



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL



Nº 007

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL PARA
PROJETO E CÁLCULO DE ALVENARIA ESTRUTURAL**

ALEXANDER SOUZA GRAMA

**ENGENHARIA
CIVIL**

UBERLÂNDIA, 18 DE FEVEREIRO 2005

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL



Alexander Souza Grama

IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL PARA PROJETO E CÁLCULO DE ALVENARIA ESTRUTURAL

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos para a obtenção do título de **Mestre em Engenharia Civil**.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar Primo Agostinho

Uberlândia, 18 de fevereiro de 2005.

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborado pelo Sistema de Bibliotecas da UFU / Setor de Catalogação e Classificação

G745i Grama, Alexander Souza, 1976-
Implementação computacional para projeto e cálculo de alvenaria estrutural / Alexander Souza Grama - Uberlândia, 2005.
152p. : il.
Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar Primo Agostinho.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.
Inclui bibliografia.
1. Alvenaria – Teses. 2. Computação gráfica - Teses. 3. Engenharia Civil - Teses. I. Agostinho, Paulo Cesar Primo. II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

CDU: 624.012 (043.3)



ALUNO: Alexander Souza Grama

NÚMERO DE MATRÍCULA: 5022601-9

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Engenharia das Estruturas

Título da Dissertação:

“IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL PARA PROJETO E CÁLCULO DE ALVENARIA ESTRUTURAL”

ORIENTADOR: Prof. Dr. Paulo Cesar Primo Agostinho

A Dissertação foi **APROVADA** em sessão pública, realizada na Sala de Reuniões 1Y23, do Bloco Y, do Campus Santa Mônica, em 18 de fevereiro de 2005, às 08:00 horas, com a seguinte Banca Examinadora:

NOME

ASSINATURA

Prof. Dr. Paulo César Primo Agostinho - UFU _____

Prof^a. Dra. Maria Cristina Vidigal de Lima - UFU _____

Prof. Dr. Arquimedes Diógenes Ciloni - UFU _____

Prof. Dr. Jefferson Sidney Camacho - Unesp /Ilha Solteira _____

Uberlândia, 18 de fevereiro de 2005.

Em primeiro lugar a Deus, acima de tudo. Aos meus pais, por acreditarem sempre na minha vitória. À minha namorada Flavia pela compreensão nas horas de ausência e de nervosismo. Ao amigo Sérgio por estar sempre ao meu lado, com paciência e otimismo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por alimentar minha fé todos os dias da minha vida.

Ao meu orientador, Prof. Paulo Cesar, por acreditar no meu trabalho, orientando-me de maneira simples, direta e objetiva.

Ao Prof. Dr. João Fernando, pelas sugestões e pelo essencial material que disponibilizou.

Ao meu pai, por ensinar-me a trabalhar na Construção Civil, despertando meu interesse pela profissão e pela alvenaria estrutural. À minha mãe, por não medir esforços para apoiar-me nesta caminhada, desdobrando-se de todas as maneiras imagináveis para que eu chegasse até aqui.

Ao amigo David, por compreender a minha necessidade pessoal e profissional, apoiando-me durante todo o curso.

À minha namorada Flavia, pela compreensão nos momentos em que precisei estar ausente e pelo Amor e Dedicção com os quais sempre contei.

Ao amigo Sérgio, pelos ensinamentos, pelas horas incansáveis de trabalho ao meu lado, transmitindo-me todos os seus conhecimentos, sem os quais eu não teria realizado este trabalho.

Ao amigo Ednardo, pela nossa amizade. Ao amigo Franz Renán pelas sugestões e incentivo. Ao amigo André, pelas diversas vezes em que me acolheu em sua casa. Aos colegas de trabalho da CRIAR, pela paciência nos momentos de mau humor.

À Universidade Federal de Uberlândia e à Faculdade de Engenharia Civil, em especial à Sueli, que sempre se prontificou, atendendo meus pedidos.

GRAMA, A. S. Implementação computacional para projeto e cálculo de alvenaria estrutural. 152 p. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2005.

RESUMO

Este trabalho é o resultado da pesquisa a respeito dos principais parâmetros de Projeto e Cálculo da alvenaria estrutural. Essa pesquisa foi realizada para possibilitar o desenvolvimento de um programa computacional, denominado ALVCAD. Este programa facilita o trabalho do projetista, automatizando as principais rotinas de projeto e de cálculo em uma edificação construída em alvenaria estrutural não-armada. O ALVCAD foi desenvolvido em *Visual Basic*, uma linguagem de programação que possibilita a automatização de cálculos e ações gráficas dentro do AutoCAD. A interação com usuário é feita a partir de uma Barra de Menus, através da qual, utilizam-se várias janelas que orientam o usuário durante o desenvolvimento do projeto e do cálculo. Todas as rotinas são acessadas no Menu Principal, executando os seguintes procedimentos: são desenhadas e numeradas as paredes, com suas aberturas; são definidos os grupos verticais e horizontais de resistência; são avaliados os carregamentos vertical e horizontal; são processados os esforços e determinada a resistência mínima do bloco em cada pavimento; é realizada a verificação da estabilidade global da estrutura e finalmente são emitidos os resultados, com os desenhos em planta e em elevação de cada parede, além dos relatórios de informações gerais e de tensões atuantes. Os relatórios são construídos em planilhas do *Excel*, formatadas automaticamente pelo programa. Porém o usuário pode alterar a formatação, gravar e utilizar o arquivo como quiser. O ALVCAD limita-se ao cálculo de lajes retangulares e os deslocamentos calculados para a verificação da estabilidade global prevêem apenas a hipótese de translação (edifícios simétricos). No dimensionamento, consideram-se as prescrições da NBR 10837 (ABNT, 1989). Apesar de não dimensionar as armaduras, os esforços de tração são fornecidos.

