará apenas aquelas escadas que possam ser modeladas como se fossem lajes armadas principalmente em apenas uma direção.

De acordo com Araújo (2003b, p. 7):

As lajes armadas em uma direção são aquelas em que a relação entre os vãos é superior a 2. Nesses casos, o momento fletor na direção do vão maior é pequeno e não necessita ser calculado, bastando adotar uma armadura de distribuição segundo esta direção.

Observa-se que, mesmo neste caso, a laje será armada nas duas direções. A diferença é que uma das armaduras é calculada e a outra (na direção do vão maior) é arbitrada. Assim, a rigor, o que se tem é uma laje calculada em uma direção.

Ainda, independente da relação geométrica entre os vãos, há condições de vinculação especiais que fazem com que a laje seja armada em apenas uma direção devido ao comportamento estrutural que condicionam. Desse modo, serão sempre armadas em uma única direção lajes que tenham (CAMPOS FILHO, 2008a, p. 2):

- a) duas bordas apoiadas (ou engastadas) e as outras duas livres;
- b) três bordas livres e uma engastada.

As escadas que podem ser decompostas por lances, os quais podem ser considerados armados em uma direção, apresentam, na sua grande maioria, duas bordas apoiadas. Nesses tipos de

escada tem-se, para determinar as solicitações em seus lances, como ilustrado na figura 9, o modelo matemático de uma barra bi-apoiada cujo vão é a projeção horizontal do lance.

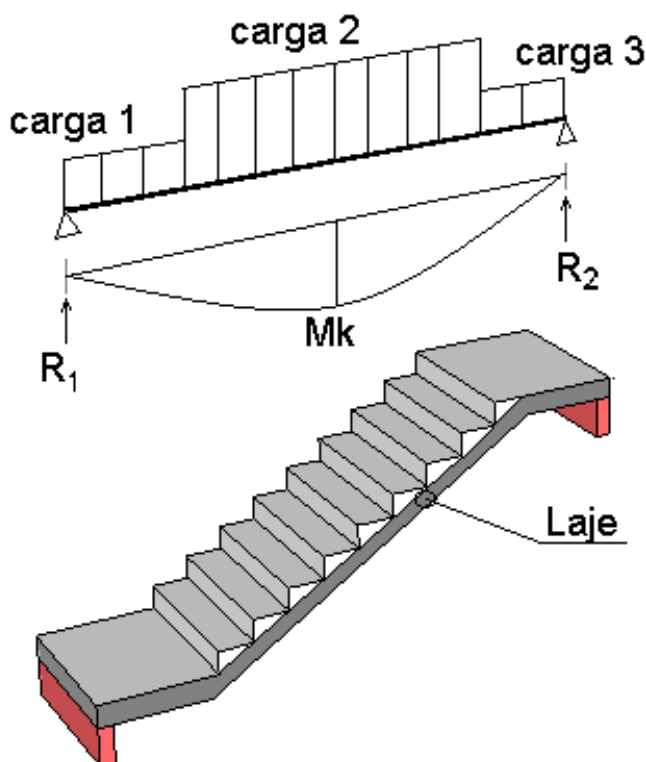


Figura 8: modelo de barra bi-apoiada de um lance de escada armado longitudinalmente (elaborada pelo autor do trabalho)

Após montar e resolver o modelo de barra bi-apoiada, o dimensionamento consiste em determinar a espessura da laje e a quantidade de aço necessária na seção para formar o mecanismo resistente ao esforço atuante. Para efeitos deste trabalho, o dimensionamento será dividido em cinco grandes etapas:

- a) composição de cargas;
- b) análise do modelo estrutural;
- c) dimensionamento das armaduras;
- d) escolha do diâmetro das armaduras;
- e) verificações.

4.1 COMPOSIÇÃO DE CARGAS ATUANTES NAS ESCADAS

A NBR 6118 indica que, durante a análise estrutural, deve ser considerada a influência de todas as ações que possam produzir efeitos significativos para a segurança da estrutura em exame (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007a, p. 51). Para tanto, essa mesma Norma classifica as ações em três categorias (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007a, p.52-57):

- a) **permanentes**: aquelas que apresentam valores praticamente constantes durante toda a vida da construção ou, crescem no tempo tendendo a um valor limite constante;
- b) **variáveis**: as quais classificam-se em ações variáveis diretas (cargas acidentais devido ao uso da construção, ação do vento, ação da água e ações variáveis durante a construção) e ações variáveis indiretas (variações de temperatura e ações dinâmicas);
- c) **excepcionais**: ações cujos efeitos não possam ser controlados.

De acordo com essas definições, as escadas apresentam as seguintes ações:

- a) **permanentes**: peso próprio da laje, dos degraus, do peitoril (parede, corrimão ou guarda), do revestimento e/ou reboco e, eventualmente, de outros lances de escadas;
- b) **variável direta devido ao uso da construção**: carga acidental especificada pela NBR 6120.

Como se considera apenas uma única ação variável, sendo esta a principal, pode-se simplificar a composição de cargas atuante no lance (ou no trecho do lance) usando-se a fórmula 4.

$$p = g + q \quad (\text{fórmula 4})$$

Onde:

p = soma de todas as cargas atuantes na laje do lance da escada (kN/m²);

g = soma das cargas permanentes aplicadas sobre o lance da escada (kN/m²);

q = carga acidental aplicada sobre o lance da escada (kN/m^2).

4.1.1 Peso próprio da laje

A laje de concreto que forma o lance da escada possui um peso que deve ser considerado na composição de cargas. Conforme se apresenta no corte longitudinal da figura 9, um lance pode ser composto por trechos inclinados (onde se encontram os degraus) e trechos não inclinados, que são os patamares.

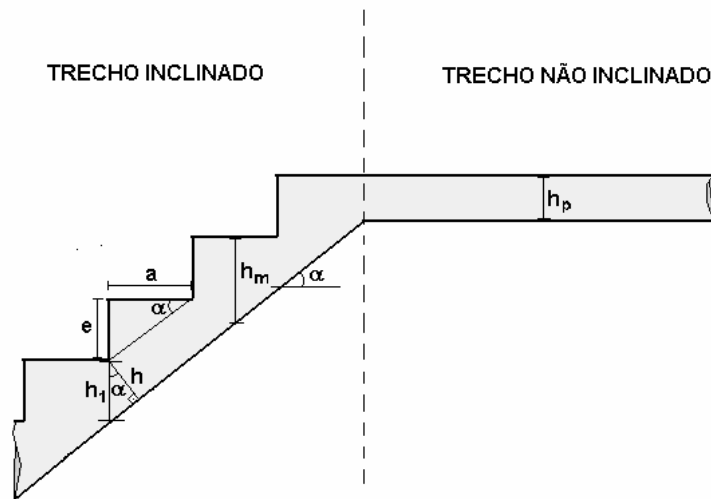


Figura 9: corte longitudinal de um trecho de escada
(adaptado de ARAÚJO, 2003a, p. 58)

Considerando-se a apresentação da figura 9, as fórmulas 5, 6 e 7 fornecem o peso próprio do lance em termos de m^2 de projeção horizontal (ARAÚJO, 2003a, p. 57-58):

$$\cos(\alpha) = \frac{a}{\sqrt{a^2 + e^2}} \quad (\text{fórmula 5})$$

$$g_{\text{patamar}} = \gamma_{CA} \cdot h_p \quad (\text{fórmula 6})$$

$$g_{\text{lanceinclinado}} = \gamma_{CA} \cdot \frac{h}{\cos(\alpha)} + \gamma_{CS} \cdot \frac{e}{2} \quad (\text{fórmula 7})$$

Onde:

α = ângulo de inclinação do trecho inclinado do lance;

a = largura do piso do degrau (m);

e = altura do espelho do degrau em metros (m);

g_{patamar} = carga permanente devido ao peso próprio do patamar (kN/m²);

$g_{\text{lanceinclinado}}$ = carga permanente devido ao peso próprio do lance inclinado (kN/m²);

γ_{ca} = peso específico do concreto armado (kN/m³);

h_p = espessura do patamar (m);

h = espessura da laje do lance inclinado (m);

γ_{cs} = peso específico do concreto simples ou do enchimento do degrau (kN/m³).

Assim, pode-se notar que o cálculo do peso próprio já exige *a priori* a definição das espessuras da laje do lance h e h_p . Isso indica o caráter iterativo da solução na medida em que, para cada espessura diferente, é necessário re-fazer a composição de cargas.

4.1.2 Peso do revestimento e reboco

O peso do revestimento/reboco, por metro quadrado de projeção horizontal da escada, depende basicamente dos materiais empregados. Através das especificações do projeto arquitetônico, pode-se calcular o peso do revestimento/reboco em função do peso específico dos materiais, conforme o quadro 3. Multiplicando-se o peso específico do material pela espessura do revestimento/reboco tem-se o peso superficialmente distribuído usado na combinação de cargas.

Materiais		Peso específico aparente (kN/m³)
1 Rochas	Arenito	26
	Basalto	30
	Gneiss	30
	Granito	28
	Mármore e calcário	28
2 Blocos artificiais	Blocos de argamassa	22
	Cimento amianto	20
	Lajotas cerâmicas	18
	Tijolos furados	13
	Tijolos maciços	18
	Tijolos sílico-calcários	20
3 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
4 Madeiras	Pinho, cedro	5
	Louro, imbuia, pau óleo	6,5
	Guajuvirá, guatambu, grápia	8
	Angico, cabriuva, ipê róseo	10
5 Metais	Aço	78,5
	Alumínio e ligas	28
	Bronze	85
	Chumbo	114
	Cobre	89
	Ferro fundido	72,5
	Estanho	74
	Latão	85
	Zinco	72
6 Materiais diversos	Alcatrão	12
	Asfalto	13
	Borracha	17
	Papel	15
	Plástico em folhas	21
	Vidro plano	26

Quadro 3: peso específico de materiais
(ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1980, p. 2)

Na falta de especificação do tipo de revestimento, pode-se adotar um valor estimado. Rocha (1969, p. 676) recomenda um valor entre 0,5 kN/m² e 1 kN/m², sendo que este último valor é o mesmo recomendado por Araújo (2003a, p. 59).

4.1.3 Parapeitos e paredes

Quando o parapeito/parede se encontra sobre um bordo livre de um lance armado longitudinalmente, seu peso é distribuído ao longo da laje conforme a fórmula 8 (ARAÚJO,

2003a, p. 59-60). Porém a largura de distribuição deve ficar limitada em 1,5 m (CAMPOS FILHO, 2008b, p. 2):

$$g_{\text{parapeito}} = \frac{\gamma_{\text{alv}} \cdot H_{\text{parapeito}} \cdot t}{l_{\text{lance}}} \quad (\text{fórmula 8})$$

Onde:

$g_{\text{parapeito}}$ = carga permanente do parapeito ou parede (kN/m²);

γ_{alv} = peso específico da alvenaria (kN/m³);

$H_{\text{parapeito}}$ = altura do parapeito ou da parede (m);

t = espessura do parapeito ou da parede (m);

l_{lance} = largura do lance da escada onde a carga se distribui, porém não maior do que 1,5 m.

Em geral, os parapeitos e as paredes são constituídos de tijolos cerâmicos, e, portanto, para a consideração do peso específico da alvenaria, pode-se admitir os valores apresentados no quadro 3.

4.1.4 Carga acidental

Segundo a NBR 6120, a carga acidental a ser distribuída nas escadas com acesso ao público deverá ser de 3 kN/m² e para as escadas sem acesso ao público deverá ser de 2,5 kN/m² (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1980, p. 3).

4.2 ANÁLISE DO MODELO ESTRUTURAL

Ao criar o modelo matemático do lance da escada, para implementação no programa, deve-se tomar alguns cuidados. O vão a ser considerado deverá levar em conta a presença ou ausência dos patamares superior e inferior, bem como a posição dos apoios. Outra preocupação refere-

se a disposição dos lances na escada. Os lances podem estar dispostos entre si paralelamente ou perpendicularmente. No segundo caso é conveniente introduzir uma definição que diferencia lances principais de lances secundários. Os **lances principais** são aqueles lances cujos dois apoios de suas extremidades são externos à escada (por exemplo, apoio sobre viga ou parede) e os **lances secundários** são aqueles que apresentam pelo menos um apoio sobre outro lance (CAMPOS FILHO, 2008b, p. 7). A figura 10 apresenta quatro exemplos de possíveis disposições de lances.

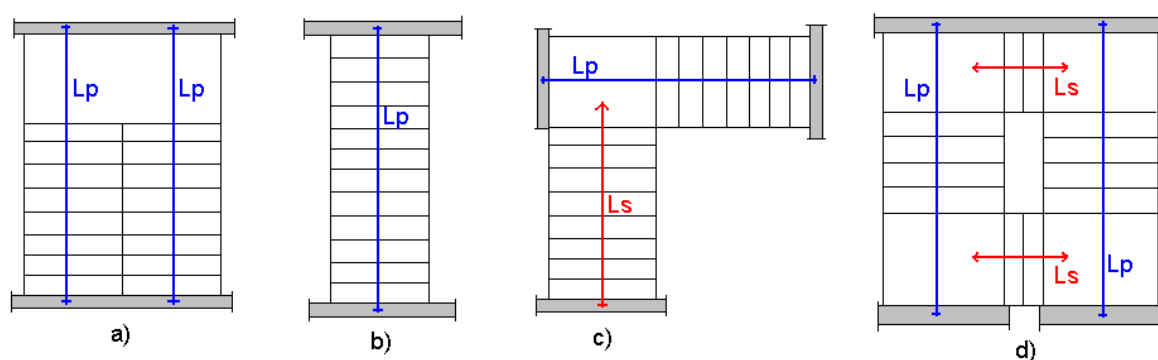


Figura 10: exemplos de lances principais e lances secundários
(elaborada pelo autor do trabalho)

Na disposição perpendicular, deve-se definir a localização do ponto de apoio do lance secundário sobre o lance principal. Rocha (1969, p. 704), indica-o no terço médio da largura do patamar do lance principal visto que a reação do lance secundário não se distribui uniformemente ao longo da largura do patamar e sim, segundo uma lei aproximadamente triangular. Já Araújo (2003a, p. 81), indica-o no meio da largura do patamar do lance principal acarretando, para o lance secundário, um vão maior do que o recomendado por Rocha (1969) e, sendo assim, mais conservador em favor da segurança. Mesmo com essa divergência, ambos os autores concordam em distribuir a reação do lance secundário uniformemente sobre a largura do patamar do lance primário. A figura 11 ilustra essa discussão, sendo L_{c1} o comprimento a ser acrescentado ao vão do lance secundário.

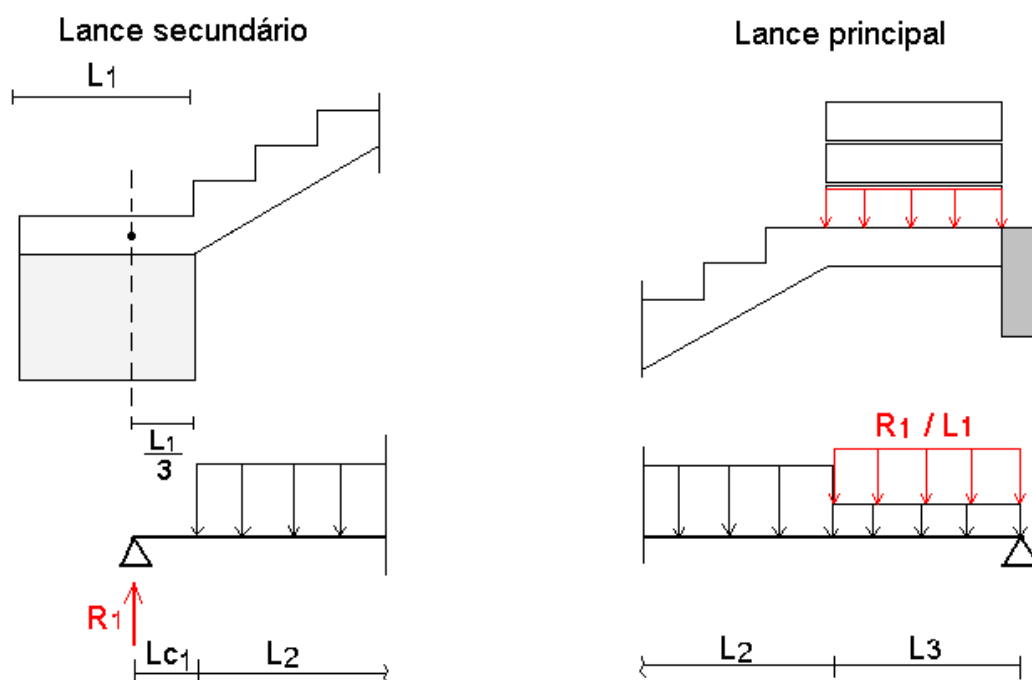


Figura 11: apoio sobre lance principal
(elaborada pelo autor do trabalho)

4.3 DIMENSIONAMENTO DA ARMADURA PRINCIPAL

De acordo com a NBR 6118 “O dimensionamento das armaduras longitudinais deve conduzir a um conjunto de esforços resistentes (N_{rd} , M_{rd}) que constituam envoltória dos esforços solicitantes (N_{sd} , M_{sd}) determinados na análise estrutural.” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007a, p. 107).

O trecho inclinado do lance tem tanto solicitações de flexo-compressão quanto de flexo-tração, conforme ilustra a figura 12. Contudo, segundo Araújo (2003a, p. 63) e Guerrin (1990, p. 340), devido ao fato dos esforços normais serem de uma magnitude pequena, pode-se dimensionar a armadura levando em conta apenas a flexão simples.

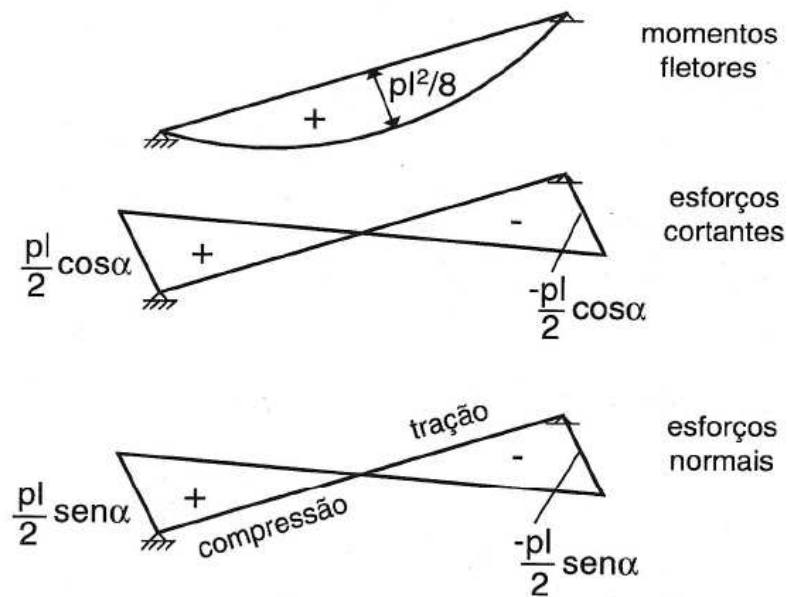


Figura 12: diagramas de esforços solicitantes em um trecho inclinado (ARAÚJO, 2003a, p. 63)

Na flexão simples, o dimensionamento da laje do lance consiste em determinar a altura da laje e a área de aço por metro de seção transversal para resistir ao único esforço fletor de cálculo **M_d** (sendo este o valor característico multiplicado por 1,4). Na figura 13, tem-se ilustrado a seção usada para o dimensionamento.

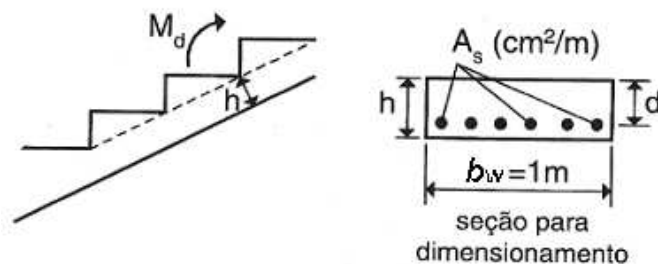


Figura 13: seção retangular equivalente para o dimensionamento de um lance armado longitudinalmente (adaptado de ARAÚJO, 2003a, p. 67)

De modo geral, para o dimensionamento de seções submetidas a solicitações normais, a NBR 6118 permite a consideração de diversas hipóteses, sendo entre elas as seguintes (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007a, p. 107-108):

- a) as seções transversais se mantêm planas após a deformação;

- b) a deformação das barras em tração ou compressão deve ser o mesmo do concreto em torno;
- c) as tensões de tração, normais à seção transversal, podem ser desprezadas obrigatoriamente no ELU – Estado Limite Último –;
- d) a distribuição de tensões no concreto se faz de acordo com o diagrama parábola-retângulo com tensão de pico igual a $0,85 f_{cd}$, conforme a figura 14, sendo que este diagrama pode ser substituído por um retângulo de área equivalente cuja altura seja de $0,8 \cdot x$ (onde x é a profundidade da linha neutra);
- e) a tensão nas armaduras deve ser obtida a partir do diagrama tensão-deformação do aço, apresentado na figura 14.