Palavras-chave: alvenaria estrutural, automatização gráfica, dimensionamento, projeto, programação.

GRAMA, A. S. Computational implementation for project and design of the structural masonry. 152 pp. MSc Dissertation, College of Civil Engineering, Federal University of Uberlândia, 2005.

ABSTRACT

This work is the result of the research regarding the main parameters of Project and Design of the Structural Masonry. This research was made for the development of a computational program. This program, called ALVCAD, facilitates to the design, automatizing the main routines of Project and Design in a building constructed in Structural Masonry. The ALVCAD was developed in Visual Basic, a programming language that makes possible the automatization of calculations and graphical actions of the AutoCAD. The interaction with user is made from a Bar of Menus, through which, uses some windows that the user guides during the development of the project and the design. All the routines are had access in the Main Menu, executing the following procedures: the walls they are drawn and numbered, with its openings; the vertical and horizontal groups of resistance are defined; the vertical and horizontal loads are evaluated; the efforts are processed and the minimum strength of the block is determined in each floor; the verification of the global stability of the structure is done and, finally, the results are emitted, with the drawings in plant and rise of each wall, besides the reports of general information and operating tensions. The reports are constructed in sheets of the Excel, formatted automatically for the program. However the user can modify the formatting, record and use the archive as to want. The ALVCAD limits it the rectangular floors calculation and the displacements calculated for the verification of the global stability foresee only the translation hypothesis (symmetrical buildings). In the design, the limitations of NBR 10837 (ABNT, 1989) are considered. Although not to calculate the reinforcement, the traction efforts are supplied.

Keywords: structural masonry, graphic automation, design, project, program.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	vii
SÍMBOLOS, ABREVIATURAS E SIGLAS	ix
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVOS.....	1
1.2 JUSTIFICATIVAS.....	1
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	4
CAPÍTULO 2 - BREVE HISTÓRICO DA ALVENARIA ESTRUTURAL	5
2.1 HISTÓRICO.....	5
2.1.1 Pirâmides de Gizé.....	5
2.1.2 Farol de Alexandria	6
2.1.3 Coliseu.....	7
2.1.4 Catedral de Reims.....	8
2.1.5 Edifício Monadnock	8
2.1.6 Alvenaria não-armada na Suíça.....	9
2.1.7 Hotel Excalibur em Las Vegas	10
2.2 SITUAÇÃO NO BRASIL.....	10

CAPÍTULO 3 - PROJETO DA ALVENARIA ESTRUTURAL 12

3.1	CONCEPÇÃO DO PROJETO	12
3.2	ELEMENTOS RESISTENTES.....	13
3.2.1	Bloco.....	13
3.2.2	Argamassa	14
3.2.3	Graute	15
3.2.4	Armaduras	15
3.3	COORDENAÇÃO MODULAR	16
3.3.1	Amarração entre paredes	17
3.3.1.1	Amarração direta	18
3.3.1.2	Amarração indireta	19
3.3.2	Tipos de modulação.....	20
3.4	APRESENTAÇÃO DO PROJETO.....	23

CAPÍTULO 4 - DIMENSIONAMENTO DA ALVENARIA ESTRUTURAL..... 24

4.1	CARREGAMENTO VERTICAL	25
4.1.1	Ações provenientes das lajes	25
4.1.2	Peso-próprio das paredes	26
4.1.3	Espalhamento do carregamento vertical.....	26
4.1.4	Distribuição das cargas verticais nas paredes.....	27
4.1.4.1	Paredes Isoladas.....	28
4.1.4.2	Grupos Isolados de Paredes.....	28
4.1.4.3	Grupos de Paredes com Interação	30
4.1.4.4	Modelagem tridimensional em elementos finitos.....	30
4.2	CARREGAMENTO HORIZONTAL	31
4.2.1	Ação proveniente dos ventos.....	31