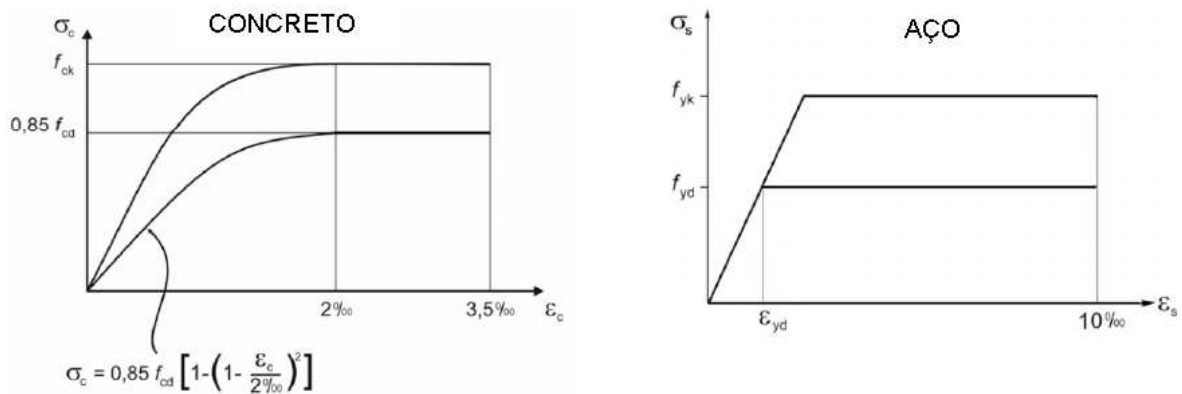


Figura 14: diagrama tensão-deformação do concreto e do aço (adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007a, p. 24-27)

A NBR 6118 requer também que os valores das resistências características sejam minorados pelos coeficientes de ponderação usados no ELU para combinações normais com as fórmulas 9 e 10 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007a, p. 63-64):

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \quad (\text{fórmula 9})$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \quad (\text{fórmula 10})$$

Onde:

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

γ_c = coeficiente de minoração da resistência do concreto, sendo seu valor igual a 1,4;

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

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

γ_s = coeficiente de minoração da resistência do aço, sendo seu valor igual a 1,15;

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

Além disso, essa Norma caracteriza o ELU quando a deformada da seção transversal pertencer a um dos domínios definidos pela figura 15.

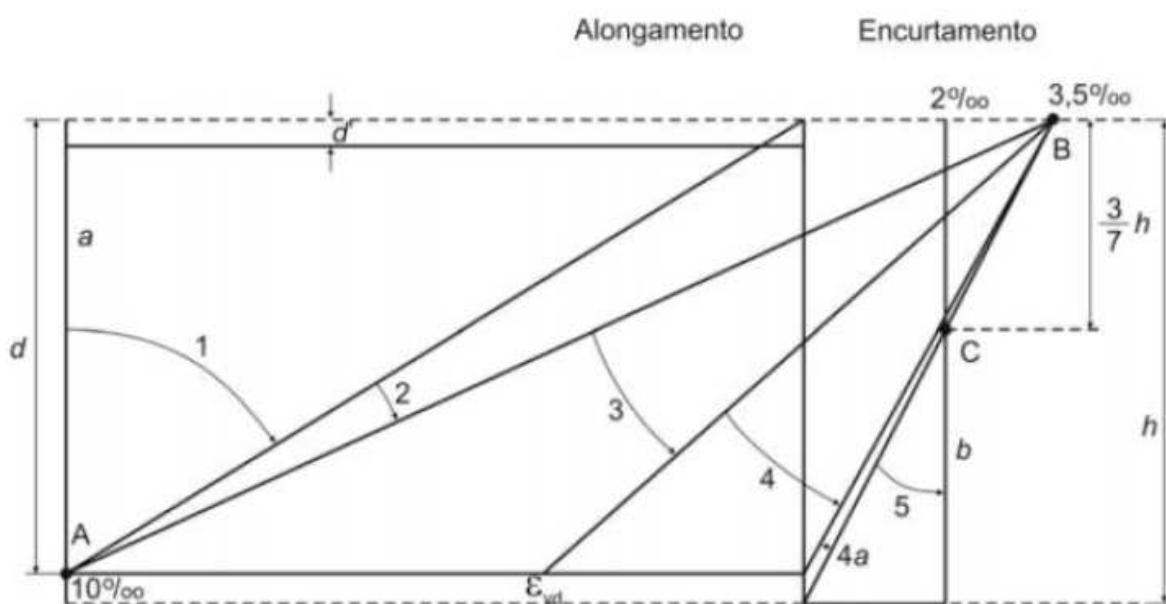


Figura 15: domínios de estado limite último de uma seção transversal
(ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007a, p. 108)

Considerando as hipóteses básicas apresentadas nos parágrafos acima, tem-se o encaminhamento da solução do dimensionamento no ELU fazendo-se o equilíbrio de esforços resistentes e solicitantes da seção de concreto com armadura simples, conforme ilustrado na figura 16.

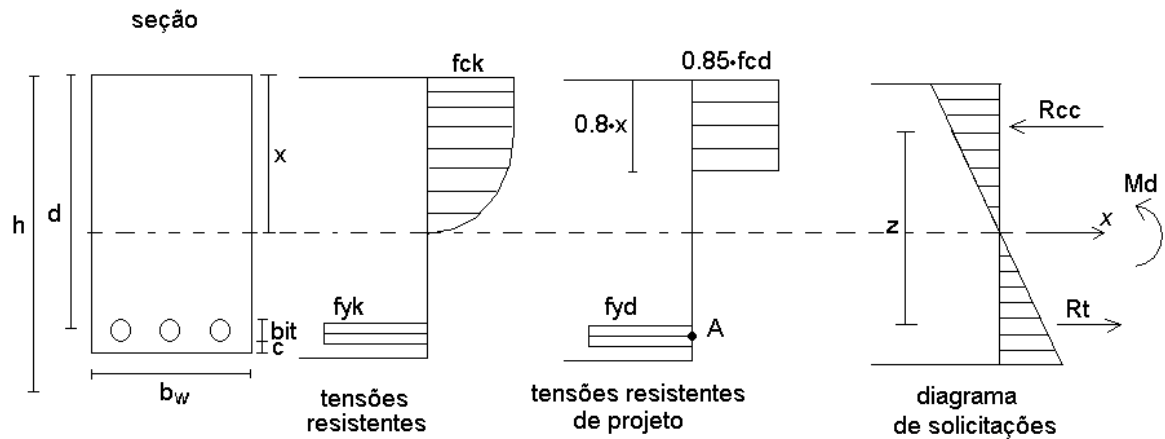


Figura 16: diagramas de esforços resistentes e esforços solicitantes em uma seção de concreto armado (adaptado de CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2009, p. 116)

Tomando-se o equilíbrio de forças na direção x e o equilíbrio de momentos no ponto **A**, tem-se o sistema de equações apresentado pela fórmula 11 a resolver (adaptado de CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2009, p. 117).

$$\begin{cases} 0,85 \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot 0,8 \cdot x \cdot \left(d - \frac{0,8 \cdot x}{2} \right) = M_d \\ -0,85 \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot 0,8 \cdot x + A_s \cdot f_{yd} = 0 \end{cases} \quad (\text{fórmula 11})$$

Onde:

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

b_w = largura da seção de concreto, no caso de lajes é usado o valor de 1 m;

x = posição da linha neutra em relação à fibra mais comprimida (cm);

d = altura útil da seção (cm);

M_d = momento atuante de cálculo por unidade de comprimento (kNm/m);

A_s = área de aço por unidade de comprimento (cm²/m);

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

Resolvendo-se o sistema de equações da fórmula 11, têm-se como soluções para a posição da linha neutra e para a área de aço as expressões das fórmulas 12 e 13, respectivamente (CAMPOS FILHO, 2008a, p. 12).

$$x = 1,25 \cdot d \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \frac{M_d}{0,425 \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d^2}} \right] \quad (\text{fórmula 12})$$

$$A_s = \frac{0,68 \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot x}{f_{yd}} \quad (\text{fórmula 13})$$

Para não se ter uma seção superarmada, cuja ruptura é frágil, limita-se a posição da linha neutra a um determinado valor. Através de relação de triângulos no diagrama de domínios de deformação, apresentado pela figura 15, tem-se, no limiar entre o domínio 3 e o domínio 4, a posição limite para a linha neutra apresentada pela fórmula 14:

$$x_{\text{lim}} = \frac{3,5/1000}{\varepsilon_{yd} + 3,5/1000} \cdot d \quad (\text{fórmula 14})$$

Onde:

x_{lim} = posição da linha neutra na fronteira entre o domínio 3 e o domínio 4 (cm);

ε_{yd} = deformação específica de cálculo do aço. Na falta de ensaios ou valores fornecidos pelo fabricante, pode-se admitir um módulo de elasticidade de 210 GPa (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007a, p. 26).

Porém, antes de usar as fórmulas 12 a 14, é necessário determinar *a priori* a altura útil **d** (distância entre o eixo do baricentro das armaduras até a fibra mais comprimida da seção de concreto). Tem-se então a expressão apresentada pela fórmula 15 (ARAÚJO, 2003b, p. 130):

$$d = h - c - bit / 2 \quad (\text{fórmula 15})$$

Onde:

d = altura útil da seção (cm);

h = espessura da laje do lance (cm);

c = cobrimento nominal da armadura (cm);

bit = diâmetro da bitola da armadura (cm).

Dentro da fórmula 15, com relação à espessura da laje do lance **h** , pode-se usar, como suposição inicial, os valores apresentados no quadro 4 o qual relaciona empiricamente a espessura da laje com o comprimento do vão.

Vão	Espessura
$\ell \leq 3\text{m}$	10 cm
$3\text{m} < \ell \leq 4\text{m}$	12 cm
$4\text{m} < \ell \leq 5\text{m}$	14 cm

Quadro 4: espessura da laje da escada em função do vão maior
(CAMPOS FILHO, 2008b, p. 2)

Ainda na expressão da fórmula 15, o cobrimento **c** da armadura é determinado de acordo com a classe de agressividade ambiental em que a laje do lance se encontra exposta. O quadro 5 apresenta os critérios da NBR 6118:2007 para determinar a classe de agressividade ambiental e o quadro 6 permite, depois de determinado a classe de agressividade ambiental, determinar o valor nominal do cobrimento **c** .

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Frac	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{1), 2)}	Pequeno
III	Forte	Marinha ¹⁾	Grande
		Industrial ^{1), 2)}	
IV	Muito forte	Industrial ^{1), 3)}	Elevado
		Respingos de maré	

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

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

³⁾ Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Quadro 5: classes de agressividade ambiental
(ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007a, p. 16)

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental			
		I	II	III	IV ³⁾
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje ²⁾	20	25	35	45
	Viga/Pilar	25	30	40	50
Concreto protendido ¹⁾	Todos	30	35	45	55

¹⁾ Cobrimento nominal da armadura passiva que envolve a bainha ou os fios, cabos e cordoalhas, sempre superior ao especificado para o elemento de concreto armado, devido aos riscos de corrosão fragilizante sob tensão.

²⁾ Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento tais como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros tantos, as exigências desta tabela podem ser substituídas por 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal ≥ 15 mm.

³⁾ Nas faces inferiores de lajes e vigas de reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm.

Quadro 6: Correspondência entre classe de agressividade ambiental e cobrimento nominal para $\Delta C = 10$ mm (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007a, p. 19)

4.4 ARMADURA MÍNIMA

Segundo a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007a, p. 116), “A ruptura frágil das seções transversais, quando da formação da primeira fissura, deve ser evitada considerando-se, para o cálculo das armaduras, um momento mínimo dado pelo valor correspondente ao que produziria a ruptura da seção de concreto simples [...]”.

Para seções retangulares a NBR 6118 considera o dimensionamento para o momento mínimo atendido desde que obedecido uma taxa geométrica mínima, obtida através de uma taxa mecânica mínima fixada em 0,035 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007a, p. 117). O quadro 7 apresenta os valores da taxa geométrica mínima para um aço CA-50 e coeficientes $\gamma_c = 1,4$ e $\gamma_s = 1,15$.

fck (MPa)	20	25	30	35	40	45	50
$\rho_{\min} (A_{s,\min}/A_c) \%$	0,15	0,15	0,173	0,201	0,23	0,259	0,288
$\omega_{\min} (A_s/A_c \cdot f_{yd}/f_{cd})$	0,035						

Quadro 7: taxas mínimas de armadura de flexão para uma seção em formato retangular (adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007a, p. 117)

As fórmulas 16 e 17 apresentam as relações necessárias para determinar a taxa geométrica mínima e a área de aço mínima em casos em que a classe do aço, a classe do concreto e os coeficientes de ponderação sejam diferentes dos usados no quadro 7:

$$\rho_{\min} \geq \begin{cases} \frac{0,035 \cdot f_{cd}}{f_{yd}} \\ 0,15\% \end{cases} \quad (\text{fórmula 16})$$

$$A_{s,\min} = \rho_{\min} \cdot b \cdot h \quad (\text{fórmula 17})$$

Onde:

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

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

ρ_{min} = taxa geométrica mínima da armadura de flexão (%);

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

4.5 DIMENSIONAMENTO DA ARMADURA DE DISTRIBUIÇÃO

Na direção transversal da laje do lance é usada uma armadura de distribuição cujo critério de dimensionamento é dado pela fórmula 18 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007a, p. 143):

$$A_{s,dist} \geq \frac{A_s}{5}; 0,9cm^2 / m; \frac{A_{s,min}}{2} \quad \text{(fórmula 18)}$$

Onde:

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

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

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

4.6 ARMADURAS PARA ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

Após determinadas as áreas de aço (em cm²/m) que irão sobre o lance, é necessário convertê-las em fios/barras de uso comercial. Para tanto, a NBR 7480 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007b, p. 2) classifica as armaduras em dois tipos, de acordo com o processo de fabricação:

- a) **barras de aço:** aquelas exclusivamente produzidas por laminação à quente sem processo de deformação mecânica.

- b) **fios de aço**: aqueles obtidos a partir de fio-máquina por trefilação ou laminação a frio.

Além da classificação de acordo com o processo de fabricação, há a diferenciação de acordo com o valor característico da resistência de escoamento do aço. As barras de aço são classificadas nas categorias CA-25 e CA-50, enquanto que os fios de aço na categoria CA-60 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007b, p. 2).

As barras e fios apresentam configurações geométricas diferentes que condicionam diferentes conformações superficiais (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007b, p. 3):

- a) CA-50: as barras apresentam obrigatoriamente nervuras transversais;
- b) CA-60: os fios podem ser lisos, entalhados ou nervurados;
- c) CA-25: as barras apresentam superfície obrigatoriamente lisa.

O quadro 8 apresenta, para cada categoria de aço, a relação entre o coeficiente de conformação superficial η_b , medido em ensaios de acordo com a NBR 7477:1982 (Determinação do coeficiente de Conformação Superficial de Barras e Fios de Aço destinados a Armaduras de Concreto Armado – Método de ensaio) e o coeficiente de conformação superficial η_1 usado pela NBR 6118.

Tipo de barra	Coeficiente de conformação superficial	
	η_b	η_1
Lisa (CA-25)	1,0	1,0
Entalhada (CA-60)	1,2	1,4
Alta aderência (CA-50)	$\geq 1,5$	2,25

Quaro 8: relação entre η_1 e η_b
(ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007a, p. 26)

Os quadros 9 e 10 apresentam os diâmetros comerciais e as características das barras e dos fios, respectivamente.

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

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

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

Quadro 9: características das barras de aço
(ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007b, p. 10)

Diâmetro nominal ^a mm	Massa e tolerância por unidade de comprimento		Valores nominais	
Fios	Massa nominal ^b kg/m	Máxima variação permitida para 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%	38,5	22,0
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

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

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

Quadro 10: características dos fios de aço
(ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007b, p. 11)

4.7 DISPENSA DE ARMADURAS PARA FORÇA CORTANTE

Para que as lajes dos lances das escadas sejam executadas sem estribos, é necessário fazer uma verificação. De acordo com a NBR 6118 as lajes maciças podem ser executadas sem armadura transversal, desde que a força cortante solicitante de cálculo V_{sd} seja inferior à força cortante resistente de cálculo V_{rd1} (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007a, 143).

Conforme essa mesma Norma, a tensão de cisalhamento resistente de cálculo é obtida pelas fórmulas 19 a 22 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007a, p. 143):

$$f_{ctm} = 1,40 \cdot \left(\frac{f_{ck}}{10} \right)^{2/3} \quad (\text{fórmula 19})$$

$$f_{ctk,inf} \cong 0,7 \cdot f_{ctm} \quad (\text{fórmula 20})$$

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk,inf}}{\gamma_c} \quad (\text{fórmula 21})$$

$$\tau_{rd} = 0,25 \cdot f_{ctd} \quad (\text{fórmula 22})$$

Onde:

f_{ctm} = resistência média à tração do concreto (MPa);

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

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

τ_{rd} = tensão de cisalhamento resistente de cálculo (MPa);

Com a tensão de cisalhamento resistente de cálculo τ_{rd} , pode-se determinar o valor de V_{rd1} pelas fórmulas 23 e 24 (adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007a, p. 143):

$$\rho_1 = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d} \leq 0,02 \quad (\text{fórmula 23})$$

$$V_{rd1} = V_{d,max} = \tau_{rd} \cdot k \cdot (1,2 + 40 \cdot \rho_1) \cdot b_w \cdot d \quad (\text{fórmula 24})$$

Onde:

ρ_l = taxa de armadura longitudinal de tração que se estende até não menos que $d+l_{b,nec}$ além da seção considerada;

V_{rd1} = força cortante resistente de cálculo (kN/m);

$k = 1$ para lajes aonde 50% da armadura inferior não chega até o apoio e $k = |1,6-d| > |1|$, para os demais casos, sendo que d é a altura útil da seção;

$V_{d,max}$ = máximo esforço de corte de cálculo atuante na seção para dispensa da armadura de cisalhamento (kN/m);

b_w = largura da seção onde ocorre V_{rd1} , considera-se 1m;

d = altura útil da seção (m).

4.8 COMPRIMENTO DE ANCORAGEM DAS ARMADURAS

Com relação ao comprimento de ancoragem, a NBR 6118 afirma que “Todas as barras das armaduras devem ser ancoradas de forma que os esforços a que estejam submetidas sejam integralmente transmitidos ao concreto [...]”. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007a, p. 33). Uma das formas de atender essa transferência é por meio de aderência entre a armadura e o concreto.

A ancoragem por aderência para barras tracionadas pode ser feita ao longo de um comprimento retilíneo ou com um grande raio de curvatura seguida ou não de gancho conforme os seguintes itens (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007a, p. 33):

- a) obrigatoriamente com gancho para barras lisas;
- b) sem gancho nas que tenham alternância de solicitações, de tração e compressão;
- c) com ou sem gancho nos demais casos, não sendo recomendado o gancho para barras com $\phi > 32$ mm ou para feixes de barras.

Os ganchos das armaduras de tração podem ser semicirculares, com ponta reta de comprimento não inferior a 2ϕ ; em ângulo de 45° (interno), com ponta reta de comprimento não inferior a 4ϕ ; ou ainda, em ângulo reto, com ponta reta de comprimento não inferior a 8ϕ . Sendo que em barras lisas, os ganchos devem ser sempre semicirculares (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007a, p. 34).

Essa Norma também estabelece o diâmetro interno da curvatura para os ganchos das armaduras longitudinais de tração de acordo com o quadro 11.

Bitola mm	Tipo de aço		
	CA-25	CA-50	CA-60
< 20	4ϕ	5ϕ	6ϕ
≥ 20	5ϕ	8ϕ	-

Quadro 11: diâmetro dos pinos de dobramento
(ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007a, p. 34)

Para o cálculo do comprimento de ancoragem a NBR 6118 define a resistência de aderência média f_{bd} cujo valor é distribuído uniformemente ao longo da área lateral da barra. O seu roteiro de cálculo é apresentado pelas formulas 25 a 28 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007a, p. 32):

$$f_{ctm} = 0,3 \cdot (f_{ck})^{2/3} \quad (\text{fórmula 25})$$

$$f_{ctk,inf} = 0,7 \cdot f_{ctm} \quad (\text{fórmula 26})$$

$$f_{ctd,inf} = \frac{f_{ctk,inf}}{\gamma_c} \quad (\text{fórmula 27})$$

$$f_{bd} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot f_{ctd,inf} \quad (\text{fórmula 28})$$

Onde:

f_{ctm} = resistência média à tração do concreto (MPa);

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

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

f_{bd} = resistência de aderência de cálculo entre a armadura e o concreto (MPa);

$\eta_1 = 1$ para barras lisas, $\eta_1 = 1,4$ para barras entalhadas ou $\eta_1 = 2,25$ para barras nervuradas;

$\eta_2 = 1$ para situações de boa aderência ou $\eta_2 = 0,7$ para situações de má aderência;

$\eta_3 = 1$ para $\phi < 32$ mm ou $\eta_3 = (132 - \phi)$, para $\phi \geq 32$ mm.

Por fim, o cálculo do comprimento de ancoragem necessário é obtido usando-se as fórmulas 29 e 30 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007a, p. 35):

$$l_b = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}} \quad (\text{fórmula 29})$$

$$l_{b,nec} = \alpha \cdot l_b \cdot \frac{A_{s,calc}}{A_{s,efet}} \geq l_{b,min} \quad (\text{fórmula 30})$$

Onde:

ϕ = diâmetro da armadura a ser ancorada (cm);

$\alpha = 1$ para barras sem gancho ou $\alpha = 0,7$ para barras tracionadas com gancho, com cobrimento no plano normal ao do gancho $\geq 3 \phi$, ou ainda, $\alpha = 0,5$ quando houver barras transversais soldadas e gancho, com cobrimento no plano normal ao do gancho $\geq 3 \phi$;

l_b = comprimento de ancoragem básico (cm);

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

$l_{b,min}$ = é o maior valor entre $0,3 l_b$, 10ϕ e 100 mm;

f_{bd} = resistência de aderência de cálculo entre a armadura e o concreto (MPa);

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

$A_{s,calc}$ = área de aço calculada para ancoragem (cm^2/m);

$A_{s,efet}$ = área de aço efetiva usada na ancoragem (cm^2/m).

Ainda, segundo a NBR 6118 em apoios extremos as armaduras devem ser ancoradas a partir da face do apoio e o comprimento de ancoragem deve ser igual ou superior aos seguintes valores (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007a, p. 134):

- a) $l_{b,nec}$;
- b) $R+5,5\phi$, sendo R o raio de dobramento do gancho;
- c) 6 cm.

Na fórmula 30, a área de aço calculada, para garantir a ancoragem em apoios extremos, deve ser capaz de resistir a força de tração dada pela fórmula 31 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007a, p. 133):

$$R_{sd} = \frac{a_l}{d} \cdot V_d \quad (\text{fórmula 31})$$

Onde:

R_{sd} = força de tração na armadura proveniente do diagrama de forças decalado de a_l ;

a_l = deslocamento do diagrama de momentos fletores, paralelo ao eixo da peça, para substituir os efeitos provocados pela fissuração oblíqua, sendo que para lajes, seu valor é de $1,5.d$ (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007a, p. 144);

V_d = força cortante de cálculo no apoio.

5 DETALHAMENTO DE LANCES DE ESCADA

Após o dimensionamento, é necessário fazer o detalhamento do lance da escada. O detalhamento consiste em representar a armadura sobre o lance. Com o detalhamento concluído pode-se:

- a) estimar o consumo de materiais utilizados na confecção da escada;
- b) ter um guia para a confecção da escada *in loco*.

Além disso, a disposição das armaduras no lance da escada deve permitir o seu comportamento adequado e esperado. Deve-se também respeitar os limites impostos à ancoragem das armaduras. Na literatura têm-se diversos detalhamentos conforme a geometria do lance, as condições de apoios e as preferências do projetista. Na figura 17 apresenta-se o detalhamento de um lance apoiado nos extremos e que possui os dois patamares.

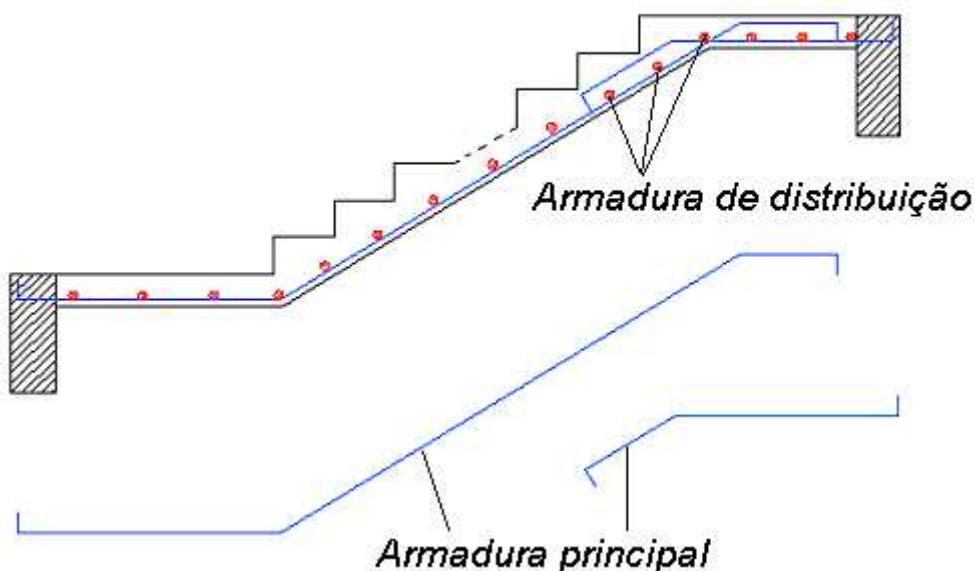


Figura 17: detalhe geral de um lance que possui dois patamares
(adaptada de FUSCO, 1995, p. 356)

Conforme recomendações de Araújo (2003a, p. 68), na ligação da escada com os pisos deve-se adotar uma armadura negativa mínima para limitar a fissuração devido a um pequeno engastamento nessa região. A figura 18 mostra o posicionamento dessas armaduras.

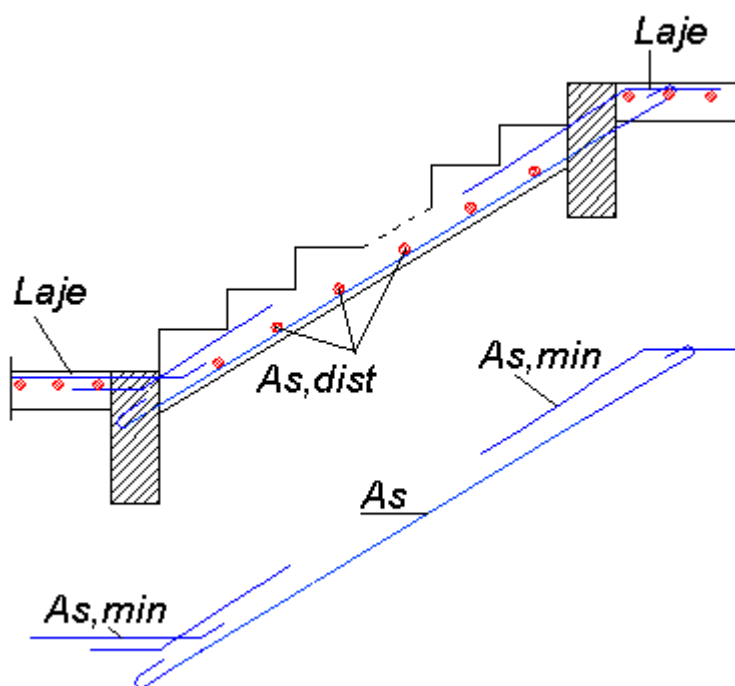


Figura 18: detalhe de um lance apoiado sobre vigas e lajes com pequeno engastamento (adaptado de ARAÚJO, 2003a, p. 68)

Além disso, na ligação entre os degraus e o patamar superior, deve-se ter um cuidado especial com a mudança de direção da armadura. A resultante no ponto de mudança de direção tende a desequilibrar o nó na direção do cobrimento a ponto de tornar o caminho do esforço retilíneo. A NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007a, p. 131) recomenda ao projetista dar “[...] preferência à substituição da barra por outras duas, prolongadas além de seu cruzamento e ancoradas [...]”. Já essa situação não se verifica na ligação entre o patamar inferior e os degraus, pois o esforço tende a deslocar o nó para dentro da laje, e nesse caso, a parte comprimida do concreto fornece a reação necessária para que o equilíbrio do nó não necessite desse detalhe especial. A figura 19 ilustra essa recomendação.

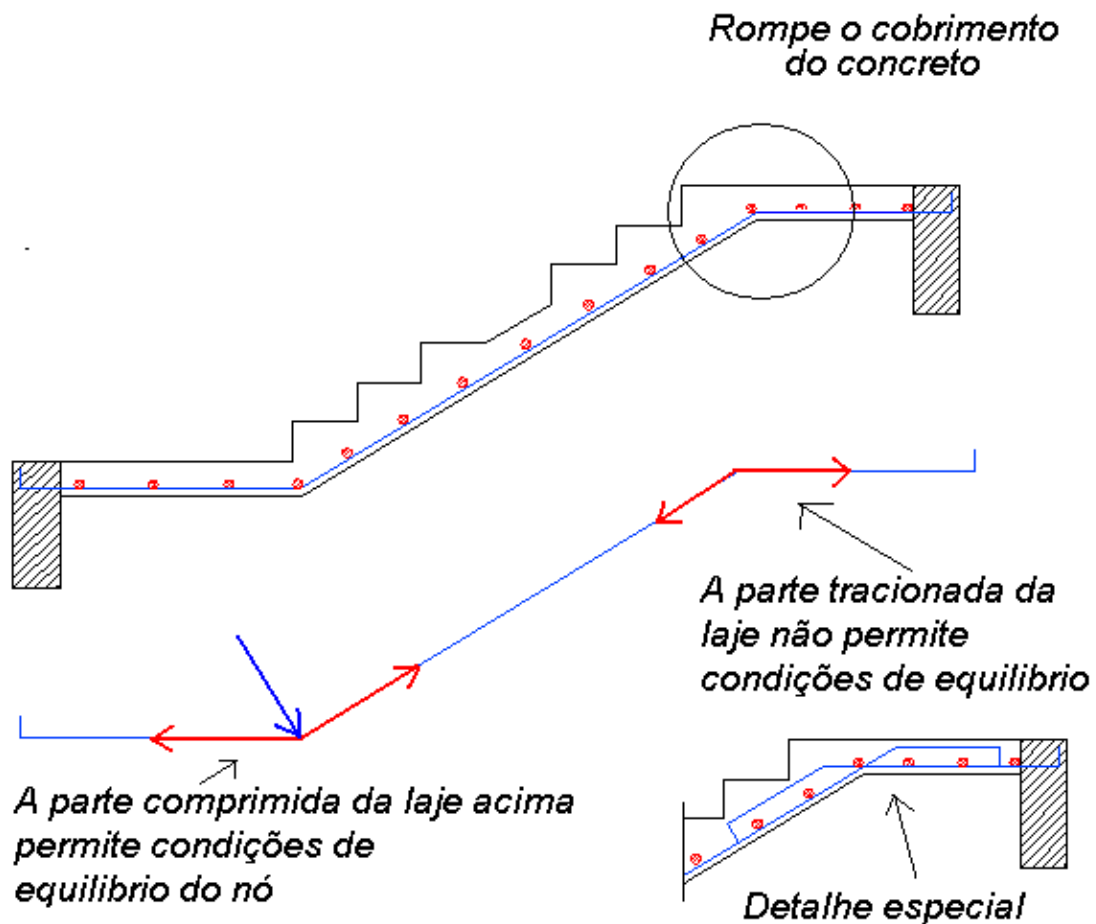


Figura 19: detalhe especial quando há mudança de direção do esforço na barra tracionada (adaptado de GUERRIN, 1990, p. 343)

Quanto a outras prescrições gerais relativas ao detalhamento de lajes, de acordo com a NBR 6118, deverão ser cuidados os seguintes aspectos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007a, p. 153):

- as armaduras devem ser dispostas de forma que se possa garantir o seu posicionamento durante a concretagem;
- qualquer barra da armadura de flexão deve ter diâmetro no máximo igual a um oitavo da espessura da laje;
- as barras da armadura principal de flexão devem apresentar espaçamento no máximo igual a duas vezes a espessura da laje ou 20 cm, sendo que na região dos maiores momentos fletores prevalece o menor desses dois valores;
- a armadura secundária de flexão deve ser igual ou superior a 20% da armadura principal, mantendo ainda um espaçamento de no máximo 33 cm.

6 PROGRAMA PARA DIMENSIONAMENTO E DETALHAMENTO DE LANCES DE ESCADAS

O objetivo deste capítulo é apresentar o programa computacional para o dimensionamento e detalhamento de lances de escadas em concreto armado. Para tanto, serão apresentadas as janelas do programa, descrevendo-se alguns aspectos sobre a sua concepção e suas funções. Serão também abordados as configurações do programa e os testes aplicados no programa.

6.1 APRESENTAÇÃO DAS JANELAS DO PROGRAMA

O programa foi dividido em seis janelas, sendo elas as seguintes:

- a) principal;
- b) das condições de apoio;
- c) da composição de cargas;
- d) da seleção de bitolas;
- e) do relatório do dimensionamento;
- f) do detalhamento.

Dentre as seis janelas do programa, a **janela principal** é a mais importante. Essa janela tem a finalidade de conceder uma visão geral do lance da escada a ser dimensionado e detalhado. Para tanto, nela foram reunidos os dados de entrada e os dados de saída do dimensionamento do lance. Conforme mostra a figura 20, essa janela apresenta:

- a) os menus de acesso <Arquivo>, <Configurações>, <Aspectos Arquitetônicos> e <Sobre>;
- b) uma tela à esquerda com ilustrações que servem de ajuda ao usuário durante o preenchimento dos dados de entrada;
- c) um campo inferior com texto de ajuda ao usuário durante o preenchimento dos dados de entrada;

- d) os campos referentes à identificação do lance da escada;
- e) os campos referentes à geometria do lance;
- f) o acesso à janela de definição das condições de apoios;
- g) o acesso à janela de composição de cargas;
- h) os campos referentes aos dados dos materiais;
- i) o acesso ao dimensionamento do lance da escada e a escolha das bitolas;
- j) o acesso ao relatório do dimensionamento e ao detalhamento do lance.

Figura 20: janela principal do programa

Tendo por referência a figura 20, segue, a partir de agora, a explicação das janelas e funções do programa.

Como em um escritório de cálculo pode-se ter muitas obras e como a escadaria de apenas uma obra pode ter muitos lances, os campos referentes à identificação do lance (obra, localização e

número do lance) foram introduzidos no programa com a intenção de facilitar a posterior organização das saídas de dados pelo usuário.

Com relação à geometria do lance, podem ser definidos quatro tipos de lances conforme a presença ou ausência de patamares. Na janela principal, ao se anular os valores de L_1 e/ou L_3 o usuário exclui o patamar inferior e/ou patamar superior, respectivamente. A figura 21 ilustra as quatro possibilidades de lances introduzidas no programa de acordo com a presença ou ausência de patamares.

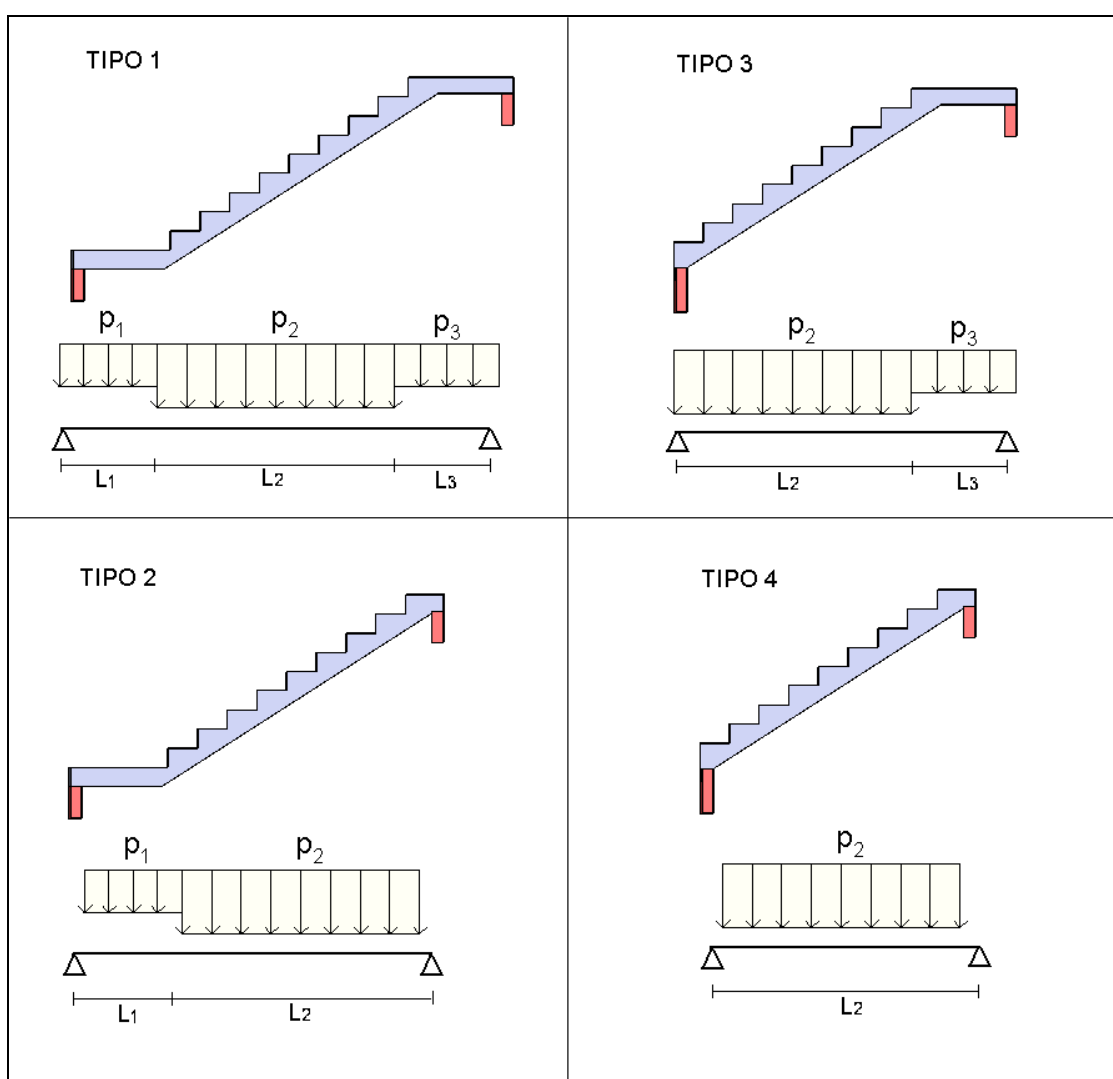


Figura 21: tipos de lances de acordo com a presença ou ausência de patamares

Ainda com relação à geometria do lance, os valores de L_2 e L_5 (referentes à largura e altura do trecho inclinado do lance) são ajustados automaticamente à medida que são preenchidos os campos referentes à geometria e a quantidade dos degraus.

Caso haja a necessidade de conferência ou de determinação da quantidade e das dimensões dos degraus para vencer dado desnível, consta no programa, através do menu <Aspectos Arquitetônicos> e, prosseguindo em <Geometria dos Degraus>, a janela apresentada na figura 22.

GEOMETRIA DOS DEGRAUS

Desnível a ser vencido (cm):

Numero de degraus:

Largura mínima do espelho (cm):

Largura máxima do espelho (cm):

Largura mínima do piso (cm):

Largura máxima do piso (cm):

$\leq (2 \cdot e + b) \leq$

SOLUÇÃO ECONÔMICA

H = 150,00 cm

$e = 18,75$ cm

$b \in [25,50 ; 26,50]$ cm

$L \in [178,50 ; 185,50]$ cm

FECHAR

Figura 22: janela <Geometria dos Degraus>

Nessa janela, através de um certo desnível a ser vencido, das condições limitantes da geometria dos degraus e, os limites da relação de Blondel, pode-se conferir se o número de degraus escolhido atende a essas condições. Caso não as verifique, o programa mudará a cor da largura do degrau e/ou do piso do degrau para vermelho. Caso seja necessária a determinação do número de degraus, o programa apresenta o botão <Solução Econômica>, onde o programa procurará iterativamente o menor número de degraus que satisfaz todas as condições impostas.

Retornando a janela principal, selecionando o botão <Condições de Apoio> é apresentada uma janela, que conforme mostra a figura 23, permite a escolha dos apoios usados no lance.

CONDIÇÕES DOS APOIOS

APOIO 1

- ☐ Viga dentro do degrau
- ☒ Viga fora do degrau
- ☐ Cinta + alvenaria
- ☐ Sobre lance primário

APOIO 2

- ☒ Viga
- ☐ Viga semi-invertida
- ☐ Viga invertida
- ☐ Pilar
- ☐ Cinta + alvenaria

a1 (cm): 19

a2 (cm): 19

APLICAR

Figura 23: janela <Condições dos Apoios>

Nessa janela, tanto para o apoio inferior quanto para o apoio superior, foram detalhados nove tipos de apoios diferentes. Sendo que desses nove tipos de apoios, cinco são para apoios junto a patamares e o restante para apoios junto a degraus. A figura 24 ilustra todos os tipos possíveis de apoios.

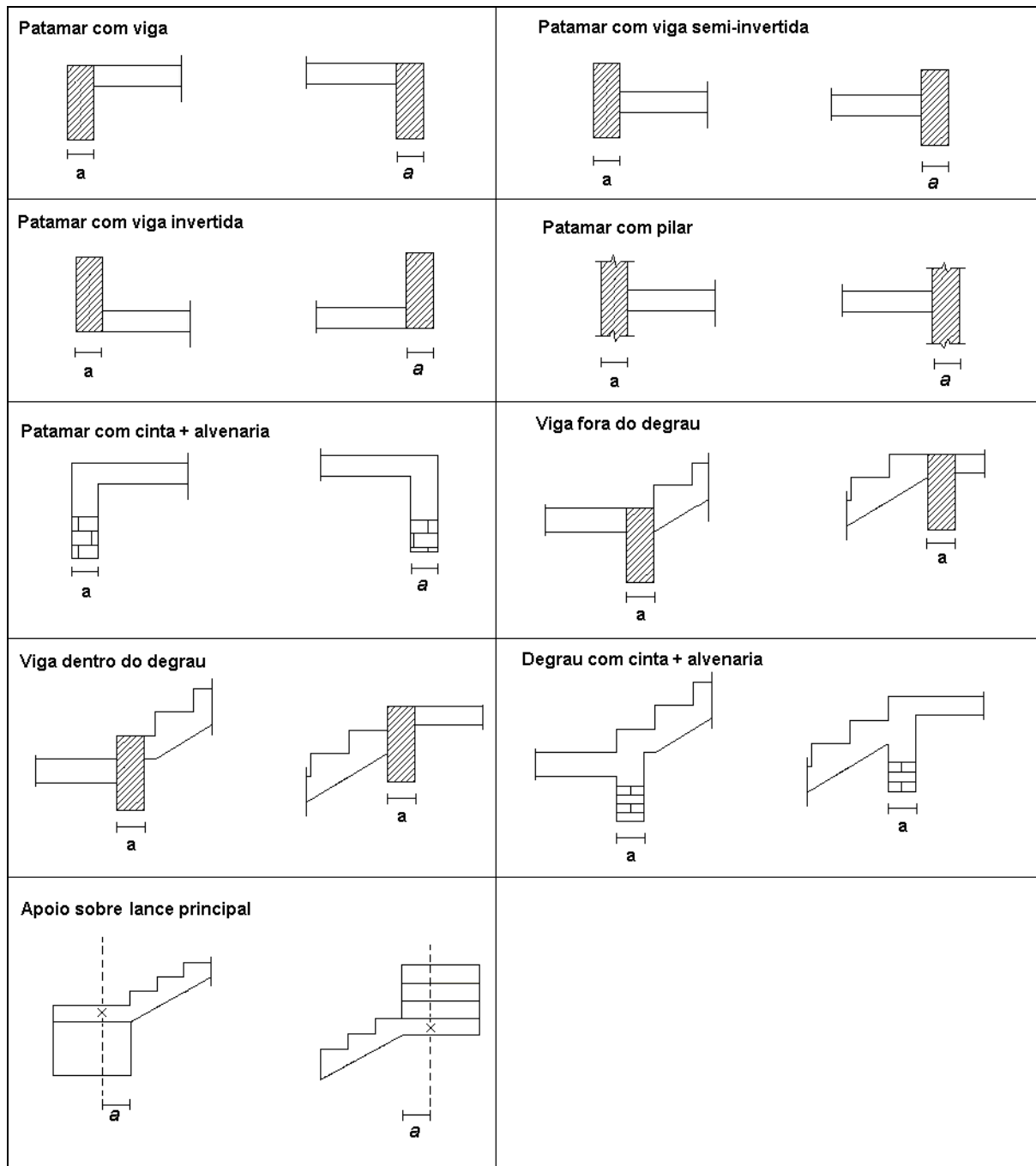


Figura 24: tipos de apoios disponíveis no programa

Ainda nas definições das condições de apoios, quando se tem apoio junto ao degrau há a possibilidade de escolha do apoio sobre lance principal e, nesse caso, a posição em que se encontra o apoio sobre o lance principal é determinado pela dimensão **a**, cujo valor *default*, é um terço da largura **L₄** do lance.