4.2.2	Ação proveniente do desaprumo	31
4.2.3	Distribuição das cargas horizontais nas paredes.....	32
4.2.3.1	Paredes isoladas.....	33
4.3	ESTABILIDADE GLOBAL DA ESTRUTURA.....	36
4.3.1	Parâmetro α	37
4.3.2	Parâmetro γ_z	38
4.4	DIMENSIONAMENTO DA ALVENARIA	38
4.4.1	Bloco.....	39
4.4.2	Prisma de blocos.....	39
4.4.3	Eficiência.....	39
4.4.4	Espessura efetiva	41
4.4.5	Altura efetiva	41
4.4.6	Esbeltez.....	42
4.4.7	Parâmetros de resistência – Tensões admissíveis.....	42
4.4.8	Parâmetros de resistência – Estados limites	44
CAPÍTULO 5 - IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL		50
5.1	LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO	51
5.2	ESTRUTURA DO PROGRAMA	53
5.2.1	Rotinas de programação - <i>Visual Basic</i>	53
5.2.2	Banco de Dados – <i>Microsoft Access</i>	55
5.2.3	Relatórios – <i>Microsoft Excel</i>	57
5.2.4	Relação de dependência entre as ações	57
5.3	UTILIZAÇÃO DO PROGRAMA	58
5.3.1	Instalação.....	58
5.3.2	Criação e abertura de Projetos.....	59
5.3.3	Preparação do Projeto.....	64

5.3.4	Definição da Simetria	66
5.3.5	Parâmetros do Edifício	67
5.3.6	Modulação	68
5.3.6.1	Definir Família de Blocos	68
5.3.6.2	Inserção dos Blocos Isolados.....	69
5.3.6.3	Inserção das Paredes.....	71
5.3.6.4	Inserção das Aberturas	74
5.3.6.5	Numeração das Paredes.....	77
5.3.6.6	Segunda Fiada	79
5.3.7	Grupos de Resistência	81
5.3.7.1	Grupos de Resistência aos esforços verticais	82
5.3.7.2	Grupos de Resistência aos esforços horizontais.....	84
5.3.8	Carregamentos.....	87
5.3.8.1	Carregamento Vertical.....	88
5.3.8.2	Carregamento Horizontal	99
5.3.8.3	Combinação dos carregamentos Verticais e Horizontais	106
5.3.9	Determinação da Resistência do Bloco	107
5.3.10	Verificação da Estabilidade Global.....	109
5.3.11	Resultados.....	111
5.3.11.1	Desenhos em elevação.....	111
5.3.11.2	Relatórios.....	113

CAPÍTULO 6 - EXEMPLO NUMÉRICO 118

6.1	DEFINIÇÃO DOS GRUPOS RESISTENTES.....	121
6.2	DEFINIÇÃO DOS CARREGAMENTOS	123
6.2.1	Carregamento vertical.....	123
6.2.1.1	Cálculo das lajes.....	123
6.2.1.2	Carregamento do ático.....	124
6.2.1.3	Processamento dos esforços verticais.....	124
6.2.2	Carregamento horizontal	128

6.2.2.1	Carregamento do vento.....	128
6.2.2.2	Carregamento do desaprumo.....	129
6.2.2.3	Processamento dos esforços horizontais.....	129
6.2.3	Combinação dos carregamentos vertical e horizontal.....	130
6.2.4	Análise da tensão tração atuante.....	131
6.2.4.1	Carregamento horizontal.....	131
6.2.4.2	Cálculo da tensão de tração.....	132
6.2.4.3	Pavimentos tracionados.....	133
6.3	DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DO BLOCO.....	135
6.3.1	Determinação de f_b mínimo.....	135
6.3.2	Verificação da flexão composta e do cisalhamento.....	136
6.3.3	Resultado do dimensionamento.....	137
6.4	VERIFICAÇÃO DA ESTABILIDADE GLOBAL.....	139
6.4.1	Deslocamentos horizontais.....	139
6.4.2	Inércia do edifício.....	140
6.4.3	Módulo de elasticidade do edifício.....	140
6.4.4	Valores de γ_z	141
6.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	142
CAPÍTULO 7 - CONCLUSÕES.....		143
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		146
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.....		150

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Pirâmides de Gizé (retirada de www.touregypt.net/chephren.htm em 03/04/2004).....	6
Figura 2.2 – Farol de Alexandria (retirada de www.geocities.yahoo.com.br/oportaldehermes/grandefarol.htm em 03/04/2004).	6
Figura 2.3 – Coliseu - vista interna (retirada de www.GreatBuildings.com em 03/04/2004).....	7
Figura 2.4 – Coliseu - vista externa (retirada de www.GreatBuildings.com em 03/04/2004).....	7
Figura 2.5 – Catedral de Reims (retiradas de http://www.viagensimagens.com/europa22.htm em 03/04/2004).	8
Figura 2.6 – Edifício Monadnock.....	9
Figura 2.7 – Hotel Excalibur (retirada de http://wat.aktualne.cz/2002/photos.html em 03/04/2004).....	10
Figura 3.1 – Exemplos de blocos estruturais (DUARTE ,1999).....	13
Figura 3.2 – Exemplos de amarração.	18
Figura 3.3 – Amarração indireta com barras de aço.....	19
Figura 3.4 – Amarração indireta com tela de aço.....	20
Figura 3.5 – Exemplo de modulação.....	22
Figura 3.6 – Exemplo de Desenho de Elevação gerado pelo ALVCAD.....	23

Figura 4.1 – Exemplo de grupos de paredes.....	29
Figura 4.2 – Definição das abas.....	34
Figura 4.3 – Parâmetros para cálculo da espessura efetiva de paredes NBR 10837 (ABNT, 1989).....	41
Figura 4.4 – Valores de C_1 , C_2 e C_3 para cálculo da excentricidade.	48
Figura 5.1 – Exemplo de uma tela do <i>Visual Basic</i>	54
Figura 5.2 – Tela do <i>VB</i> com botão “criar grupos” selecionado.	54
Figura 5.3 – Código vinculado ao botão chamado “ <i>Command6</i> ”.....	55
Figura 5.4 – Tela do <i>Access</i> com as TABELAS utilizadas no ALVCAD.....	56
Figura 5.5 – Tela do <i>Access</i> mostrando as CONSULTAS utilizadas no ALVCAD.	56
Figura 5.6 – Tabela “cargas_aberturas” mostrando seus campos preenchidos.	57
Figura 5.7 – Relação de dependência entre as ações do ALVCAD.	58
Figura 5.8 – Barra de Menus do ALVCAD.....	59
Figura 5.9 – Menu “Arquivo”.....	59
Figura 5.10 – Janela para escolha da versão do AutoCAD a ser utilizada.	60
Figura 5.11 – Janela para a definição de um Novo Projeto.....	60
Figura 5.12 – Tela do AutoCAD com novo projeto “Exemplo Dissertação”.	61
Figura 5.13 – Janela para abertura de projeto existente.	62
Figura 5.14 – Projeto Arquitetônico do Pavimento Tipo.	63
Figura 5.15 – Projeto arquitetônico e desenho com paredes “colados” no projeto do ALVCAD.	63
Figura 5.16 – Menu “Preparação Projeto”.....	64
Figura 5.17 – Janela para conduzir o usuário aos ajustes iniciais.	65

Figura 5.18 – Projeto arquitetônico e desenho das paredes sobrepostos, com indicação dos <i>layers</i> criados.....	65
Figura 5.19 – Janela para definição de simetria.....	66
Figura 5.20 – Desenho dos eixos de simetria.....	67
Figura 5.21 – Parâmetros a serem cadastrados – pé-direito e número de pavimentos.....	67
Figura 5.22 – Menu “Modulação”.....	68
Figura 5.23 – Janela para definição da família de blocos.....	69
Figura 5.24 – Janela para inserção de blocos isolados.....	69
Figura 5.25 – Janela para inserção do Bloco Especial 14x34.....	70
Figura 5.26 – Desenho depois de inseridos todos os blocos das extremidades.....	71
Figura 5.27 – Janela para inserção das paredes.....	72
Figura 5.28 – Linhas que devem ser usadas para seleção (“cantoneiras”).....	72
Figura 5.29 – Planta com todas as paredes inseridas.....	73
Figura 5.30 – Detalhes da utilização dos blocos compensadores.....	74
Figura 5.31 – Tela para inserir as aberturas de portas.....	75
Figura 5.32 – Tela para inserir aberturas de janelas.....	75
Figura 5.33 – Aberturas inseridas e numeradas.....	76
Figura 5.34 – Janela para numerar as paredes.....	77
Figura 5.35 – Desenho com as paredes inseridas e numeradas.....	78
Figura 5.36 – Informações a respeito da construção da segunda fiada.....	79
Figura 5.37 – Planta arquitetônica para inserção dos blocos da segunda fiada.....	80
Figura 5.38 – Desenho da segunda fiada com os blocos inseridos nas extremidades.....	80
Figura 5.39 – Paredes da segunda fiada.....	81
Figura 5.40 – Menu “Grupos de Resistência”.....	82
Figura 5.41 – Inserção de “Grupos Verticais”.....	82

Figura 5.42 – Desenho com todos os grupos verticais definidos.	83
Figura 5.43 – Detalhes dos grupos 6 e 8, posicionados sobre os eixos de simetria.	84
Figura 5.44 – Menu para definição dos Grupos de paredes para resistirem às solicitações horizontais – direção X e direção Y.	84
Figura 5.45 – Janela para definição dos grupos horizontais na direção X.	85
Figura 5.46 – Indicação das linhas das abas.	86
Figura 5.47 – Grupos Horizontais na direção X.	86
Figura 5.48 – Grupos Horizontais na direção Y.	87
Figura 5.49 – Menu “Carregamentos”.....	88
Figura 5.50 – Menu para definição do Carregamento Vertical.	88
Figura 5.51 – Menu para inserção e cálculo das lajes.	89
Figura 5.52 – Tela para a definição das lajes.	89
Figura 5.53 – Desenho com as lajes definidas.	90
Figura 5.54 – Condições possíveis para os apoios das lajes.	91
Figura 5.55 – Tela para cálculo das lajes com a informação do número da laje.	91
Figura 5.56 – Opção para cálculo de laje maciça.	92
Figura 5.57 – Opção para informar as reações das lajes.	93
Figura 5.58 – Confirmação para armazenamento das reações.	95
Figura 5.59 – Desenho com os valores das reações em kN/m.	95
Figura 5.60 – Menu “Carregamentos adicionais”.	96
Figura 5.61 – Tela para a definição do ático.	96
Figura 5.62 – Tela para inserção da platibanda.	97
Figura 5.63 – Desenho com marcação da platibanda.	98
Figura 5.64 – Definição do peso-específico da parede.	99
Figura 5.65 – Menu “Carregamento Horizontal”.	99