Retornando à janela principal, para fazer a composição de cargas, selecionando os botões do campo <Composição de Cargas> o programa abre a janela apresentada na figura 25.

COMPOSIÇÃO DE CARGAS DO P2

TIPO DE CARGA

☐ Peso Próprio (patamar)
☒ Peso Próprio (lance com degraus)
☐ Revestimento e Reboco
☐ Alvenaria/Corrimão/Peitoril
☐ Carga Acidental
☐ Outra Carga

0
5,85
1
0
3
0

PADRÃO SALVAR OK

TOTAL (kN/m²): 9,85

CALCULADORA DE CARGAS

Espessura da laje do lance (cm): 10
 Peso Específico do CA (kN/m³): 25
 Peso Específico do CS (kN/m³): 24
 Espelho do degrau e (cm): 16
 Piso do degrau a (cm): 28

RESULTADO (kN/m²): 4,8

APLICAR

Figura 25: janela <Composição de Cargas>

Nessa janela pode-se chamar a atenção para os seguintes aspectos:

- a) campo <Tipo de Carga>: para definir o valor das cargas comuns aos lances de escadas;
- b) botão <Padrão>: permite carregar uma composição padrão anteriormente salva;
- c) botão <Salvar>: permite salvar a composição de cargas atual como padrão;
- d) menu <Arquivo>: permite salvar e abrir composições de cargas externas ao programa;
- d) campo <Calculadora de Cargas>: apresenta cinco calculadoras específicas para fazer o cálculo automático de cada tipo de carga.

A primeira calculadora de carga, apresentada na figura 26, é a correspondente do peso próprio da laje do patamar. Essa calculadora somente aparece como opção quando se está compondo as cargas de um trecho do lance correspondente a um patamar.

CAPTURA DE TELA DA CALCULADORA DE CARGAS:

CALCULADORA DE CARGAS	
Espessura do Patamar (cm): <input type="text" value="10"/> Peso Específico do CA (kN/m³): <input type="text" value="25"/>	RESULTADO (kN/m²): <input type="text" value="2,5"/> <input type="button" value="APLICAR"/>

Figura 26: calculadora de cargas para o peso próprio da laje do trecho do lance que sustenta o patamar

Quando se está fazendo a composição do trecho inclinado do lance, é apresentada a calculadora da figura 27, que permite determinar o peso próprio da laje que sustenta os degraus. Essa calculadora apenas aparece como opção quando se está compondo as cargas do trecho do lance que possui degraus.

CALCULADORA DE CARGAS

Espessura da laje do lance (cm):	<input type="text" value="10"/>	RESULTADO (kN/m²): <input type="text" value="4,8"/>
Peso Específico do CA (kN/m³):	<input type="text" value="25"/>	
Peso Específico do CS (kN/m³):	<input type="text" value="24"/>	
Espelho do degrau e (cm):	<input type="text" value="16"/>	
Piso do degrau a (cm):	<input type="text" value="28"/>	

Figura 27: calculadora de cargas para o peso próprio da laje do trecho do lance que sustenta os degraus

Há também, como mostra a figura 28, a calculadora correspondente à carga introduzida pelo reboco e pelo revestimento do piso. Para isso foi armazenado no programa, para cada um dos materiais, que constam no quadro 3 retirado da NBR 6120:1980, o seu peso específico.

CALCULADORA DE CARGAS

Material do Reboco:

Peso específico do Material (kN/m³):

Espessura do Reboco (cm):

Material do Revestimento:

Peso específico do Material (kN/m³):

Espessura do Revestimento (cm):

RESULTADO (kN/m²):

Figura 28: calculadora de cargas para o reboco e revestimento do lance

Com relação à carga correspondente às alvenarias, corrimãos ou peitoris, tem-se a calculadora apresentada na figura 29. Essa calculadora permite também a consideração de a carga estar presente em um ou dois lados do lance, sendo que seu valor, distribuído sobre a largura L_4 , é

limitado a uma largura máxima de distribuição definida pelo projetista, cujo valor *default*, é 1,5 m.

Figura 29: calculadora de cargas para cargas de parede, corrimão e/ou peitoril

Com relação à carga acidental apresentada pela NBR 6120:1980, tem-se no programa a calculadora apresentada pela figura 30.

Figura 30: calculadora para carga acidental

Quando se está definindo qualquer parâmetro nas calculadoras, o valor do campo <RESULTADO> é atualizado automaticamente permitindo que se faça comparações alterando as variáveis que compõe o tipo de carga antes de aplicá-lo ao trecho do lance. Ao selecionar o botão <APLICAR> o valor do campo <RESULTADO> passa imediatamente ao

respectivo campo do tipo de carga. Ao selecionar o botão <OK> retorna-se a janela principal, sendo que as cargas são salvas em um vetor de cargas que será usado no dimensionamento.

Depois de definido a composição de carga dos trechos do lance, determina-se os dados dos materiais usados no dimensionamento (f_{ck} , f_{yk} , cobrimento e bitola). A figura 31 mostra esses campos que constam na janela principal.

DADOS DOS MATERIAIS

f_{ck} (MPa):	35
f_{yk} (MPa):	500
cobrimento (cm):	2
Bitola (cm):	1

Figura 31: campos referentes aos dados dos materiais utilizados no dimensionamento

Ainda na janela principal, no campo apresentado pela figura 32, o dimensionamento é feito escolhendo-se uma espessura e usando-se o botão <Dimensionar>. Com isso, automaticamente o programa dimensionará e mostrará a área de aço da armadura principal, a área de aço da armadura de distribuição e as bitolas comerciais junto com os seus respectivos espaçamentos que atendem a essas áreas.

Ainda, nessa etapa do programa, pode-se escolher, caso seja do interesse do projetista, a <Atualização das Cargas de Peso Próprio da Laje> devido à mudança da espessura do lance. Marcada essa opção, antes de dimensionar, o programa refará automaticamente a composição de cargas.

DIMENSIONAMENTO

Espessura (cm): 10

☐ Atualizar Cargas de Peso Próprio da Laje

DIMENSIONAR

$A_s = 6,12 \text{ cm}^2/\text{m}$ $A_{s\text{dist}} = 1,22$

Ø 10 c/ 12 ; $A_s = 6,54$ **Ø 4,2 c/ 11 ; $A_s = 1,26$**

Figura 32: campo para o dimensionamento

A figura 33 apresenta de forma esquemática o fluxograma executado pelo programa durante o dimensionamento.

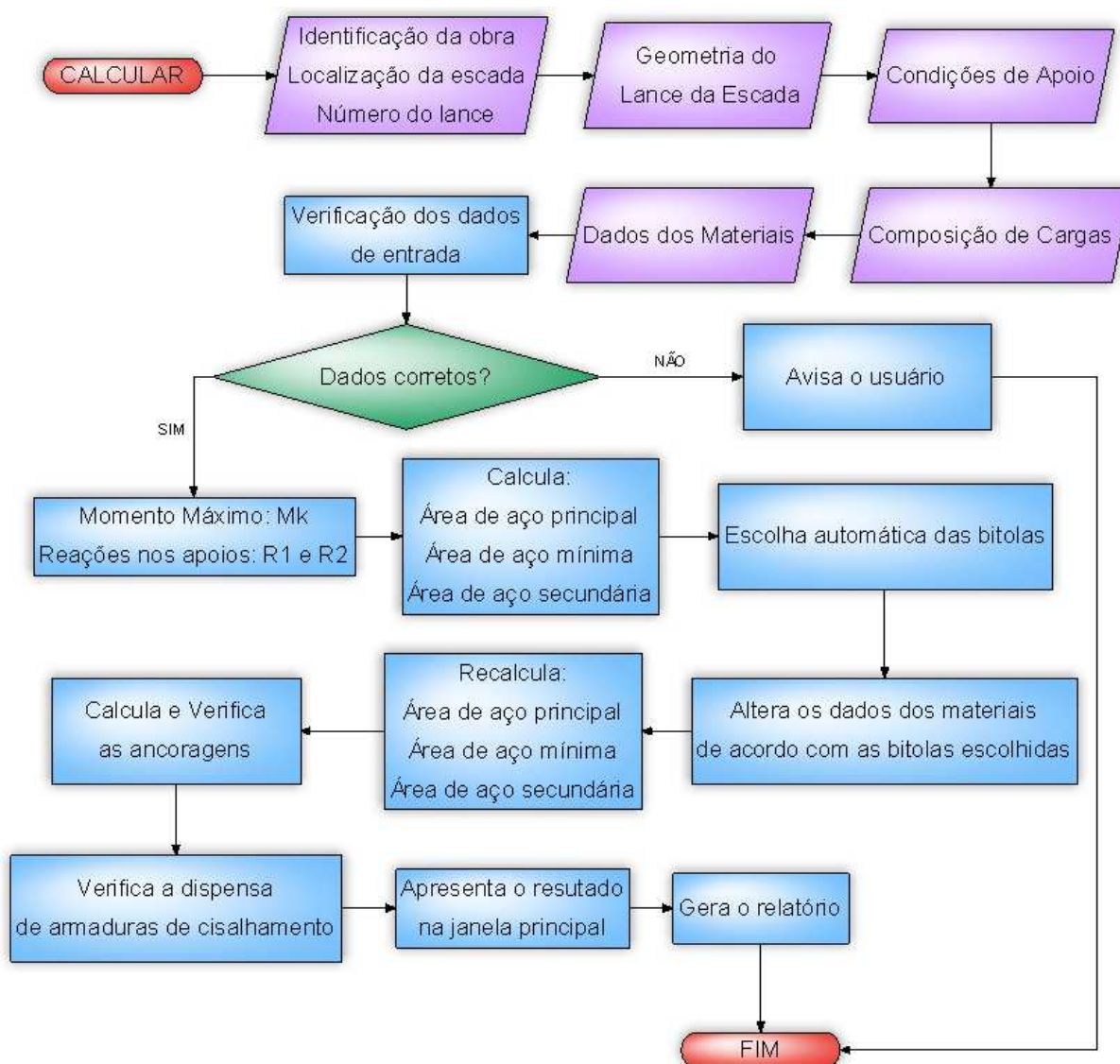


Figura 33: fluxograma usado no dimensionamento

Primeiramente o programa recolhe os dados de entrada e verifica-os. Caso não estejam de acordo aparecerá uma janela de aviso, como a da figura 34, identificando o que não está correto.

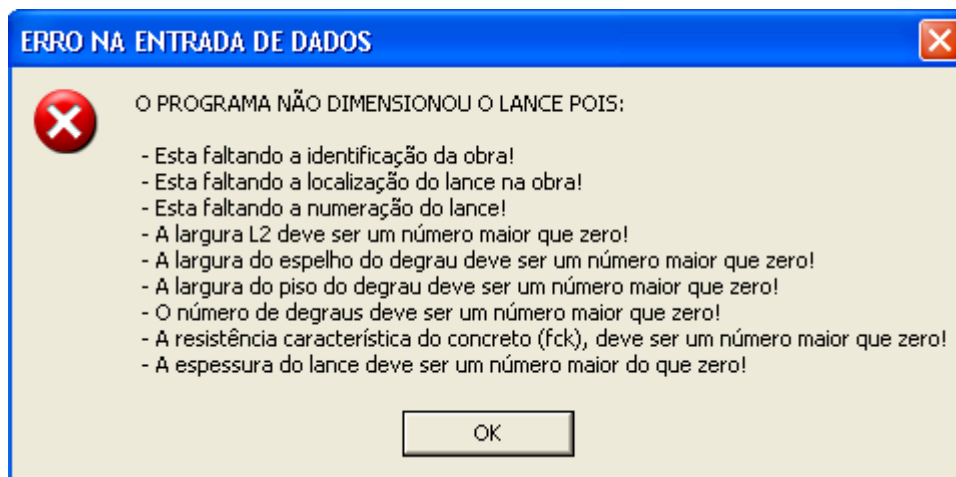


Figura 34: aviso de erro na entrada de dados

Se os dados passaram pela verificação o programa segue para a rotina de cálculo do momento máximo e das reações nos apoios. O programa resolve, então, o modelo apresentado na figura 35.

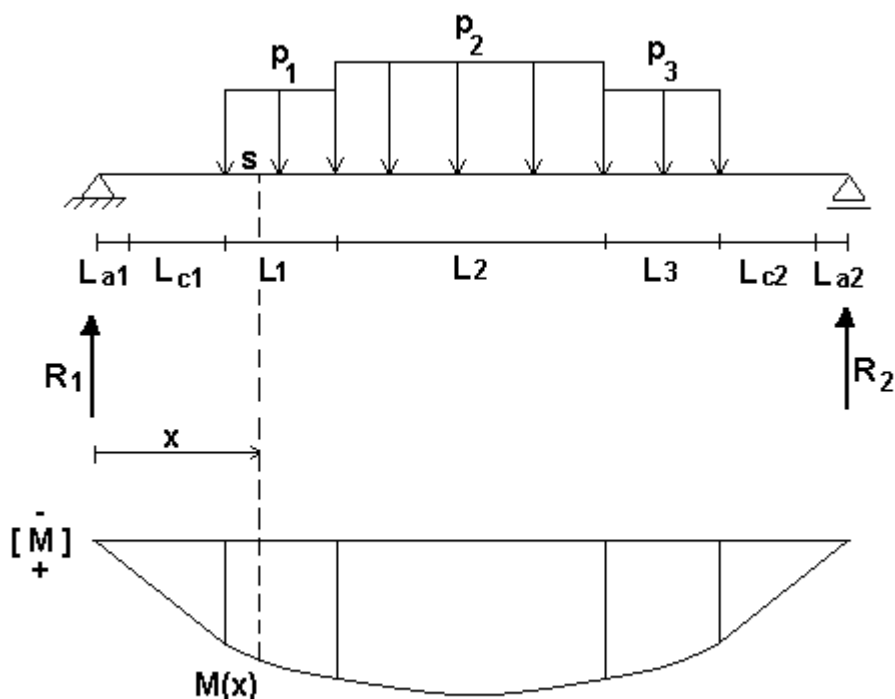


Figura 35: modelo usado para o cálculo do momento máximo e das reações nos apoios

Com relação à geometria nesse modelo as medidas L_{a1} e L_{a2} recebem o valor da metade da largura do apoio definida durante a escolha das condições de apoio. Exceto os casos em que o apoio se encontra dentro do degrau ou quando o apoio é definido como apoio sobre lance principal. Nesses casos os valores de L_{a1} e L_{a2} recebem o valor nulo. Já os valores de L_{c1} e L_{c2} somente são diferentes de zero quando se tem apoio sobre lance principal. Nesse caso, L_{c1} e L_{c2} recebem o valor correspondente a localização do apoio sobre o lance principal definida anteriormente na janela <Condições dos Apoios>.

No diagrama de momentos da figura 35, tanto a função $M(x)$ quanto às reações R_1 e R_2 estão expressas em termos de L_{c1} , L_1 , L_2 , L_3 , L_{c2} , p_1 , p_2 , p_3 . Os valores de L_{a1} e L_{a2} recebem carga e por isso seus valores são somados aos valores de L_1 , L_2 ou L_3 de acordo com a presença ou ausência de patamares.

A função $M(x)$ está definida por partes de acordo com a posição x da seção s . O programa calcula essa função para um passo de 0,01 cm e, posteriormente, escolhe o maior valor como sendo o momento máximo.

Em seguida, conforme o diagrama anterior da figura 33, com o momento máximo calculado, o programa calcula as áreas de aço (principal, distribuição e mínima) e escolhe previamente uma bitola e espaçamento correspondente a essa área. Como o diâmetro da bitola interfere no cálculo das áreas de aço – pois pode alterar a altura útil d ou até mesmo o f_{yk} – o programa recalcula essas áreas considerando a bitola escolhida. Posteriormente, tem-se o cálculo e a verificação das ancoragens juntamente com a verificação da dispensa das armaduras de cisalhamento. Isso concluído, o programa termina o dimensionamento, mostrando o resultado na tela e gerando o relatório.

O programa conta com a opção, caso o projetista deseje, de escolher outras bitolas e/ou espaçamentos que não sejam as apresentadas automaticamente pelo programa. Ao selecionar o botão cujo título apresenta as bitolas, o programa mostrará a janela <Seleção de Bitolas>. Nessa janela, conforme a figura 36, o programa apresenta – dentro de limites de espaçamentos e diâmetros definidos pelo usuário – as bitolas e espaçamentos correspondentes à área de aço calculada pelo programa. As que ficarem fora das condições mínimas e máximas definidas são mostradas em vermelho.

SELEÇÃO DE BITOLAS

AREA DE AÇO (cm²/m):

Espaçamento Mínimo (cm):

Espaçamento Máximo (cm):

Bitola Mínima (mm):

Bitola Máxima (mm):

☐ Ø 4,2 c/ 2 ; As = 6,92

☐ Ø 5 c/ 3 ; As = 6,54

☐ Ø 6,3 c/ 5 ; As = 6,23

☐ Ø 8 c/ 8 ; As = 6,28

☒ Ø 10 c/ 12 ; As = 6,54

☐ Ø 12,5 c/ 20 ; As = 6,13

☐ Ø 16 c/ 20 ; As = 10,05

☐ Ø 20 c/ 20 ; As = 15,7

☐ Ø 25 c/ 20 ; As = 24,53

☐ Outra: Ø c/ ; As = 7,14

APLICAR

Figura 36: janela <Seleção de Bitolas>

Depois de escolhido a bitola e espaçamento na janela <Seleção de Bitolas>, ao selecionar <Aplicar> o programa recalcula as áreas de aço e as ancoragens, reverifica a ancoragem e a dispensa de armaduras de cisalhamento e remonta o relatório com a nova bitola escolhida.

Após definido a bitola a ser usada nas armaduras, na janela principal, usando-se o botão <Gerar Relatório>, abre-se a janela apresentada na figura 37.

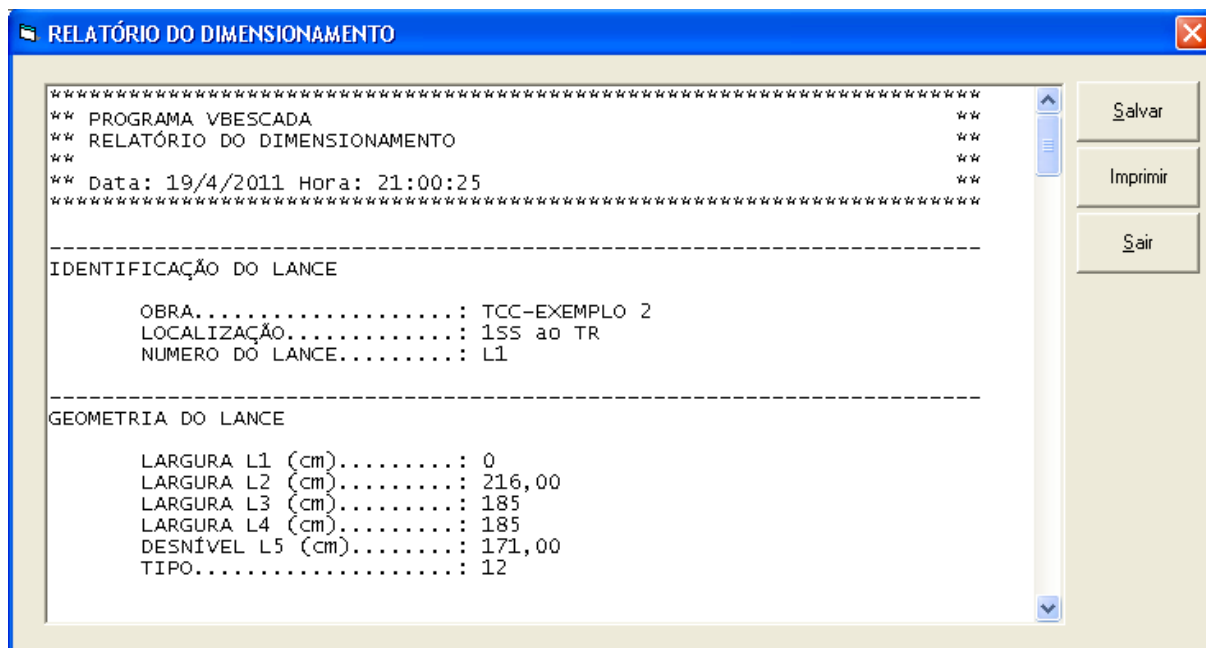


Figura 37: janela <Relatório do Dimensionamento>

O relatório de dimensionamento foi introduzido no programa para atender duas funções:

- a) na medida em que apresenta o valor de todas as variáveis importantes, permitir uma posterior verificação do dimensionamento por parte do projetista;
- b) como permite salvar o relatório, conceder ao projetista uma memória de cálculo do dimensionamento do lance da escada.

Neste relatório, o usuário encontrará as seguintes informações:

- a) a identificação do lance;
- b) a geometria do lance usada pelo programa;
- c) a composição de cargas;
- d) os dados dos materiais e a espessura utilizada;
- e) o valor de cada variável do modelo usado no cálculo do momento máximo e das reações nos apoios;
- f) os coeficientes de ponderação usados no dimensionamento;
- g) o valor de cada variável do dimensionamento da armadura principal, de distribuição e mínima;
- h) o valor de cada variável usada na verificação da ancoragem;

i) o valor de cada variável usada na verificação da dispensa de armadura de corte.

Por fim, o programa apresenta um detalhamento do lance da escada. Na janela principal, ao se usar o botão <Detalhamento>, o programa detalhará o lance automaticamente e mostrará, de acordo com a figura 38, a janela <Detalhamento do Lance >.