Figura 5.66 – Tela para definição do carregamento de vento.	100
Figura 5.67 – Distribuição da força do vento na fachada da edificação.....	101
Figura 5.68 – Mapa do Brasil com as Isopletas da velocidade básica do vento V_o (m/s). 102	
Figura 5.69 – Informação do valor do Coeficiente de Arrasto.....	104
Figura 5.70 – Tela para cálculo da força horizontal de desaprumo.....	105
Figura 5.71 – Tela para processamento dos esforços horizontais.	106
Figura 5.72 – Confirmação para combinação dos Esforços Verticais e Horizontais.	106
Figura 5.73 – Determinação da eficiência bloco-prisma.	107
Figura 5.74 – Resultado do dimensionamento da resistência do bloco.....	108
Figura 5.75 – Menu “Estabilidade Global”.	109
Figura 5.76 – Tela explicativa sobre a Verificação da Estabilidade Global.....	110
Figura 5.77 – Resultado da verificação da Estabilidade Global para o exemplo.	110
Figura 5.78 – Menu “Resultados”.	111
Figura 5.79 – Tela para inserção da elevação.....	112
Figura 5.80 – Desenho de elevação da parede 7 inserido diretamente no AutoCAD.	113
Figura 5.81 – Menu “Relatórios”.	113
Figura 5.82 – Tela “Relatório Geral”.	114
Figura 5.83 – Relatório Geral gerado pelo ALVCAD no “Excel”.....	115
Figura 5.84 – Tela para geração do Relatório de Tensões Atuantes.	116
Figura 5.85 – Relatório de Tensões Atuantes.....	117
Figura 6.1 – Planta de paredes do pavimento tipo do edifício (RAMALHO E CORRÊA, 2003).....	118
Figura 6.2 – Planta de paredes do reservatório e casa de máquinas e esquema vertical do edifício (RAMALHO E CORRÊA, 2003).	119

Figura 6.3 – Carregamento total devido ao ático - kN/m (RAMALHO E CORRÊA, 2003).....	120
Figura 6.4 – Projeto arquitetônico utilizado no ALVCAD.	120
Figura 6.5 – Grupos de paredes que resistem ao carregamento vertical.	122
Figura 6.6 – Grupos de paredes que resistem ao carregamento horizontal na direção X..	122
Figura 6.7 - Grupos de paredes que resistem ao carregamento horizontal na direção Y. .	122
Figura 6.8 – Lajes consideradas no ALVCAD, com as reações de apoio (kN/m).....	123
Figura 6.9 – Reações das lajes (kN/m) apresentadas por Ramalho e Corrêa (2003).	124
Figura 6.10 – Deslocamento da estrutura sob a ação de uma força horizontal.	140

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 – Pesos específicos para alvenaria (RAMALHO E CORRÊA, 2003).	26
Tabela 4.2 – Valores para as abas NBR 10837 (ABNT, 1989).....	34
Tabela 4.3 – Coeficiente δ de acordo com a NBR 10837 (ABNT, 1989).....	41
Tabela 4.4 – Índices máximos de esbeltez da NBR 10837 (ABNT, 1989).....	42
Tabela 4.5 – Tensões admissíveis para alvenaria não-armada de acordo com NBR 10837 (ABNT, 1989).....	42
Tabela 4.6 – Tensões admissíveis para a alvenaria armada de acordo com a NBR 10837 (ABNT, 1989).....	43
Tabela 4.7 – Tensões admissíveis no aço, conforme NBR 10837 (ABNT, 1989).....	44
Tabela 4.8 – Resistência da alvenaria – Bloco vazado com altura/largura entre 2,0 e 4,0 conforme BS 5628:Part 1 (BSI, 1978).....	46
Tabela 4.9 – Características desejáveis para as argamassas de assentamento conforme prescrito pela BS 5628:Part 1 (BSI, 1978).	46
Tabela 4.10 – Coeficiente β conforme BS 5628:Part 1 (BSI, 1978).	47
Tabela 4.11 – Coeficiente de segurança parcial conforme BS 5628:Part 1 (BSI, 1978)....	49
Tabela 6.1 – Resumo das especificações de projeto.....	119
Tabela 6.2 – Resultado do ALVCAD para carregamento vertical.....	125
Tabela 6.3 – Resultado de Ramalho e Corrêa (2003) para carregamento vertical.	126
Tabela 6.4 – Comparação dos resultados da carga total vertical.....	126
Tabela 6.5 – Comparação dos resultados da carga do ático.	127

Tabela 6.6 – Forças horizontais devidas ao vento obtidas pelo ALVCAD.....	128
Tabela 6.7 - Forças horizontais devidas ao vento obtidas por Ramalho e Corrêa (2003).	128
Tabela 6.8 – Resultados da força horizontal atuante no edifício.....	129
Tabela 6.9 – Resultado obtido pelo ALVCAD para as combinações de carregamento no grupo vertical 3.....	130
Tabela 6.10 - Resultado obtido pelo ALVCAD para as combinações de carregamento no grupo vertical 9.....	131
Tabela 6.11 – Valores da tensão proveniente do carregamento horizontal.....	131
Tabela 6.12 – Tensão de tração nos grupos verticais.....	134
Tabela 6.13 – Determinação da resistência do bloco para o grupo vertical 3.....	136
Tabela 6.14 – Determinação da resistência do bloco para o grupo vertical 9.....	136
Tabela 6.15 – Resistência dos blocos por pavimento.....	138
Tabela 6.16 – Resistência dos blocos (RAMALHO E CORRÊA, 2003).....	138

SÍMBOLOS, ABREVIATURAS E SIGLAS

SÍMBOLOS

A_e	- Área efetiva de atuação do vento
b	- Parâmetro multiplicador para cálculo do fator S_2
b_f	- Dimensão da aba
C_a	- Coeficiente de arrasto
C_1	- Carga concentrada dos pavimentos superiores
C_2	- Carga excêntrica da laje do próprio pavimento
C_3	- Carga excêntrica da laje do próprio pavimento
EI	- Rigidez à flexão do sistema de contraventamento
d	- Distância entre a face comprimida e a armadura
e	- Espessura da parede
e_x	- Excentricidade das cargas no topo da parede
F_a	- Força de arrasto do vento
F_d	- Força horizontal equivalente ao desaprumo
F_i	- Força atuante em cada parede
F_r	- Parâmetro multiplicador para cálculo do fator S_2
F_{tot}	- Força total horizontal atuante no pavimento
f_b	- Resistência à compressão do bloco
f_d	- Resistência de cálculo à compressão da alvenaria
f_p	- Resistência à compressão do prisma
f_{par}	- Resistência à compressão da parede
f_{yd}	- Tensão de escoamento do aço
H	- Altura total da edificação

h	- Altura da parede
h_{ef}	- Altura efetiva da parede
I	- Momento de Inércia do Grupo de Paredes
L_e	- Distância entre os enrijecedores da parede
M	- Momento Fletor atuante na parede
M_1	- Momento de primeira ordem atuante na parede
M_2	- Momento de segunda ordem atuante na parede
ΔM	- Acréscimo de momento devido aos deslocamentos horizontais.
P	- Peso total da edificação
$P-\Delta$	- Processo iterativo para cálculo de esforços de segunda ordem
ΔP	- Peso do pavimento
p	- Carregamento por metro linear sobre a parede
q	- Pressão dinâmica do vento
R	- Fator de redução da resistência da parede associado à esbeltez
R_i	- Rigidez da parede – coeficiente de proporcionalidade
S_1	- Fator multiplicador da velocidade básica do vento que considera a topografia do local
S_2	- Fator multiplicador da velocidade básica do vento que considera a rugosidade do terreno, as dimensões da edificação e a variação da velocidade
S_3	- Fator multiplicador da velocidade básica do vento que considera o grau de risco aceitável em função da utilização da edificação
t	- Espessura da parede conforme BS 5628:Part 1
t_{ef}	- Espessura efetiva da parede
t_{pa}	- Espessura da parede conforme NBR 10837
V	- Força cortante em paredes de contraventamento
V_o	- Velocidade básica do vento
V_k	- Velocidade característica do vento
W	- Módulo de Resistência à Flexão
$y_{máx}$	- Maior distância entre o CG e uma extremidade da seção considerada
z	- Altura considerada para a incidência do vento
α	- Parâmetro simplificado para avaliação da deslocabilidade da estrutura
β	- Fator de redução devido à esbeltez

δ	- Coeficiente multiplicador da espessura da parede, em função da relação entre a dimensão do enrijecedor e a espessura da parede
γ	- Peso-específico da parede
γ_i	- Coeficiente de segurança interno
γ_m	- Coeficiente de segurança parcial para o material
γ_z	- Parâmetro simplificado para avaliação da deslocabilidade da estrutura
ϕ	- Diâmetro da armadura
φ	- Ângulo de desaprumo
λ	- Esbeltez da parede
σ	- Tensão atuante no grupo de paredes
η_{p-bl}	- Eficiência prisma-bloco
η_{par-bl}	- Eficiência parede-bloco