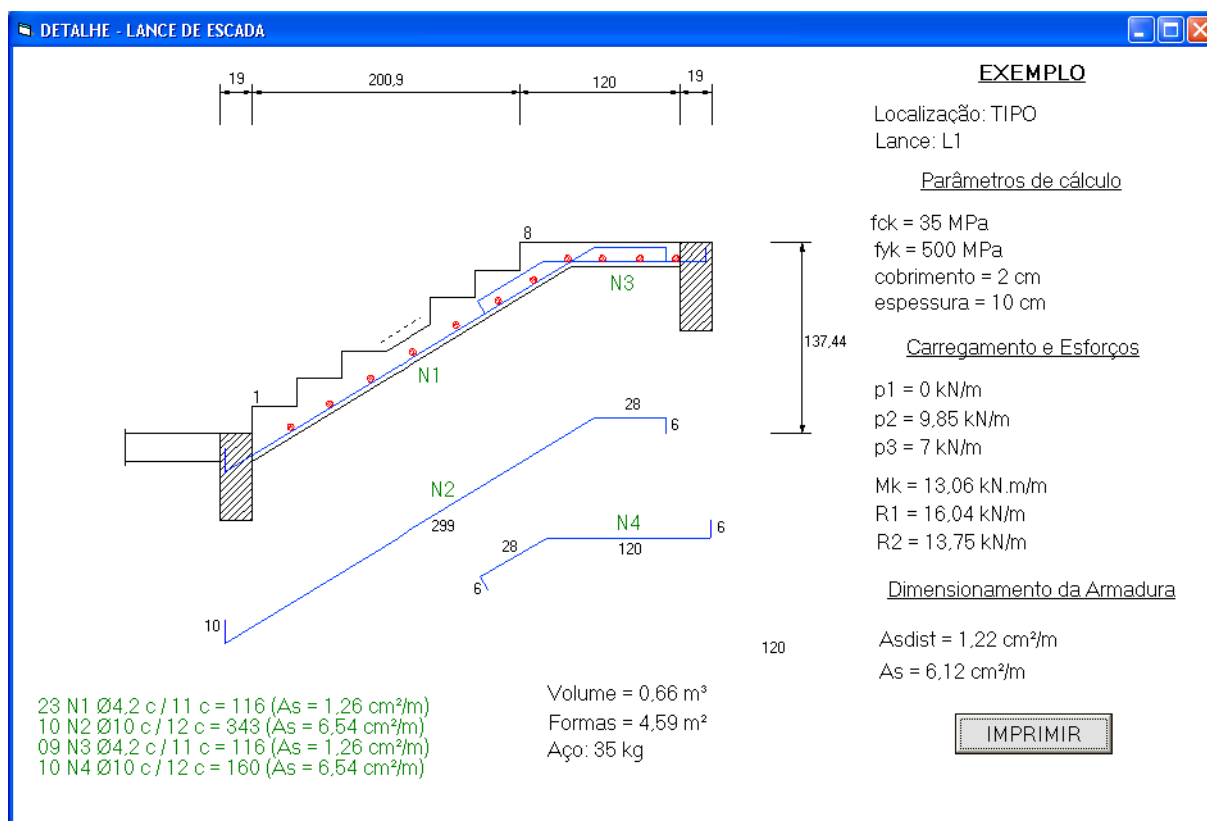


Figura 38: janela <Detalhamento do Lance>

Como se pode notar, pela figura 38, na janela de detalhamento, têm-se as seguintes informações:

- um corte esquemático do lance da escada fora de escala;
- a identificação do lance de escada;
- a apresentação de alguns dados referentes ao dimensionamento;
- o volume, a área de formas e o peso do aço;
- apresentação da quantidade, bitola, espaçamento e comprimento das posições das armaduras dimensionadas para o lance;

e) botão <Imprimir>.

Para gerar o detalhamento os comprimentos das armaduras são obtidos em função de L_1 , L_2 , L_3 , L_{a1} , L_{a2} , $L_{b,nec}$, e , a , h e c , conforme mostra a figura 39.

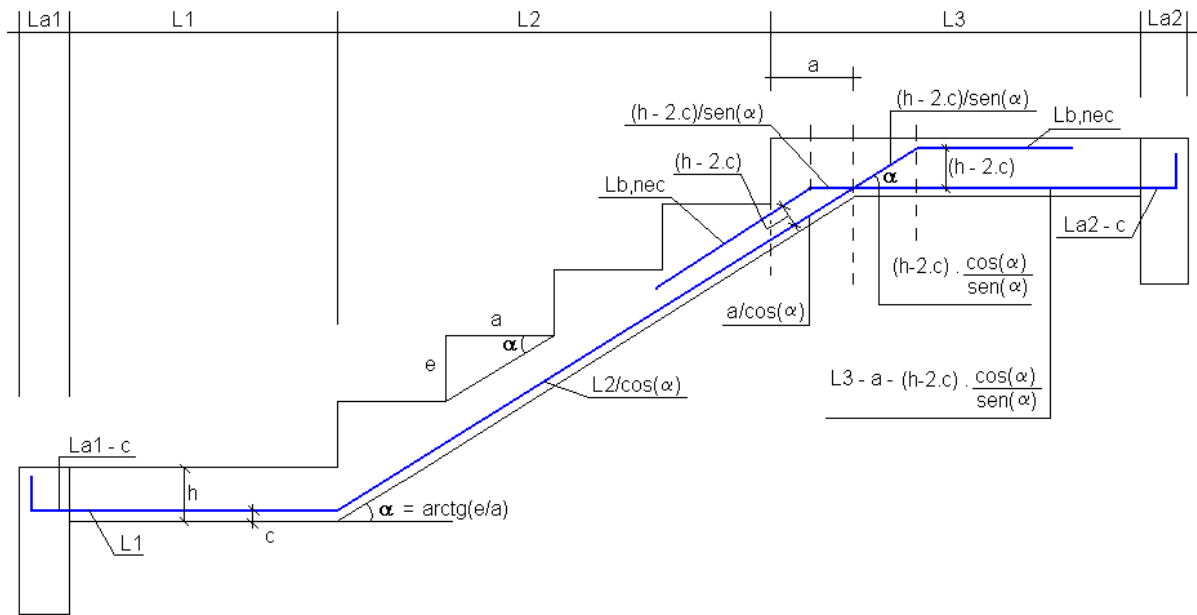


Figura 39: comprimentos das armaduras

O volume de concreto e a área de formas do lance da escada são obtidos através das fórmulas 32 e 33, respectivamente.

$$V = \left(h \cdot L_1 + \frac{L_2}{\cos(\alpha)} \cdot h + e \cdot \frac{a}{2} \cdot N + L_3 \cdot h \right) \cdot L_4 \quad (\text{fórmula 32})$$

$$A_f = (L_1 \cdot h \cdot 2 + L_1 \cdot L_4 + L_4 \cdot h) + \left(\frac{e \cdot a}{2} \cdot N \cdot 2 + \frac{L_2}{\cos(\alpha)} \cdot h \cdot 2 + \frac{L_2}{\cos(\alpha)} \cdot L_4 + e \cdot L_4 \cdot N \right) + (L_3 \cdot h \cdot 2 + L_3 \cdot L_4 + L_4 \cdot h) \quad (\text{fórmula 33})$$

Onde:

V = volume do lance (m^3);

A_f = área de formas necessária para moldar a escada *in loco* (m^2);

α = ângulo de inclinação do trecho inclinado do lance da escada;

h = espessura do lance da escada (m);

L_1 = largura do patamar inferior do lance da escada (m)

L_2 = largura em planta do trecho inclinado do lance da escada (m)

L_3 = largura do patamar superior do lance da escada (m);

L_4 = largura do lance perpendicular ao vão principal (m);

N = número de degraus do lance da escada;

e = altura do espelho do degrau (m);

a = largura do piso do degrau (m).

Ainda, na janela de detalhamento do lance, foi introduzida a opção de se alterar o comprimento das armaduras, as ancoragens e os ganchos nos apoios. Por exemplo, selecionando os apoios, é apresentada a janela da figura 40, onde se tem um resumo do cálculo da ancoragem.

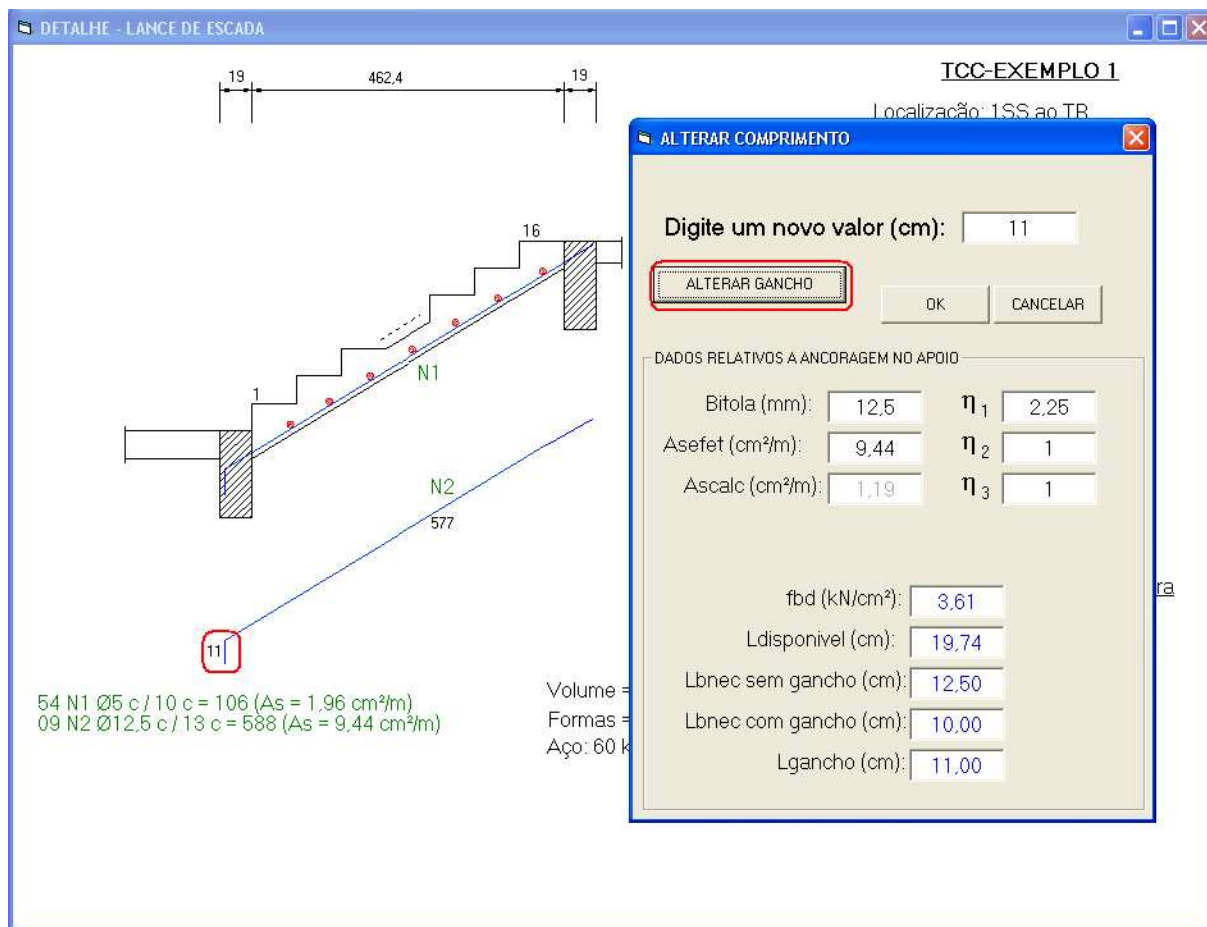


Figura 40: verificando e alterando o gancho no apoio

6.2 ARQUIVOS E CONFIGURAÇÕES DO PROGRAMA

Na pasta onde se localiza o executável do programa, há os seguintes arquivos, conforme mostra a figura 41:

- bitolaspadrão.prg**: contém o diâmetro das bitolas usadas no programa, o peso por unidade de comprimento, a resistência característica e o coeficiente de conformação superficial usado na ancoragem;
- cargapadrao1.prg** e **cargapadrao2.prg**: contém, respectivamente, o vetor de cargas usadas como padrão para os patamares e para os lances inclinados;
- coeficientes.prg**: contém os coeficientes de minoração das resistências e majoração das cargas usadas no dimensionamento;
- relatório.prg**: contém o relatório gerado durante o último dimensionamento.

Nome	Tamanho	Tipo	Data de modificação
bitolaspadrao.prg	1 KB	Arquivo PRG	4/5/2011 22:14
cargapadrao1.prg	1 KB	Arquivo PRG	16/4/2011 19:03
cargapadrao2.prg	1 KB	Arquivo PRG	15/3/2011 21:42
coeficientes.prg	1 KB	Arquivo PRG	16/4/2011 19:03
relatorio.prg	7 KB	Arquivo PRG	6/6/2011 09:06
VBESCADA.exe	19.664 KB	Aplicativo	6/6/2011 09:04

Figura 41: arquivos do programa

Todos esses arquivos podem ser editados através do programa ou pelo bloco de notas do *Windows* (porém, neste último caso, deve-se respeitar a estrutura do texto, caso contrário o programa não lerá o arquivo).

O arquivo **coeficientes.prg** possui edição diretamente pelo programa. É possível alterar os valores padrões fornecidos por norma através do menu <Configurações> e, seguindo em <Coeficientes de Ponderação do Dimensionamento>, na janela principal do programa. A figura 42, ilustra a janela que guarda essa opção.

Figura 42: Janela <Coeficientes de Ponderação>

Na janela de seleção de bitolas, há um limite de apenas 9 bitolas diferentes. Como a NBR 7480:2007 apresenta uma variedade de diâmetros, foi introduzida no programa a possibilidade de alteração das características das bitolas. Na janela principal, a partir do menu

<Configurações> e, seguindo em <Características das Barras e Fios de Aço>, pode-se editar o arquivo **bitolaspadrão.prg**. A figura 43 ilustra a janela onde se tem essa possibilidade.

Ø (mm)	p (kg/m)	fyk (MPa)	η_1
4,2	0,109	600	1,4
5	0,154	600	1,4
6,3	0,245	500	2,25
8	0,395	500	2,25
10	0,617	500	2,25
12,5	0,963	500	2,25
16	1,578	500	2,25
20	2,466	500	2,25
25	3,853	500	2,25

Figura 43: janela <Características das Barras e Fios de Aço>

6.3 TESTE E ANÁLISE DO PROGRAMA

Durante a programação, as rotinas de cálculo são submetidas a alguns testes para confirmar se estão gerando valores satisfatórios. Nesse processo, há ajustes dos mais diversos tipos de erros, que vão desde a digitação errada do código até a estrutura das subrotinas. Foram testados os seguintes usos:

- digitação de valores diferentes de números:** o programa apresentou tratamento adequado impedindo que fossem digitados;

- b) **digitação de valor zero ou em branco:** o programa apresentou tratamento adequado indicando ao usuário, antes do dimensionamento, os valores que não estão corretos;
- c) **valores exorbitantes:** o programa não apresentou tratamento adequado. Neste caso o programa segue o dimensionamento e o detalhamento sem avisar ao usuário. Dependendo do valor, pode ocorrer erro durante a execução das rotinas;
- d) **tentativa de forçar o programa a dar um mal resultado:** o programa apresentou tratamento adequado no dimensionamento avisando ao usuário quando escolhe uma área de aço menor do que a calculada. Porém, na janela de detalhamento, o programa ainda carece de um algoritmo de verificação do comprimento das armaduras para o caso de alterações propostas pelo usuário.
- e) **mudança de valores da entrada de dados após ter dimensionado uma vez:** o programa apresentou tratamento adequado avisando ao usuário que deve dimensionar novamente o lance.
- f) **fornecimento de saída de dados do programa:** o programa apresentou o tratamento adequado permitindo ao usuário salvar arquivos e imprimir sem complicações;
- g) **tentativa de corromper os arquivos de extensão <PRG> na pasta do programa:** o programa apresentou o tratamento adequado indicando ao usuário qual arquivo está corrompido ou faltando. Neste caso, o programa refaz o arquivo;
- h) **caso o lance não passe em alguma verificação do dimensionamento:** o programa apresentou o tratamento adequado indicando ao usuário a verificação que não passou e impedindo-o de detalhar o lance.

O programa também foi testado através de três exemplos – apresentados na figura 44 – cujo resultado foi comparado com o cálculo manual. Os exemplos de teste escolhidos foram:

- a) uma escada composta por apenas um lance de degraus;
- b) uma escada composta por dois lances paralelos;
- c) uma escada composta por três lances perpendiculares, sendo dois deles lances secundários;

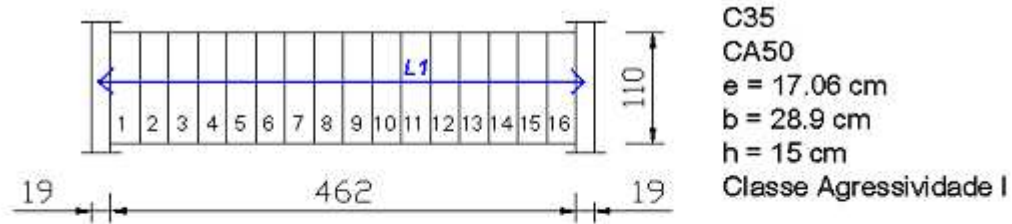
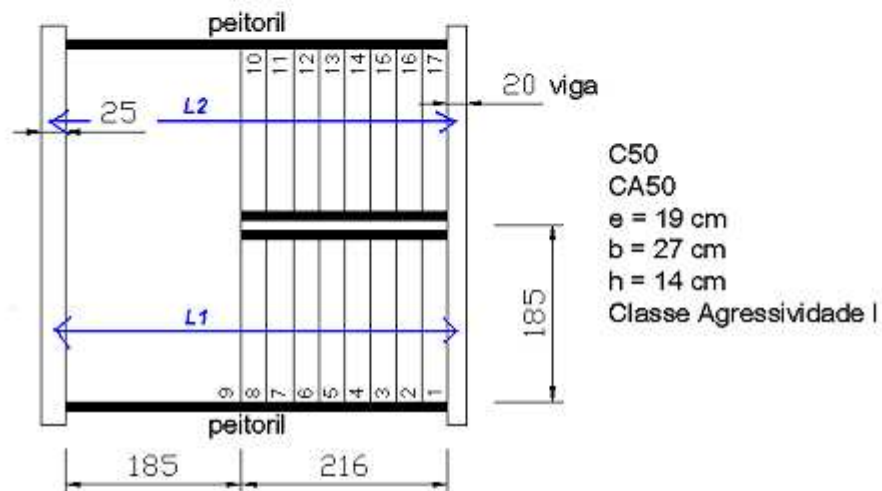
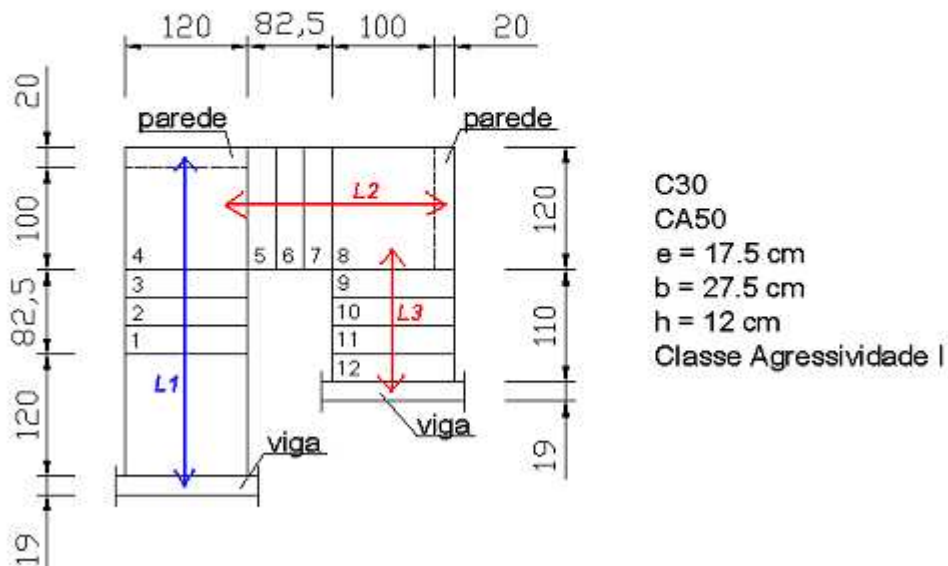
EXEMPLO 1**EXEMPLO 2****EXEMPLO 3**

Figura 44: exemplos usados para testar o programa

Na figura 45 e 46, apresenta-se, respectivamente, o detalhamento e os resultados numéricos apresentados na janela <Detalhamento do Lance> para os três exemplos.