ABREVIATURAS

PAR	- Parede
G	- Grupo de parede
<i>VB</i>	- <i>Visual Basic</i>
<i>VBA</i>	- <i>Visual Basic Application</i>

SIGLAS

ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACI	- <i>American Concrete Institute</i>
BS	- <i>British Standards</i>
BSI	- <i>British Standards Institute</i>
DIN	- <i>Deutsch Industrie Normem</i>
NBR	- Norma Brasileira Regulamentada

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Este trabalho é o resultado da pesquisa a respeito dos principais parâmetros de projeto e cálculo da alvenaria estrutural. Esta pesquisa foi realizada para possibilitar o desenvolvimento de um programa computacional, denominado ALVCAD. Este programa automatiza as rotinas de projeto e cálculo, facilitando o trabalho do engenheiro calculista.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo principal do trabalho foi desenvolver um programa computacional, denominado ALVCAD, para automatizar a maioria das rotinas de projeto e cálculo de uma edificação projetada em alvenaria estrutural. Para tanto, buscou-se um aprofundamento no conhecimento sobre esse Sistema Estrutural e suas particularidades, além das metodologias de projeto e cálculo estrutural.

1.2 JUSTIFICATIVAS

Na busca de uma maior agilidade no desenvolvimento de um projeto em alvenaria estrutural, a implementação computacional torna-se inevitável. A partir da definição da arquitetura definitiva, um programa computacional deve ser capaz de facilitar o trabalho do engenheiro calculista, possibilitando:

- ✓ desenho da cada parede, em planta e em elevação, informando todos os detalhes construtivos;
- ✓ cálculo dos esforços atuantes nas paredes, determinando a resistência necessária aos blocos estruturais.

O primeiro fator a ser avaliado no projeto de um edifício de alvenaria estrutural é a modulação das paredes. Dessa forma, as paredes devem ter dimensões múltiplas das dimensões dos blocos, considerando a junta de argamassa existente entre os blocos.

Depois de ajustada a modulação, torna-se praticamente obrigatório desenhar cada parede do edifício, em planta e em elevação. Deve ser detalhado bloco por bloco, com suas dimensões e posição. Esse desenho é complexo e gera um enorme trabalho, visto que um edifício é composto por várias paredes diferentes em cada pavimento. Automatizar essa tarefa é perfeitamente possível, além de ser primordial para o trabalho do projetista.

A riqueza de detalhes de um projeto em alvenaria estrutural deve ser muito grande, visto a presença das instalações elétricas e hidráulicas dentro das paredes. No caso de paredes de vedação, são abertos rasgos onde são embutidas tais instalações. Quando se trata de alvenaria estrutural, qualquer interferência existente deve ser considerada com muito cuidado e rigor.

Rasgos em paredes estruturais para o embutimento de instalações são inadmissíveis, uma vez que comprometem totalmente a integridade do sistema. Para amenizar esse tipo de problema, existe a necessidade de total integração entre os projetos de um edifício construído em alvenaria estrutural.

O detalhamento das paredes estruturais serve também como projeto executivo, pois nele consta, entre outras informações, qualquer tipo de tubulação vertical projetada para passar por dentro dos furos verticais dos blocos estruturais.

Tais fatos justificam, por si só, a implantação de um programa computacional capaz de auxiliar o projetista no árduo trabalho de detalhamento. Mas por que não aliar esse

processo de detalhamento gráfico com o processo de cálculo de esforços e resistências das paredes estruturais?

Com o auxílio de um programa, pode-se automatizar a tarefa de definição das lajes, calculando as reações de apoio que deverão ser suportadas pelas paredes. De forma simplificada, podem-se definir os grupos de paredes resistentes que suportam essas reações, obtendo-se os esforços aos quais os blocos estruturais estão sujeitos em virtude dessas cargas verticais.

Além do cálculo e distribuição das cargas verticais, pode-se adotar maior rigor para a consideração de efeitos de cargas horizontais (vento), uma vez que no cálculo manual essas considerações são feitas de forma simplificada.

A NBR 6118 (ABNT, 1978) prescreve em seu item 3.1.1.3 que: “Será exigida a consideração da ação do vento nas estruturas em que esta ação possa produzir efeitos estáticos ou dinâmicos importantes e obrigatoriamente no caso de estruturas com nós deslocáveis, nas quais a altura seja maior que 4 vezes a largura menor, ou em que, numa dada direção, o número de filas de pilares seja inferior a 4”.

A NBR 10837 (ABNT, 1989) também prescreve em seu item 4.3.2.3 que: “(...). A verificação da absorção da carga do vento pode ser dispensada no caso de prédio de até cinco pavimentos, se a planta contém paredes enrijecedoras e resistentes (...)”.

No entanto, como pode ser visto no exemplo apresentado nesse trabalho, um edifício com 4 pavimentos exigiu um bloco estrutural mais resistente no primeiro pavimento. Vale ressaltar que o exemplo atende as condições do item 4.3.1.1, incisos a e b, da NBR 10837 (ABNT, 1989), ou seja, possui paredes resistentes nos dois sentidos e as lajes foram calculadas como solidárias, funcionando como diafragma rígido.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O capítulo 2 trata de um breve histórico da alvenaria estrutural, abordando fatos históricos, construções marcantes e dando um panorama sobre a utilização desse sistema no Brasil.