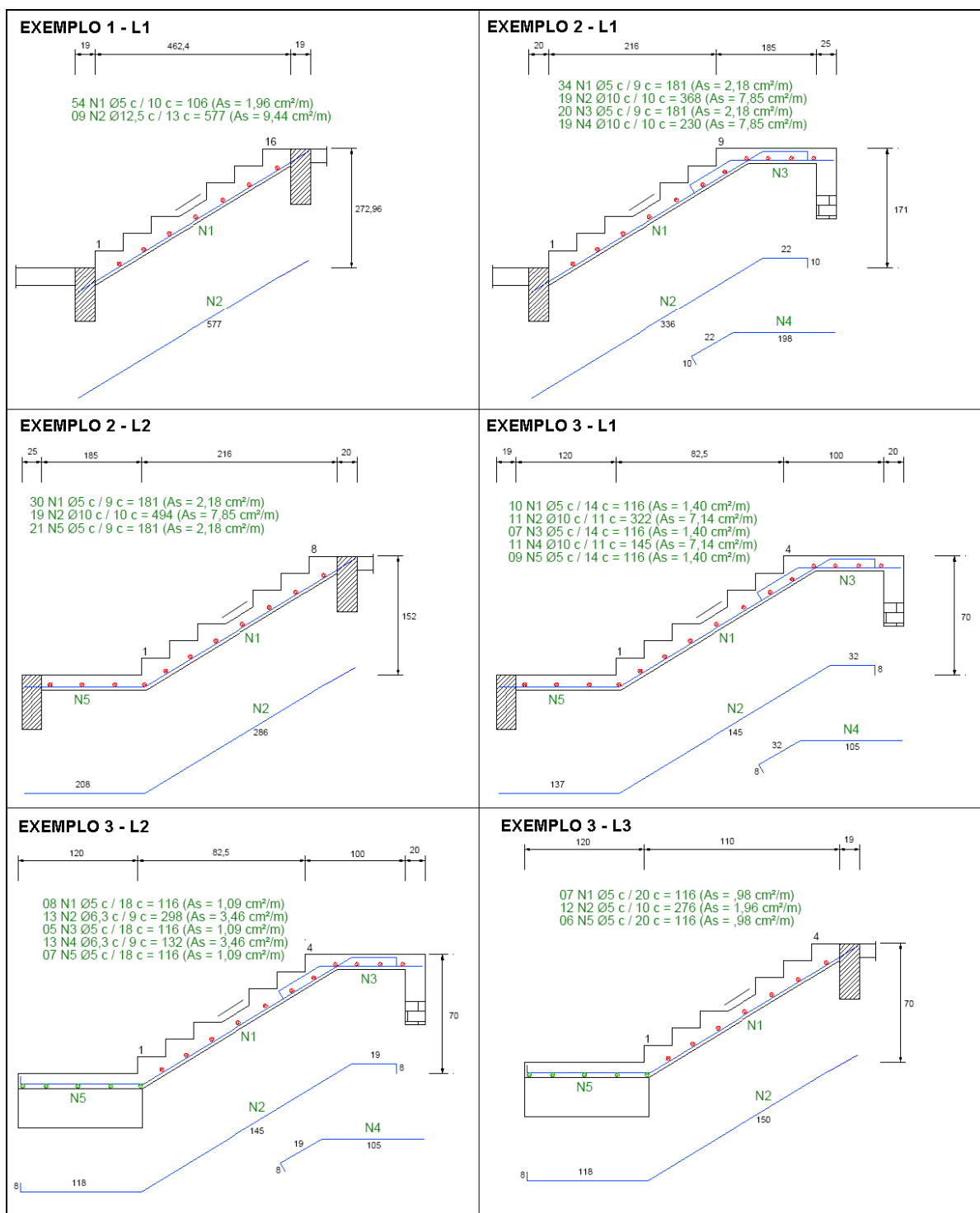


Figura 45: detalhamento dos exemplos

<p align="center"><u>TCC-EXEMPLO 1</u></p> <p>Localização: 1SS ao TR Lance: L1</p> <p align="center"><u>Parâmetros de cálculo</u></p> <p>fck = 35 MPa fyk = 500 MPa cobrimento = 2 cm espessura = 14 cm</p> <p align="center"><u>Carregamento e Esforços</u></p> <p>p1 = 0 kN/m p2 = 10,2 kN/m p3 = 0 kN/m</p> <p>Mk = 29,55 kN.m/m 29,5476 R1 = 24,55 kN/m 24,55 R2 = 24,55 kN/m 24,55</p> <p align="center"><u>Dimensionamento da Armadura</u></p> <p>Asdist = 1,82 cm²/m 1,82 As = 9,11 cm²/m 9,11</p> <p>Volume = 1,26 m³ 1,26 Formas = 11,51 m² 11,509 Aço: 59 kg 58,73</p>	<p align="center"><u>TCC-EXEMPLO 2</u></p> <p>Localização: 1SS ao TR Lance: L1</p> <p align="center"><u>Parâmetros de cálculo</u></p> <p>fck = 50 MPa fyk = 500 MPa cobrimento = 2 cm espessura = 14 cm</p> <p align="center"><u>Carregamento e Esforços</u></p> <p>p1 = 0 kN/m p2 = 12,82 kN/m p3 = 8,42 kN/m</p> <p>Mk = 24,61 kN.m/m 24,61 R1 = 25,12 kN/m 25,12 R2 = 20,48 kN/m 20,48</p> <p align="center"><u>Dimensionamento da Armadura</u></p> <p>Asdist = 2,01 cm²/m 2,01 As = 7,22 cm²/m 7,21</p> <p>Volume = 1,59 m³ 1,59 Formas = 13,71 m² 13,709 Aço: 85 kg 84,61</p>	<p align="center"><u>TCC-EXEMPLO 2</u></p> <p>Localização: 1SS ao TR Lance: L2</p> <p align="center"><u>Parâmetros de cálculo</u></p> <p>fck = 50 MPa fyk = 500 MPa cobrimento = 2 cm espessura = 14 cm</p> <p align="center"><u>Carregamento e Esforços</u></p> <p>p1 = 8,42 kN/m p2 = 12,82 kN/m p3 = 0 kN/m</p> <p>Mk = 24,61 kN.m/m 24,61 R1 = 20,48 kN/m 20,48 R2 = 25,12 kN/m 25,12</p> <p align="center"><u>Dimensionamento da Armadura</u></p> <p>Asdist = 2,01 cm²/m 2,01 As = 7,22 cm²/m 7,21</p> <p>Volume = 1,54 m³ 1,59 Formas = 13,31 m² 13,709 Aço: 72 kg 72,12</p>
<p align="center"><u>TCC - EXEMPLO 3</u></p> <p>Localização: TR ao 2P Lance: L1</p> <p align="center"><u>Parâmetros de cálculo</u></p> <p>fck = 30 MPa fyk = 500 MPa cobrimento = 2 cm espessura = 12 cm</p> <p align="center"><u>Carregamento e Esforços</u></p> <p>p1 = 10,42 kN/m p2 = 13,08 kN/m p3 = 19,59 kN/m</p> <p>Mk = 17,95 kN.m/m 17,94 R1 = 19,53 kN/m 19,53 R2 = 26,3 kN/m 26,30</p> <p align="center"><u>Dimensionamento da Armadura</u></p> <p>Asdist = 1,33 cm²/m 1,32 As = 6,64 cm²/m 6,63</p> <p>Volume = 0,57 m³ 0,573 Formas = 5,9 m² 5,896 Aço: 36 kg 34,9</p>	<p align="center"><u>TCC - EXEMPLO 3</u></p> <p>Localização: TR ao 2P Lance: L2</p> <p align="center"><u>Parâmetros de cálculo</u></p> <p>fck = 30 MPa fyk = 500 MPa cobrimento = 2 cm espessura = 12 cm</p> <p align="center"><u>Carregamento e Esforços</u></p> <p>p1 = 0 kN/m p2 = 13,08 kN/m p3 = 15,3 kN/m</p> <p>Mk = 9,03 kN.m/m 9,03 R1 = 11, kN/m 11 R2 = 16,62 kN/m 16,62</p> <p align="center"><u>Dimensionamento da Armadura</u></p> <p>Asdist = 1,04 cm²/m 1,02 As = 3,12 cm²/m 3,12</p> <p>Volume = 0,57 m³ 0,57 Formas = 5,9 m² 5,93 Aço: 17 kg 13,75</p>	<p align="center"><u>TCC - EXEMPLO 3</u></p> <p>Localização: TR ao 2P Lance: L3</p> <p align="center"><u>Parâmetros de cálculo</u></p> <p>fck = 30 MPa fyk = 600 MPa cobrimento = 2 cm espessura = 12 cm</p> <p align="center"><u>Carregamento e Esforços</u></p> <p>p1 = 0 kN/m p2 = 13,08 kN/m p3 = 0 kN/m</p> <p>Mk = 3,65 kN.m/m 3,65 R1 = 5,86 kN/m 5,855 R2 = 9,78 kN/m 9,775</p> <p align="center"><u>Dimensionamento da Armadura</u></p> <p>Asdist = ,90 cm²/m 0,90 As = 1,80 cm²/m 1,80</p> <p>Volume = 0,48 m³ 0,476 Formas = 4,93 m² 4,926 Aço: 7 kg 6,35</p>

Figura 46: resultados numéricos dos exemplos
(os valores em azul são provenientes do cálculo manual)

Em comparação com os cálculos manuais apresentados no Apêndice A desse trabalho e analisando-se as figuras 45 e 46, conclui-se desse teste que os resultados dos esforços, das áreas de aço principal e distribuída, dos comprimentos e das quantidades das armaduras, do volume de concreto e da área de formas estão corretos.

Nesse teste, pode-se notar também que, como o programa apenas detalha lances isolados, não ocorre a compatibilização das armaduras sobre os patamares intermediários nos exemplos 2 e 3. O programa detalhou a armadura de distribuição do lance nesses casos. Isso causou um erro no cálculo do peso da armadura, principalmente no exemplo 3.

Outro inconveniente visto nessa etapa de teste foi o fato de que a representação do corte do lance, apresentado na figura 45, não considera a escala, o sentido do lance e a quantidade de degraus, e isso, pode ocasionar enganos durante o projeto.

Com relação às verificações, o programa apresentou a mesma precisão nos resultados que apresentou para as áreas de aço. Constatou-se que na dispensa de armadura para força cortante o V_{sd} apresentou valores sempre abaixo do V_{rd1} e, portanto, verificou-se nos três exemplos. Com relação à ancoragem nos apoios, diferentemente da ancoragem no detalhe especial entre patamar e o trecho com degraus, constatou-se sempre o comprimento mínimo de ancoragem.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste capítulo é proceder a uma análise final do programa e do trabalho de diplomação como um todo, tecendo as considerações finais quanto à finalidade desses.

O objetivo do trabalho – o desenvolvimento de uma ferramenta computacional em *Visual Basic* que auxilie o engenheiro durante o projeto de escadas de concreto armado – foi alcançado. O programa proposto permite ao engenheiro, para cada lance – depois de definido os lances que compõem a escada – determinar a geometria do lance, compor as cargas atuantes sobre os trechos do lance, determinar as características dos materiais usados no dimensionamento, fazer o dimensionamento da área de aço na laje partindo de uma determinada espessura, obter uma memória de cálculo e uma saída impressa do detalhamento do lance com os quantitativos de materiais.

Além disso, o programa foi concebido e estruturado de modo a ser compatível com escritórios de cálculo estrutural. Para tanto, o programa possui uma interface intuitiva e auto-explicativa com recursos de saída de dados em formatos de texto e gráfica, recursos de ajuda ao usuário e teclas de atalho.

Nos três exemplos de teste, cujos resultados convergiram para os resultados do cálculo manual, o programa demonstrou-se eficaz, salvo o problema de compatibilização das armaduras em patamares intermediários de lances paralelos e perpendiculares. Nesse caso, o usuário terá de desconsiderar as posições detalhadas pelo programa nesses trechos.

Constatou-se também que, apesar do programa apresentar rotinas que impeçam algumas entradas de dados errôneas, é necessário que o usuário saiba o que está fazendo para poder conferir os resultados que o programa gera. Neste aspecto, o processo descrito nesse trabalho e as referências apresentadas são de valiosa leitura para o uso do programa.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, J. M. **Curso de concreto armado**. 2. ed. Rio Grande: Dunas, 2003a. v. 4.

_____. **Curso de concreto armado**. 2. ed. Rio Grande: Dunas, 2003b. v. 2.

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

_____. **NBR 9077**: saída de emergência em edifícios. Rio de Janeiro, 1993.

_____. **NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto – procedimento. Rio de Janeiro, 2007a.

_____. **NBR 9050**: acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 7480**: aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado – especificações. Rio de Janeiro, 2007b.

CAMPOS FILHO, A. **Projeto de Lajes Maciças de Concreto Armado**. Porto Alegre: DECIV/UFRGS, 2008a. Apostila da disciplina ENG 01112 – UFRGS. Disponível em <<http://chasqueweb.ufrgs.br/~americo/eng01112/>>. Acesso em 24/03/2011.

_____. **Projeto de Escadas de Concreto Armado**. Porto Alegre: DECIV/UFRGS, 2008b. Apostila da disciplina ENG 01112 – UFRGS. Disponível em <<http://chasqueweb.ufrgs.br/~americo/eng01112>>. Acesso em 24/03/2011.

CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO FILHO, J. R. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado**: segundo a NBR 6118:2003. 3. ed. São Carlos: EdUFCar, 2009.

FUSCO, P. B. **Técnica de Armar as Estruturas de Concreto**. São Paulo: Pini, 1995.

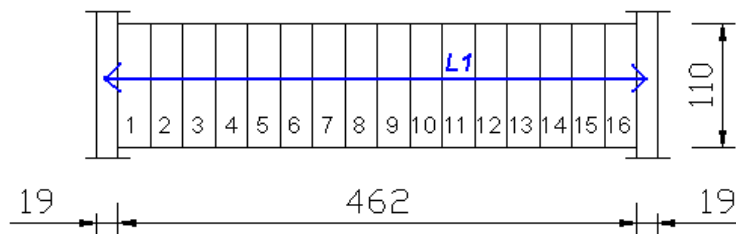
GUERRIN, A. **Tratado de concreto armado**. Tradução de Carlos Antonio Lauand. São Paulo: Hemus, 1990. v. 3.

PORTO ALEGRE. **Lei Complementar n. 284**, de 27 de outubro de 1992. Institui o Código de Edificações de Porto Alegre e dá outras providências. 8. ed. Porto Alegre: Corag, 2006.

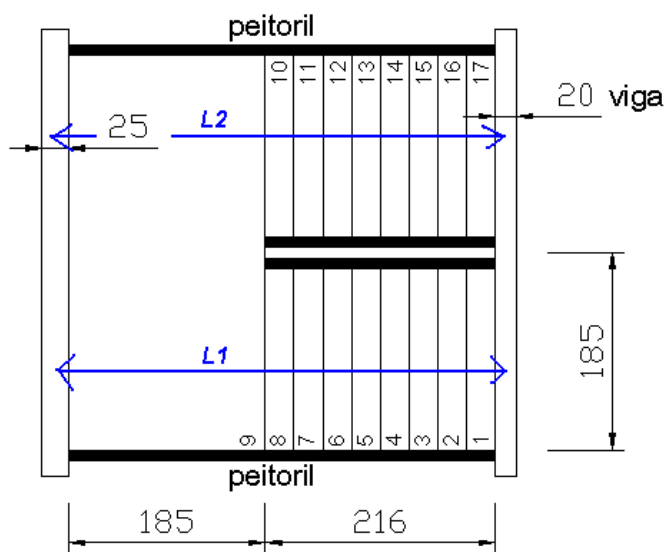
ROCHA, A. M. **Curso prático de concreto armado**. 5. ed. Rio de Janeiro: Científica, 1969. v. 3.

APÊNDICE A

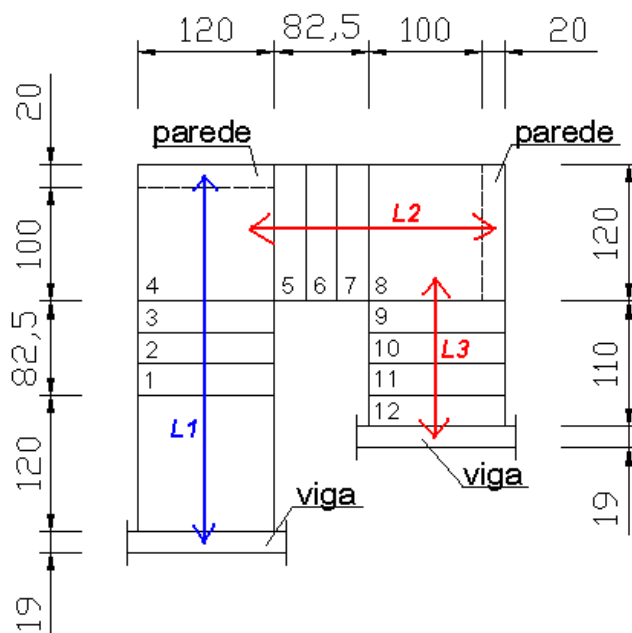
Cálculo manual das escadas usadas para o teste do programa

EXEMPLO 1

C35
CA50
 $e = 17.06 \text{ cm}$
 $b = 28.9 \text{ cm}$
 $h = 15 \text{ cm}$
Classe Agressividade I

**EXEMPLO 2**

C50
CA50
 $e = 19 \text{ cm}$
 $b = 27 \text{ cm}$
 $h = 14 \text{ cm}$
Classe Agressividade I

**EXEMPLO 3**

C30
CA50
 $e = 17.5 \text{ cm}$
 $b = 27.5 \text{ cm}$
 $h = 12 \text{ cm}$
Classe Agressividade I

EXEMPLO 1

DETERMINAÇÃO DA ESPESSURA DO LANCE

$$L = \frac{0,19}{2} + 16 \cdot 0,289 + \frac{0,19}{2} = 4,814 \text{ m}$$

Como $4 < L < 5$, pode-se adotar inicialmente uma espessura de $h = 14 \text{ cm}$.

COMPOSIÇÃO DE CARGAS SOBRE O LANCE (VÃO INCLINADO)

$$\alpha = \arctg\left(\frac{e}{b}\right) = \arctg\left(\frac{17,06}{28,9}\right) = 30,5538^\circ$$

$$\text{Peso Próprio} = \frac{h}{\cos \alpha} \cdot \gamma_{ca} + \frac{e}{2} \cdot \gamma_{cs} = \frac{0,14}{\cos \alpha} \cdot 25 + \frac{0,1706}{2} \cdot 24 = 6,11 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2}$$

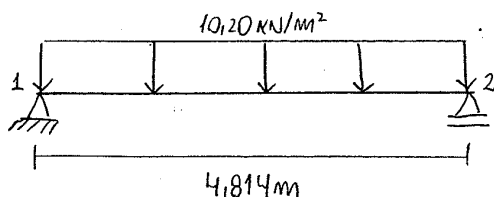
$$\text{Reboco (1cm; argamassa de cal, cimento e areia)} = 0,19 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Revestimento (5cm; lajota cerâmica)} = 18 \cdot 0,05 = 0,90 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{Carga Acidental (com acesso público)} = 3 \text{ KN/m}^2$$

$$p_{\text{total}} = 6,11 + 0,19 + 0,90 + 3 = 10,20 \text{ KN/m}^2$$

MODELO MATEMÁTICO: REAÇÕES e ESFORÇOS



$$\sum M_1 = 0 \therefore R_2 \cdot 4,814 - 10,20 \cdot \frac{4,814^2}{2} = 0$$

$$R_2 = 24,55 \text{ KN/m}$$

$$\sum f_y = 0 \therefore R_1 + R_2 = 10,20 \cdot 4,814$$

$$R_1 = 24,55 \text{ KN/m}$$

$$M_K = 10,20 \cdot (4,814)^2 / 8 = 29,5476 \text{ KNm/m}$$

CALCULO DAS AREAS DE AÇO NO LANCE

$$f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c = 35 / 1,4 = 25 \text{ MPa} = 2,5 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 500 / 1,15 = 434,8 \text{ MPa} = 43,48 \text{ kN/cm}^2$$

$$M_d = M_k \cdot \gamma_f = 29,5476 \cdot 1,4 = 41,366 \text{ kNm/m} = 4136,6 \text{ kNcm/m}$$

$$d = h - c - b_{it}/2 = 14 - 2 - 1,25/2 = 11,375 \text{ cm} \quad (\text{CAAI e } \phi 12,5)$$

$$x = 1,25 \cdot d \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \frac{M_d}{0,425 \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d^2}} \right]$$

$$x = 1,25 \cdot (11,375) \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4136,6}{0,425 \cdot 2,5 \cdot 100 \cdot 11,375^2}} \right] = 2,33 \text{ cm}$$

$$x_{lim} = \frac{0,0035 \cdot d}{\frac{f_{yd}}{E_s} + 0,0035} = \frac{0,0035 \cdot 11,375}{\frac{43,48}{21000} + 0,0035} = 7,147 \text{ cm}$$

Como $x < x_{lim}$ verifica-se o uso da armadura simples.

$$A_s = \frac{0,68 \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot x}{f_{yd}} = \frac{0,68 \cdot 2,5 \cdot 100 \cdot 2,33}{43,48} = 9,11 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\rho_{min} = \text{MAIOR} \left(\frac{0,0035 f_{cd}}{f_{yd}} ; 0,15\% \right) = \text{MAIOR} \left(\frac{0,0035 \cdot 2,5}{43,48} ; 0,15\% \right) = 0,2\%$$

$$A_{smin} = \rho_{min} \cdot b \cdot h = 100 \cdot 0,2\% \cdot 14 = 2,80 \text{ cm}^2/\text{m} < A_s$$

$$A_{sdist} = \text{MAIOR} \left(\frac{A_s}{5} ; 0,9 \text{ cm}^2/\text{m} ; \frac{A_{smin}}{2} \right) = \text{MAIOR} (1,82 ; 0,9 ; 1,4) = 1,82 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

$$\text{Portanto tem-se: } \begin{cases} A_s = 9,11 \text{ cm}^2/\text{m} \Rightarrow \phi 12,5 \text{ C/13 } (9,44 \text{ cm}^2/\text{m}) \\ A_{sdist} = 1,82 \text{ cm}^2/\text{m} \Rightarrow \phi 5 \text{ C/10 } (1,96 \text{ cm}^2/\text{m}) \end{cases}$$

VERIFICAÇÃO DA DISPENSA DE ARMADURA DE CISALHAMENTO

$$f_{ctm} = 0,3 \cdot f_{ck}^{2/3} = 0,3 \cdot (35)^{2/3} = 3,209 \text{ MPa}$$

$$f_{ctk,inf} = 0,7 \cdot f_{ctm} = 0,7 \cdot 3,209 = 2,2463 \text{ MPa}$$

$$f_{ctd} = f_{ctk,inf} / \gamma_c = 2,2463 / 1,4 = 1,604 \text{ MPa} = 0,1604 \text{ KN/cm}^2$$

$$\tau_{rd} = 0,25 \cdot f_{ctd} = 0,25 \cdot 0,1604 = 0,0401 \text{ KN/cm}^2$$

$$K = 1,6 - d = 1,6 - 0,11375 = 1,48 > 1 \quad \therefore K = 1,48$$

$$\rho_1 = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d} = \frac{9,44}{100 \cdot 11,375} = 0,0082989 < 0,02 \quad \therefore \rho_1 = 0,0082989$$

$$V_{rd1} = \tau_{rd} \cdot K \cdot (1,2 + 40 \cdot \rho_1) \cdot b_w \cdot d$$

$$V_{rd1} = 0,401 \cdot 1,48 \cdot (1,2 + 40 \cdot 0,0082989) \cdot 100 \cdot 11,375 = 103,419 \text{ KN/m}$$

$$V_{x_{\max}} = V_{rd1} / \gamma_f = 103,419 / 1,4 = 73,87 \text{ KN/m} > R_1 \text{ e } R_2 \text{ e portanto}$$

pode-se dispensar a armadura de cisalhamento.

VERIFICAÇÃO DA ANCORAGEM NOS APOIOS EXTREMOS

$$f_{bd} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,604 = 3,609 \text{ MPa}$$

$$l_b = \frac{\sigma}{4} \cdot \frac{F_{yd}}{f_{bd}} = \frac{\sigma}{4} \cdot \frac{434,8}{3,609} = 30,11 \phi$$

$$A_{scal,c1} = A_{scal,c2} = \frac{\sigma_l}{d} \cdot \frac{V_d}{f_{yd}} = \frac{1,5 \phi}{\phi} \cdot \frac{24,55 \cdot 1,4}{43,48} = 1,186 \text{ cm}^2/\text{m}$$

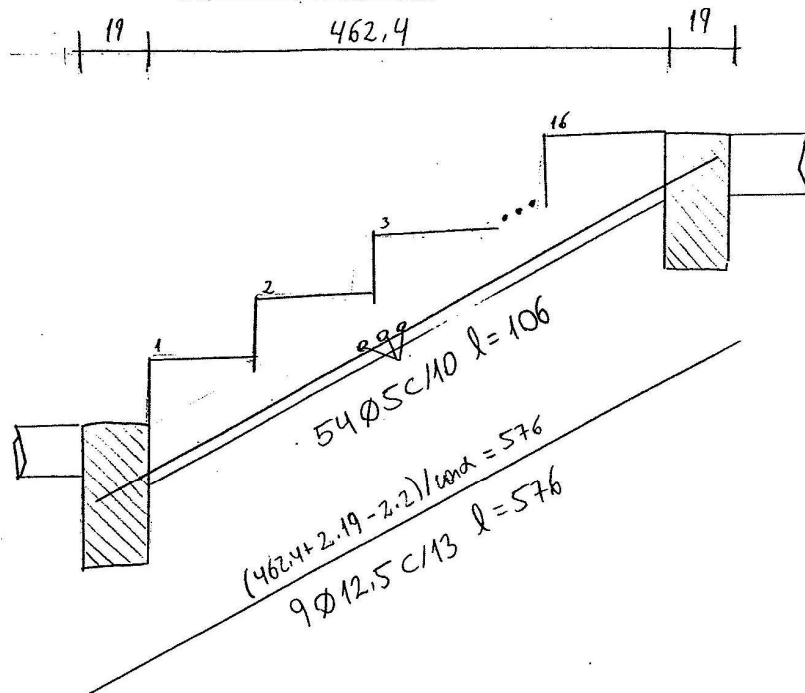
$$A_{sef,c1} = A_{sef,c2} = 9,435 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$l_{bmec,1} = l_{bmec,2} = \alpha \cdot l_b \cdot \frac{A_{scal}}{A_{sef}} = 1 \cdot 30,11 \cdot (1,25) \cdot \frac{1,186}{9,435} = 4,73 \text{ cm}$$

$$l_{bmin} = \text{MAIOR} (0,3 l_b; 10 \phi; 10 \text{ cm}) = 12,5 \text{ cm} \quad \therefore l_{bmec} = 12,5 \text{ cm}$$

$$l_{bd,ap} = (19 - 2) / \cos \alpha = 19,74 \text{ cm} \quad \therefore \text{ANCORAGEM ESTÁ OK}$$

DETALHAMENTO DO LANCE



$$\text{VOLUME: } \left(\frac{4,624}{\cos \alpha} \cdot 0,14 + \frac{0,1706 \cdot 0,289 \cdot 17}{2} \right) \cdot 1,10 = 1,2878 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{ÁREA FORMAS: } & \frac{0,14 \cdot 4,624}{\cos \alpha} \cdot 2 + 17 \cdot \frac{0,1706 \cdot 0,289}{2} \cdot 2 + 1,1 \cdot 0,14 \cdot 2 + 1,1 \cdot 0,1706 \cdot 17 \\ & + \frac{4,624}{\cos \alpha} \cdot 1,1 = 11,74 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Peso Aço : } 9 \cdot 5,76 \cdot 0,963 + 54 \cdot 1,06 \cdot 0,154 = 58,73 \text{ Kg}$$

EXEMPLO 2

Algumas considerações

Esta é uma escada comporta por 2 lances paralelos. Como a geometria dos lances são iguais segue-se apenas o cálculo de um dos lances. Haverá diferença entre os lances no detalhamento das armaduras.

DETERMINAÇÃO DA ESPESSURA DO LANCE

$$L = \frac{0,25}{2} + 1,85 + 8 \cdot (0,27) + \frac{0,2}{2} = 4,235 \text{ m}$$

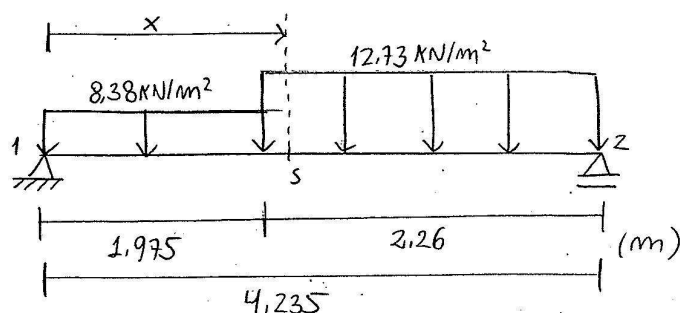
Como $4 < L < 5$, pode-se adotar inicialmente uma espessura de $h = 14 \text{ cm}$.

COMPOSIÇÃO DE CARGAS SOBRE O LANCE

$$\alpha = \arctg\left(\frac{e}{b}\right) = \arctg\left(\frac{19}{27}\right) = 35,1342^\circ$$

PATAMAR	TRECHO INCLINADO
PESO PRÓPRIO: $0,14 \cdot 25 = 3,5 \text{ KN/m}^2$	PESO PRÓPRIO: $\frac{0,14 \cdot 25}{\cos \alpha} + \frac{9,19 \cdot 24}{2} = 6,56 \text{ KN/m}^2$
PEITORIL: (1 LADO), $\frac{2}{1,5} = 1,33 \text{ KN/m}^2$	PEITORIL: (2 LADOS) $\frac{2 \cdot 2}{1,5} = 2,67 \text{ KN/m}^2$
REVESTIMENTO + REBOCO: $1,09 \text{ KN/m}^2$	REVESTIMENTO + REBOCO: $1,09 \text{ KN/m}^2$
ACIDENTAL: $2,5 \text{ KN/m}^2$	ACIDENTAL: $2,5 \text{ KN/m}^2$
$\Sigma \quad 8,42 \text{ KN/m}^2$	$\Sigma \quad 12,82 \text{ KN/m}^2$

MODELO MATEMÁTICO: REAÇÕES E ENFORÇOS



$$\sum M_1 = 0 \therefore R_2 \cdot 4,235 - 8,42 \cdot \frac{1,975^2}{2} - 12,82 \cdot 2,26 \cdot \left(1,975 + \frac{2,26}{2} \right) = 0$$

$$R_2 = 25,12 \text{ kN/m}$$

$$\sum F_y = 0 \therefore R_1 + R_2 = 8,42 \cdot 1,975 + 12,82 \cdot 2,26$$

$$R_1 = 20,48 \text{ kN/m}$$

Para uma determinada seção s com abscissa x tem-se:

$$V(x) = \begin{cases} 20,48 - 8,38 \cdot x & ; x \in [0; 1,975] \\ 20,48 - 8,38 \cdot 1,975 - 12,73(x - 1,975) & ; x \in [1,975; 4,235] \end{cases}$$

Portanto, o momento máximo será:

$$V(x_{\max}) = 0 \therefore x_{\max} = 2,2836 \text{ (p/ } x \in [1,975; 4,235])$$

$$M_K = +25,12 \cdot 1,9514 - 12,82 \cdot \frac{(1,9514)^2}{2} = 24,61 \text{ kNm/m}$$

Integrando-se o constante da direita para esquerda.

CALCULO DAS AREAS DE AÇO NO LANCE

$$f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c = 50 / 1,4 = 3,57 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 500 / 1,15 = 43,48 \text{ kN/cm}^2$$

$$M_d = M_k \cdot \gamma_f = 24,61 \cdot 1,4 = 3445,4 \text{ kN/cm}^2$$

$$d = h - c - \frac{b_{st}}{2} = 14 - 2 - \frac{1}{2} = 11,5 \text{ (CAAI: admitindo } \varnothing 10 \text{)}$$

$$x = 1,25 \cdot d \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{M_d}{0,425 \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d^2}} \right)$$

$$x = 1,25 \cdot 11,5 \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{3445,4}{0,425 \cdot 3,57 \cdot 100 \cdot (11,5)^2}} \right) = 1,292 \text{ cm}$$

$$x_{lim} = \frac{0,0035 \cdot d}{\frac{f_{yd}}{E_s} + 0,0035} = \frac{0,0035 \cdot (11,5)}{\frac{43,48}{21000} + 0,0035} = 7,23 \text{ cm}$$

Como $x < x_{lim}$ verifica-se o uso da armadura simples.

$$A_s = \frac{0,68 \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot x}{f_{yd}} = \frac{0,68 \cdot 3,57 \cdot 100 \cdot 2,33}{43,48} = 7,21 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\rho_{min} = \text{MAIOR} \left(\frac{0,0035 f_{cd}}{f_{yd}}; 0,15\% \right) = 0,2\%$$

$$A_{smin} = 100 \cdot 14 \cdot 0,2\% = 4,018 \text{ cm}^2/\text{m} < A_s$$

$$A_{sdist} = \text{MAIOR} \left(\frac{A_s}{5}; 0,9 \text{ cm}^2/\text{m}; \frac{A_{smin}}{2} \right) = 2,01 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\text{Portanto tem-se: } \begin{cases} A_s = 7,21 \text{ cm}^2/\text{m} \Rightarrow \varnothing 10 \text{ c}/10 (7,85 \text{ cm}^2/\text{m}) \\ A_{sdist} = 2,01 \text{ cm}^2/\text{m} \Rightarrow \varnothing 5 \text{ c}/9 (2,18 \text{ cm}^2/\text{m}) \end{cases}$$

VERIFICAÇÃO DA DISPENSA DE ARMADURA DE CISCALHAMENTO

$$f_{ctm} = 0,3 \cdot f_{cr}^{2/3} = 0,3 \cdot (50)^{2/3} = 4,071 \text{ MPa}$$

$$f_{ctk,inf} = 0,7 \cdot f_{ctm} = 0,7 \cdot 4,071 = 2,849 \text{ MPa}$$

$$f_{ctd} = f_{ctk,inf} / \gamma_c = 2,849 / 1,4 = 2,0355 \text{ MPa}$$

$$\bar{z}_{rd} = 0,25 \cdot f_{ctd} = 0,25 \cdot 2,0355 = 0,5088 \text{ MPa}$$

$$K = 1,6 - 0,115 = 1,485 > 1 \quad \therefore K = 1,485$$

$$\rho_1 = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d} = \frac{7,85}{100 \cdot 115} = 0,0068 < 0,02 \quad \therefore \rho_1 = 0,0068$$

$$V_{rd1} = \bar{z}_{rd} \cdot K \cdot (1,2 + 40 \cdot \rho_1) \cdot b_w \cdot d$$

$$V_{rd1} = 0,5088 \cdot 1,485 \cdot (1,2 + 40 \cdot 0,0068) \cdot 100 \cdot 115 = 127,90 \text{ kN/m}$$

$V_{kmax} = V_{rd1} / \gamma_F = 91,357 \text{ kN/m} \gg R_1 \text{ e } R_2$ e portanto po-
de-se dispensar a armadura de cisalhamento.

VERIFICAÇÃO DA ANCORAGEM

$$f_{bd} = M_1 \cdot M_2 \cdot M_3 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2,0355 = 4,5798 \text{ MPa}$$

$$A_{salc1} = \frac{1,5 \cdot (25,12 \cdot 1,4)}{43,48} = 1,2132 \text{ cm}^2/\text{m} \text{ (apoio inferior)}$$

$$A_{salc2} = \frac{1,5 \cdot (20,48 \cdot 1,4)}{43,48} = 0,9891 \text{ cm}^2/\text{m} \text{ (apoio superior)}$$

$$A_{salc3} = 7,21 \text{ cm}^2/\text{m} \text{ (ancoragem no detalhe especial)}$$

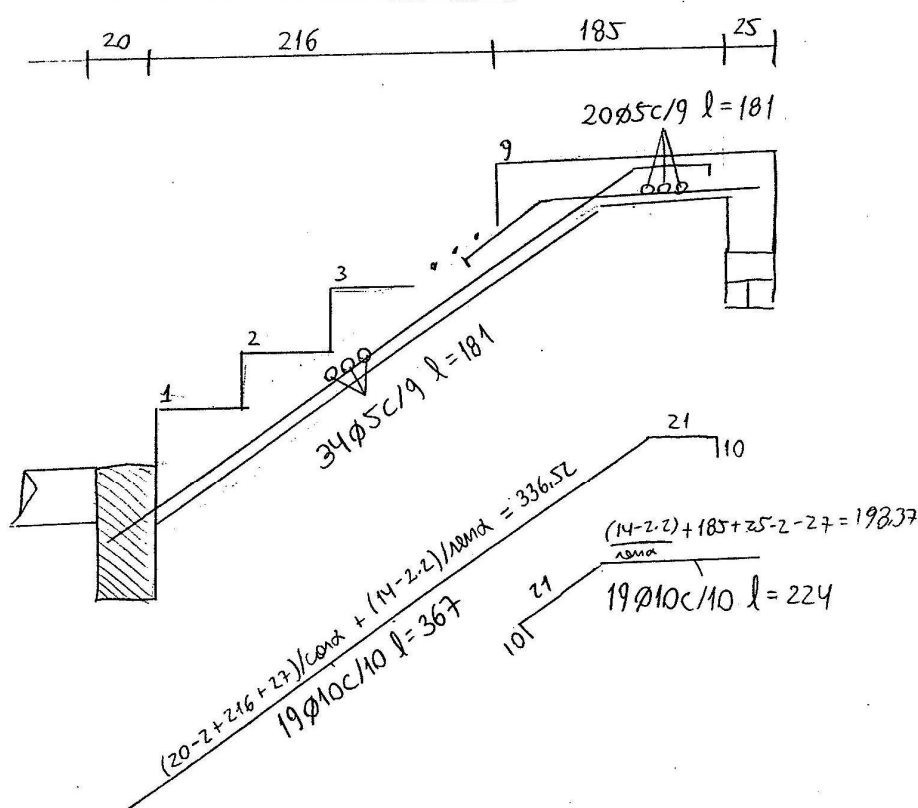
$$l_b = \frac{\sigma}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = \frac{\sigma}{4} \cdot \frac{434,8}{4,5798} = 23,73 \sigma$$

$$l_{b_{mec1}} = 1 \cdot 23,73 \cdot (1) \cdot \frac{1,2132}{7,85} = 3,66 \text{ cm}; l_{b_{min}} = 10 \text{ cm}$$

$$l_{b_{mec2}} = 1 \cdot 23,73 \cdot (1) \cdot \frac{0,9891}{7,85} = 2,99 \text{ cm}; l_{b_{min}} = 10 \text{ cm}$$

$$l_{b_{mec3}} = 1 \cdot 23,73 \cdot (1) \cdot \frac{7,21}{7,85} = 21,79 \text{ cm}; l_{b_{min}} = 10 \text{ cm}$$

DETALHAMENTO DO LANCE L1

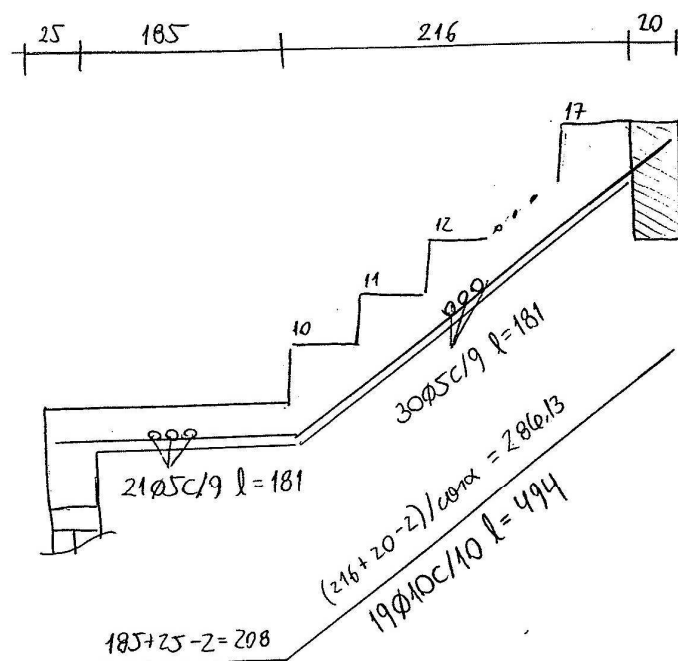


$$\text{VOLUME: } \frac{2,16 \cdot 0,14 \cdot 1,85}{\cos \alpha} + \frac{0,27 \cdot 0,19 \cdot 9 \cdot 1,85}{2} + 1,85 \cdot 0,14 \cdot 1,85 = 1,59 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{ÁREA FORMAS: } & \frac{2,16 \cdot 0,14 \cdot 2}{\cos \alpha} + \frac{0,27 \cdot 0,19 \cdot 9}{2} + \frac{2,16 \cdot 1,85}{\cos \alpha} + 0,19 \cdot 9 \cdot 1,85 \\ & + 1,85 \cdot 0,14 \cdot 2 + 1,85 \cdot 1,85 + 0,14 \cdot 1,85 \cdot 2 = 13,709 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Peso de Aço: } & 35 \cdot 181 \cdot 0,154 + 20 \cdot 181 \cdot 0,154 + 19 \cdot 367 \cdot 0,617 + 19 \cdot 224 \cdot 0,617 \\ & = 84,61 \text{ kg} \end{aligned}$$

DETACHAMENTO DO LANCE L2



Volume: Igual ao do lance L1 = $1,59 \text{ m}^3$

Área de Formas: Igual ao do lance L1 = $13,709 \text{ m}^2$

Peso do Aço: $19 \cdot 4,94 \cdot 0,617 + 51 \cdot 1,81 \cdot 0,154 = 72,12 \text{ kg}$

EXEMPLO 3

Algumas considerações

Neste exemplo tem-se uma escada composta por três lances perpendiculares. Sendo que o primeiro lance é principal e os outros dois são lances secundários. Devido ao lance L3 se apoiar no lance L2 e este se apoiar no lance L1 resolve-se primeiro o lance L3, depois o L2 e por fim o L1.

DETERMINAÇÃO DA ESPESSURA DOS LANCES DA ESCADA

Como o maior comprimento entre os lances será o dos lances $L1 = L2 = 1,20 + 0,825 + 1 + 0,2/2 + 0,19/2 = 3,22m$ será adotado um $h = 12cm$ para todos os lances.

LANCE 3

COMPOSIÇÃO DAS CARGAS DO LANCE L3

$$\alpha = \arctg\left(\frac{e}{a}\right) = \arctg\left(\frac{17,5}{27,5}\right) = 32,47119^\circ$$

$$\text{Peso próprio: } \frac{0,12}{\cos \alpha} \cdot 25 + \frac{0,175 \cdot 24}{2} = 5,66 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Reboco (1cm; argamassa cal, cimento, areia)} = 0,19 \text{ kN/m}^2$$

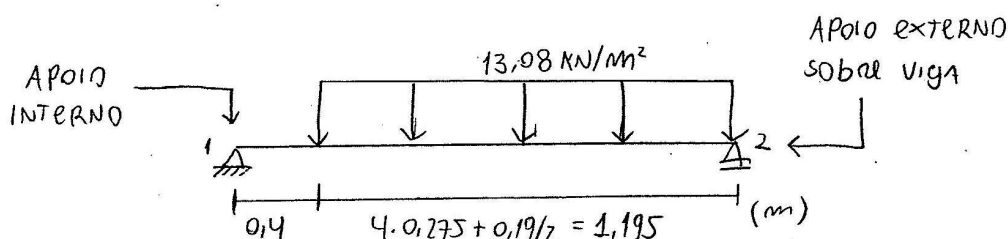
$$\text{Revestimento (5cm; lajota cerâmica)} = 18 \cdot 0,05 = 0,9 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Parapeto (2 kN/m cada lado)} = 2/1,2 \cdot 2 = 3,33 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Carga Acidental (com ouso ao público)} = 3 \text{ kN/m}^2$$

$$p_{\text{TOTAL}} = 5,66 + 0,19 + 0,9 + 3,33 + 3 = 13,08 \text{ kN/m}^2$$

MODELO MATEMÁTICO: REAÇÕES E EFORÇOS DO LANCE L3



$$\sum M_1 = 0 \therefore R_2 \cdot 1,595 - 13,08 \cdot 1,195 \cdot \left(\frac{1,195}{2} + 0,4 \right) = 0$$

$$R_2 = 9,775 \text{ kN/m}$$

$$\sum F_y = 0 \therefore R_1 + R_2 = 13,08 \cdot 1,195$$

$$R_1 = 5,855 \text{ kN/m}$$

Para determinar o momento máximo tem-se que da direita para a esquerda:

$$V(x_{\text{max}}) = R_2 - 13,08 \cdot x_{\text{max}} = 0 \therefore x_{\text{max}} = 0,747 \text{ m}$$

$$M_x = 9,775 \cdot 0,747 - 13,08 \cdot \frac{0,747^2}{2} = 3,65 \text{ kNm/m}$$

Tem-se um momento pequeno e provavelmente a armadura no vão resultará a mínima.

CALCULO DAS AREAS DE AÇO NO LANCE L3

$$f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c = 30 / 1,4 = 21,42 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 500 / 1,15 = 434,8 \text{ MPa}$$

$$M_d = M_k \cdot \gamma_f = 3,65 \cdot 1,4 = 5,11 \text{ kNm/m}$$

$$d = h - c - b_{it}/2 = 12 - 2 - 0,5/2 = 9,75 \text{ cm}$$

$$x = 1,25 \cdot (9,75) \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \frac{511}{0,425 \cdot 21,42 \cdot 100 \cdot 9,75^2}} \right] = 0,365 \text{ cm}$$

$$x_{lim} = \frac{0,0035 \cdot d}{\frac{f_{yd}}{E_s} + 0,0035} = \frac{0,0035 \cdot 9,75}{\frac{434,8}{21000} + 0,0035} = 6,12 \text{ cm}$$

Como $x < x_{lim}$ verifica-se a armadura simples.

$$A_s = \frac{0,68 \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot x}{f_{yd}} = \frac{0,68 \cdot 21,42 \cdot 100 \cdot 0,365}{434,8} = 1,22 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\rho_{min} = \text{MAIOR} \left(\frac{0,035 f_{cd}}{f_{yd}} ; 0,15\% \right) = 0,0017 = 0,17\%$$

$$A_{smin} = \rho_{min} \cdot b_w \cdot d = 0,17\% \cdot 100 \cdot 12 = 2,04 \text{ cm}^2/\text{m} > A_s$$

Escolhendo bitola $\varnothing 5$, tem-se que recalcular pois muda o f_{yk} de 500 MPa para 600 MPa:

$$f_{yd} = 52,17 \text{ kN/cm}^2$$

$$x = 0,3654 \text{ cm}$$

$$\rho_{min} = 0,15\%$$

$$A_s = 1,01 < A_{smin} = 1,80 \text{ cm}^2/\text{m} \therefore A_s = 1,80 \text{ cm}^2/\text{m} \left(\begin{array}{l} \varnothing 5C/10 \\ 1,96 \text{ cm}^2/\text{m} \end{array} \right)$$

$$A_{sint} = \text{MAIOR} \left(\frac{1,80}{5} ; 0,9 ; \frac{1,80}{2} \right) = 0,9 \text{ cm}^2/\text{m} \left(\varnothing 5C/20 \right)$$

VERIFICAÇÃO DA DISPENSA DE ARMADURA DE CISCALHAMENTO

$$f_{ctm} = 0,3 \cdot f_{cr}^{2/3} = 0,3 \cdot (30)^{2/3} = 2,896 \text{ MPa}$$

$$f_{ctk,inf} = 0,7 \cdot f_{ctm} = 0,7 \cdot 2,896 = 2,027 \text{ MPa}$$

$$f_{ctd} = f_{ctk,inf} / \gamma_c = 2,027 / 1,4 = 1,448 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{rd} = 0,25 \cdot f_{ctd} = 0,25 \cdot 1,448 = 0,362 \text{ MPa} = 0,0362 \text{ kN/cm}^2$$

$$K = 1,6 - d = 1,6 - 0,975 = 1,5025 > 1 \therefore K = 1,5025$$

$$\rho_1 = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d} = \frac{1,96}{100 \cdot 9,75} = 0,002 < 0,02 \therefore \rho_1 = 0,002$$

$$\begin{aligned} V_{rd1} &= \sigma_{rd} \cdot K \cdot (1,2 + 40 \cdot \rho_1) \cdot b_w \cdot d \\ &= 0,0362 \cdot 1,5025 \cdot (1,2 + 40 \cdot 0,002) \cdot 100 \cdot 9,75 \\ &= 67,87 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$V_{rxm} = 67,87 / 1,4 = 48,48 \text{ kN/m} \gg R_1 \text{ e } R_2 \text{ e portanto,}$
pode-se dispensar a armadura de cisalhamento.

VERIFICAÇÃO DA ANCORAGEM

$$f_{bd} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot f_{ctd} = 1,4 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,448 = 2,0272 \text{ MPa}$$

$$l_b = \frac{\sigma}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = \frac{\sigma}{4} \cdot \frac{52,17}{2,0272} = 64,33 \phi$$

$$A_{scalc2} = \frac{\alpha \cdot V_d}{\sigma \cdot f_{yd}} = \frac{1,5 \cdot (9,775 \cdot 1,4)}{43,48} = 0,3934 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{sefet2} = 1,96 \text{ cm}^2/\text{m}$$

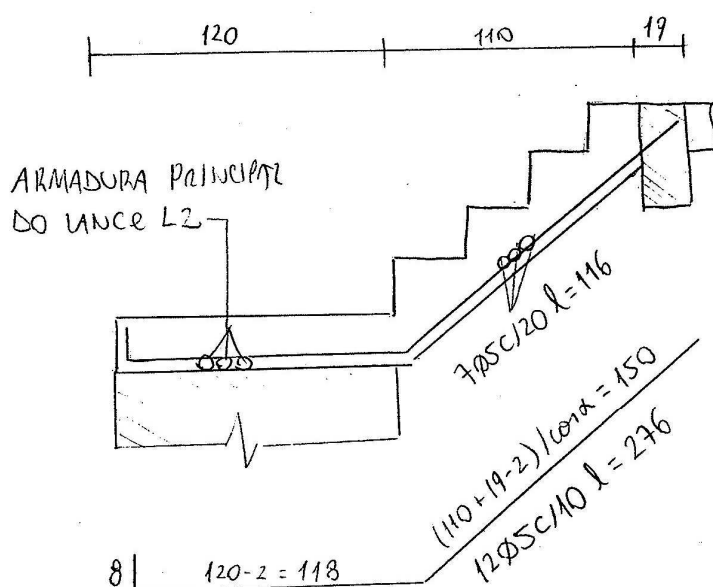
$$l_{bmec2} = \alpha \cdot l_b \cdot \frac{A_{scal2}}{A_{sefet}} = 1 \cdot 64,33 \cdot (0,5) \cdot \frac{0,3934}{1,96} = 6,45 \text{ cm}$$

$$l_{bmim} = \text{MAIOR} (0,3 l_b; 10 \phi; 10 \text{ cm}) = 10 \text{ cm}$$

$l_{dip_2} = (19-2)/\cos\alpha = 20,15 > l_{bme_2}$; portanto a ancoragem está passando.

O apoio 1 está ancorado sobre o lance principal. O ferro todo o comprimento do lance principal, o que será maior que o l_{bme_1} .

DETALHAMENTO DO LANCE L3



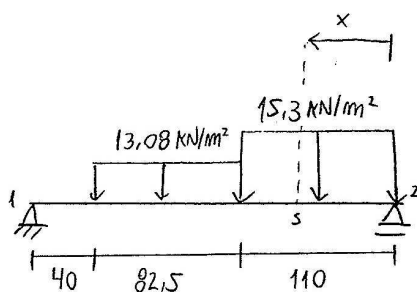
$$\text{VOLUME: } \frac{1,10}{\cos\alpha} \cdot 0,12 \cdot 1,20 + \frac{0,175 \cdot 0,275 \cdot 4}{2} \cdot 1,20 + 1,20 \cdot 0,12 \cdot 1,20 = 0,476 \text{ m}^3$$

$$\text{ÁREA FORMAS: } \left(\frac{1,10}{\cos\alpha} \cdot 0,12 + \frac{0,175 \cdot 0,275 \cdot 4}{2} \right) \cdot 2 + \frac{1,10}{\cos\alpha} \cdot 1,20 + 0,175 \cdot 4 \cdot 1,20 + 1,20 \cdot 0,12 \cdot 2 + 1,20 \cdot 1,20 + 1,20 \cdot 0,12 \cdot 2 = 4,926 \text{ m}^2$$

$$\text{Peso Aço: } (12 \cdot 2,76 + 7 \cdot 1,16) \cdot 0,154 = 6,35 \text{ kg}$$

LANCE 2COMPOSIÇÃO DE CARGAS

TRECHO INCLINADO	PATAMAR SUPERIOR
PESO PRÓPRIO: $\frac{0,12 \cdot 25 + 0,175 \cdot 24}{2} = 5,66 \text{ KN/m}^2$ <small>COISA</small>	PESO PRÓPRIO: $0,12 \cdot 25 = 3 \text{ KN/m}^2$
PEITORIL: (2 KN/m - 2 LADOS) $3,33 \text{ KN/m}^2$	PEITORIL: (2 KN/m - 2 LADOS) $3,33 \text{ KN/m}^2$
REVEST. + REBOCO: $1,09 \text{ KN/m}^2$	REVEST. + REBOCO: $1,09 \text{ KN/m}^2$
ACIDENTAL: 3 KN/m^2	ACIDENTAL: 3 KN/m^2
—	REAÇÃO DO LANCE L3: $\frac{5,86}{1,20} = 4,88 \text{ KN/m}^2$
Σ 13,08 KN/m ²	Σ 15,3 KN/m ²

MODELO MATEMÁTICO: REAÇÕES e ENFORÇOS DO LANCE L2

$$\sum M_1 = 0 \therefore R_2 \cdot 2,325 - 13,08 \cdot 0,825 \cdot \left(0,4 + \frac{0,825}{2}\right)$$

$$- 15,3 \cdot 1,1 \cdot \left(0,4 + 0,825 + \frac{1,1}{2}\right) = 0$$

$$R_2 = 16,62 \text{ KN/m}$$

$$\sum f_y = 0 \therefore R_1 + R_2 = 13,08 \cdot 0,825 + 15,3 \cdot 1,1$$

$$R_1 = 11 \text{ KN/m}$$

$$V(x_{\max}) = 16,62 - 15,3 \cdot x = 0 \therefore x_{\max} = 1,086 \text{ m}$$

$$M_K = 16,62 \cdot 1,086 - 15,3 \cdot \frac{1,086^2}{2} = 9,03 \text{ KNm/m}$$

CALCULO DAS AREAS DE AÇO

$$M_d = M_k \cdot 1,4 = 9,03 \cdot 1,4 = 12,64 \text{ kNm/m}$$

$$d = h - c - b_1/2 = 12 - 2 - 0,5/2 = 9,75 \text{ (CAA I; Adotando } \phi 5)$$

$$x = 1,25 \cdot 9,75 \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \frac{1264}{0,425 \cdot 2,142 \cdot 100 \cdot 9,75^2}} \right] = 0,925 \text{ cm}$$

Como $x < x_{lim} = 6,12 \text{ cm}$ (VER LANCE L3), verifica-se a armadura simples.

$$A_s = \frac{0,68 \cdot 2,142 \cdot 100 \cdot 0,925}{43,48} = 3,10 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$p_{mim} = 0,17\% ; A_{smim} = 2,04 \text{ cm}^2/\text{m} < A_s.$$

Escolhendo bitola $\phi 6,3$ muda-se o valor do d . Recalculando tem-se:

$$d = 9,685$$

$$x = 0,931 \text{ cm}$$

$$A_s = 3,12 \text{ cm}^2/\text{m} \text{ (} \phi 6,3 \text{ c/9 ; } A_s = 3,46 \text{ cm}^2/\text{m} \text{)}$$

$$A_{sdint} = \text{MAIOR} \left(\frac{3,12}{5} ; 0,9 ; \frac{2,04}{2} \right) = 1,02 \text{ cm}^2/\text{m} \text{ (} \phi 5 \text{ c/18 ; } A_s = 1,09 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \text{)}$$

VERIFICAÇÃO DA DISPENSA DE ARMADURA DE CISAHAMENTO

$$k = 1,6 - d = 1,6 - 0,09685 = 1,503$$

$$p_1 = \frac{3,46}{100 \cdot 9,685} = 0,00357 < 0,02 \therefore p_1 = 0,00357$$

$$V_{nd1} = 0,0362 \cdot 1,503 \cdot (1,2 + 40 \cdot 0,00357) \cdot 100 \cdot 9,685 = 70,75 \text{ kN/m}$$

$V_{n\max} = 70,75/1,4 = 50,54 \text{ kN/m} \gg R_1 \text{ e } R_2$ e portanto pode-se dispensar a armadura de cruzamento.

VERIFICAÇÃO DA ANCORAGEM

$$f_{ctm} = 2,896 \text{ MPa}$$

$$f_{ctminf} = 2,027 \text{ MPa}$$

$$f_{ctd} = 1,448 \text{ MPa}$$

$$f_{bd} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,448 = 3,258 \text{ MPa}$$

$$l_b = \frac{\sigma}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = \frac{\sigma}{4} \cdot \frac{434,8}{3,258} = 33,36 \phi$$

$$A_{scal_{c2}} = \frac{1,5 \cdot (16,62 \cdot 1,4)}{43,48} = 0,80 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$l_{bmec_2} = \alpha \cdot l_b \cdot \frac{A_{scal_{c2}}}{A_{sef_{etz}}} = 1 \cdot 33,36 \cdot (0,63) \cdot \frac{0,80}{3,46} = 4,86 \text{ cm}$$

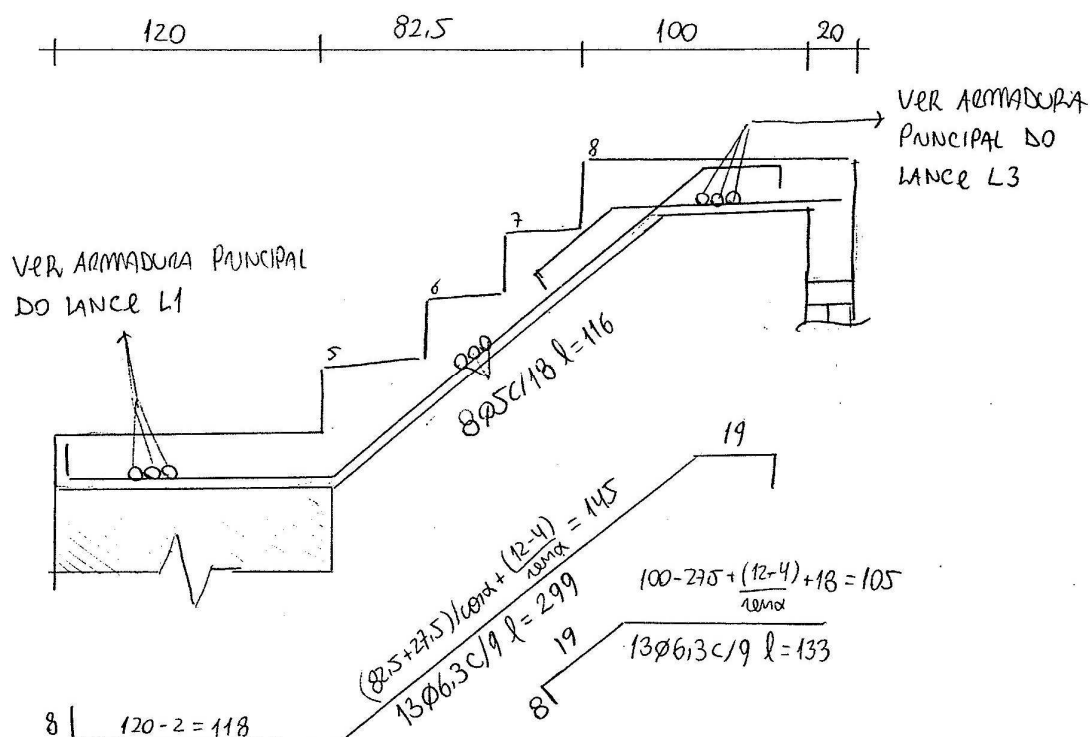
$$l_{bmin} = \text{MAIOR} (0,3 l_b ; 10 \phi ; 10 \text{ cm}) = 10 \text{ cm}$$

$$l_{bdiaP} = 20 - 2 = 18 \text{ cm} > l_{bmec_2}$$

Quanto à ancoragem no detalhe especial do patamar tem-se:

$$l_{bmec_3} = 1 \cdot 33,36 \cdot (0,63) \cdot \frac{3,12}{3,46} = 18,95 \text{ cm}$$

DETALHAMENTO DO LANCE L2



$$\text{VOLUME: } 0,12 \cdot 1,20 \cdot 1,20 + \frac{0,825}{\cos\alpha} \cdot 0,12 \cdot 1,20 + \frac{0,275 \cdot 0,175 \cdot 3 \cdot 1,20}{2} + 1,20^2 \cdot 0,12$$

$$= 0,57 \text{ m}^3$$

$$\text{ÁREA DE FORMAS: } 0,12 \cdot 1,20 \cdot 2 + 1,20 \cdot 1,20 + 1,20 \cdot 0,12 + \frac{0,825}{\cos\alpha} \cdot 0,12 \cdot 2$$

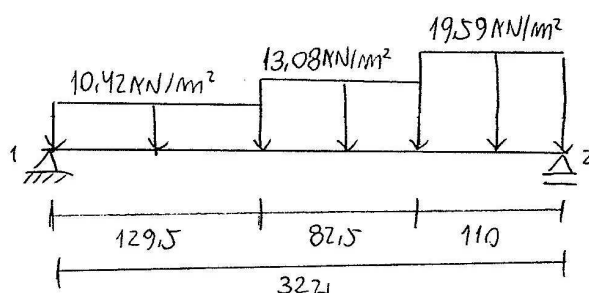
$$+ \frac{0,275 \cdot 0,175 \cdot 3 \cdot 2}{2} + 0,175 \cdot 1,20 \cdot 3 + 0,12 \cdot 1,20 \cdot 2$$

$$+ 1,20 \cdot 1,20 + 1,20 \cdot 0,12 + \frac{0,825}{\cos\alpha} \cdot 1,20 = 5,93 \text{ m}^2$$

$$\text{Peso de Aço: } 13 \cdot 2,99 \cdot 0,245 + 13 \cdot 1,33 \cdot 0,245 = 13,75 \text{ kg}$$

LANCE 1COMPOSIÇÃO DE CARGAS

TIPO	PATAMAR INFERIOR	TRECHO INCUNADO	PATAMAR SUPERIOR
PESO PRÓPRIO	3 KN/m ²	5,66 KN/m ²	3 KN/m ²
Reboco e REVESTIMENTO	1,09 KN/m ²	1,09 KN/m ²	1,09 KN/m ²
PEITORIL	3,33 KN/m ²	3,33 KN/m ²	3,33 KN/m ²
ACIDENTAL	3 KN/m ²	3 KN/m ²	3 KN/m ²
REAÇÃO DO LANCE LZ	—	—	$\frac{11}{1,20} = 9,17 \text{ KN/m}^2$
Σ	10,42 KN/m ²	13,08 KN/m ²	19,59 KN/m ²

MODELO DE CÁLCULO: REAÇÕES E EFORTOS

$$\sum M_1 = 0 \therefore R_2 \cdot 3,22 - 10,42 \cdot \frac{1,295^2}{2} - 13,08 \cdot 0,825 \cdot \left(1,295 + \frac{0,825}{2}\right) - 19,59 \cdot 1,10 \cdot \left(2,12 + \frac{1,10}{2}\right) = 0 \therefore R_2 = 26,30 \text{ KN/m}$$

$$\sum F_y = 0 \therefore R_1 + R_2 = 10,42 \cdot 1,295 + 13,08 \cdot 0,825 + 19,59 \cdot 1,10$$

$$R_1 = 19,53 \text{ KN/m}$$

Para o cálculo do momento máximo, da direita para a esquerda, considerando o ponto de contração nulo no trecho inclinado, tem-se:

$$V(x_{\max}) = 26,30 - 19,59 \cdot 1,1 - 13,08 \cdot x_{\max} = 0 \quad ; \quad x_{\max} = 0,36 \text{ cm}$$

$$M_K = 26,30 \cdot 1,46 - 19,59 \cdot 1,1 \cdot \left(\frac{1,1}{2} + 0,36 \right) - 13,08 \cdot \frac{0,36^2}{2} = 17,94 \text{ KN/m}^2$$

CALCULO DA AREA DE AÇO

$$f_{cd} = 2,142 \text{ KN/cm}^2$$

$$f_{yd} = 43,48 \text{ KN/cm}^2$$

$$M_d = 17,94 \cdot 1,4 = 2512 \text{ KNcm/m}$$

$$d = h - c - b_{it}/2 = 12 - 2 - 1/2 = 9,5 \text{ cm} \quad (\text{CAAI; adotando } \phi 10).$$

$$x = 1,25 \cdot 9,5 \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2512}{0,425 \cdot 2,142 \cdot 100 \cdot 9,5^2}} \right] = 1,98 \text{ cm}$$

$$x_{lim} = \frac{0,0035 \cdot 9,5}{\frac{43,48}{21000} + 0,0035} = 5,96 \text{ cm}$$

Como $x < x_{lim}$ verifica-se o uso de armadura simples.

$$A_s = \frac{0,68 \cdot 2,142 \cdot 100 \cdot 1,98}{43,48} = 6,63 \text{ cm}^2/\text{m} \quad \left(\begin{array}{l} \phi 10 \text{ C/11} \\ 7,14 \text{ cm}^2/\text{m} \end{array} \right)$$

$$\rho_{min} = 0,17\% ; A_{smin} = 1,615 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{sdist} = \text{MAIOR} \left(\frac{6,63}{5} ; 0,9 ; \frac{1,615}{2} \right) = 1,32 \text{ cm}^2/\text{m} \quad \left(\begin{array}{l} \phi 5 \text{ C/14} \\ 1,4 \text{ cm}^2/\text{m} \end{array} \right)$$

VERIFICAÇÃO DA DISPENSA DE ARMADURA DE CISALHAMENTO

$$f_{ctm} = 2,896 \text{ MPa}$$

$$f_{ctkmf} = 2,027 \text{ MPa}$$

$$f_{ctd} = 1,448 \text{ MPa}$$

$$\zeta_{xd} = 0,0362 \text{ KN/cm}^2$$

$$K = 1,6 - 0,095 = 1,505 > 1 \therefore K = 1,505$$

$$\beta_1 = \frac{7,14}{100 \cdot 9,5} = 0,00751 < 0,02 \therefore \beta_1 = 0,00751$$

$$V_{rd1} = 0,0362 \cdot 1,505 \cdot (1,2 + 40 \cdot 0,00751) \cdot 100 \cdot 9,5 = 77,66 \text{ KN/m}$$

$$V_{rmax} = 77,66 / 1,4 = 55,47 \text{ KN/m} \gg R_1 \text{ e } R_2 \text{ e portanto,}$$

pode-se dispensar a armadura de cisalhamento.

VERIFICAÇÃO DAS ANCORAGENS

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

$$l_b = \phi / 4 \cdot \frac{43,48}{3,258} = 33,36 \phi$$

$$A_{salc1} = \frac{1,5 \cdot (19,53 \cdot 1,4)}{43,48} = 0,94 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{salc2} = \frac{1,5 \cdot (26,30 \cdot 1,4)}{43,48} = 1,27 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{salc3} = 6,63 \text{ cm}^2/\text{m} ;$$

$$l_{bmec1} = 1 \cdot 33,36 \cdot (1) \cdot \frac{0,94}{7,14} = 4,39 \text{ cm} ; l_{min} = 10 \text{ cm} ; l_{disp1} = 17 \text{ (OK)}$$

$$l_{bmec2} = 1 \cdot 33,36 \cdot (1) \cdot \frac{1,27}{7,14} = 5,93 \text{ cm} ; l_{min} = 10 \text{ cm} ; l_{disp2} = 18 \text{ (OK)}$$

$$l_{bmec3} = 1 \cdot 33,36 \cdot (1) \cdot \frac{6,63}{7,14} = 30,9 \text{ cm} ;$$

DETALHAMENTO DO LANCE L1