Detalhes e parâmetros específicos de projetos são tratados no capítulo 3 deste trabalho. A concepção do projeto, a coordenação modular, a influência da argamassa, do graute e das armaduras e finalmente exemplos de projetos finalizados são os principais tópicos apresentados.

Em seguida, o capítulo 4 descreve a metodologia de dimensionamento da alvenaria estrutural. São abordados os principais tipos de carregamento (vertical e horizontal) e como estes devem ser considerados nas hipóteses de cálculo, inclusive com a verificação da estabilidade global. Além da metodologia da norma brasileira, é descrita sucintamente a metodologia da norma inglesa para o cálculo da resistência à compressão de paredes para alvenaria estrutural não-armada.

No capítulo 5 é descrito o programa computacional desenvolvido. É feita uma descrição da linguagem de programação, das características do aplicativo desenvolvido e uma descrição detalhada, bastante ilustrada, do projeto e dimensionamento de um edifício através do ALVCAD.

Buscando a validação dos resultados obtidos pelo ALVCAD, no capítulo 6 é resolvido um exemplo apresentado por Ramalho e Corrêa (2003). Nesta demonstração, comparam-se todos os valores calculados pelo ALVCAD com os valores apresentados pelos autores do exemplo. As diferenças são mostradas e justificadas.

Finalmente, no capítulo 7, são apresentadas as conclusões e sugestões para próximas pesquisas.

CAPÍTULO 2

BREVE HISTÓRICO DA ALVENARIA ESTRUTURAL

2.1 HISTÓRICO

Historicamente, a alvenaria está entre as mais antigas formas de construção empregadas pelo homem. Como exemplos disso, são transcritos abaixo breves comentários sobre obras interessantes e históricas, que usaram a alvenaria como elemento estrutural. Com a utilização de blocos de diversos materiais, como argila e pedra, entre outros, essas construções desafiaram o tempo, atravessando séculos e milênios, chegando até nossos dias como verdadeiros monumentos de grande importância histórica.

2.1.1 Pirâmides de Gizé

São três grandes pirâmides, Quéfren, Queóps e Miquerinos, construídas em blocos de pedra que datam de aproximadamente 2600 anos antes de Cristo. A Grande Pirâmide, túmulo do faraó Queóps, mede 147 m de altura e sua base é um quadrado de 230 m de lado. Em sua construção foram utilizados aproximadamente 2,3 milhões de blocos, com peso médio de 25 kN.



Figura 2.1 – Pirâmides de Gizé (retirada de www.touregypt.net/chephren.htm em 03/04/2004).

2.1.2 Farol de Alexandria

Construído em uma das ilhas em frente ao porto de Alexandria, na cidade de Faros, aproximadamente 280 anos antes de Cristo, é o mais famoso e antigo farol de orientação. Construído em mármore branco, com 134 m de altura, possuía um engenhoso sistema de iluminação, baseado em um jogo de espelhos (Figura 2.2). Do ponto de vista estrutural trata-se de uma obra marcante, com altura equivalente a um prédio com 45 pavimentos. Infelizmente foi destruído por um terremoto no século XIV, restando apenas as suas fundações como testemunho de sua grandeza.



Figura 2.2 – Farol de Alexandria (retirada de www.geocities.yahoo.com.br/oportaldehermes/grandefarol.htm em 03/04/2004).

2.1.3 Coliseu

Esse grande anfiteatro, com capacidade para 50.000 pessoas, é um maravilhoso exemplo da arquitetura romana, com mais de 500 m de diâmetro e 50 m de altura. Construído por volta do ano 70 d.C., possuía 80 portais, de forma que todas as pessoas que estivessem assistindo aos espetáculos lá realizados, pudessem entrar e sair com grande rapidez (Figura 2.3).

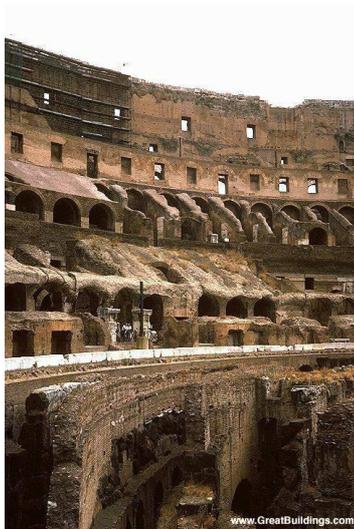


Figura 2.3 – Coliseu - vista interna (retirada de www.GreatBuildings.com em 03/04/2004).

Quanto ao aspecto estrutural, os teatros romanos eram suportados por pórticos formados por pilares e arcos. Essa característica lhes conferia uma maior liberdade em termos de localização, podendo estar situados até mesmo nos centros das grandes cidades (Figura 2.4).



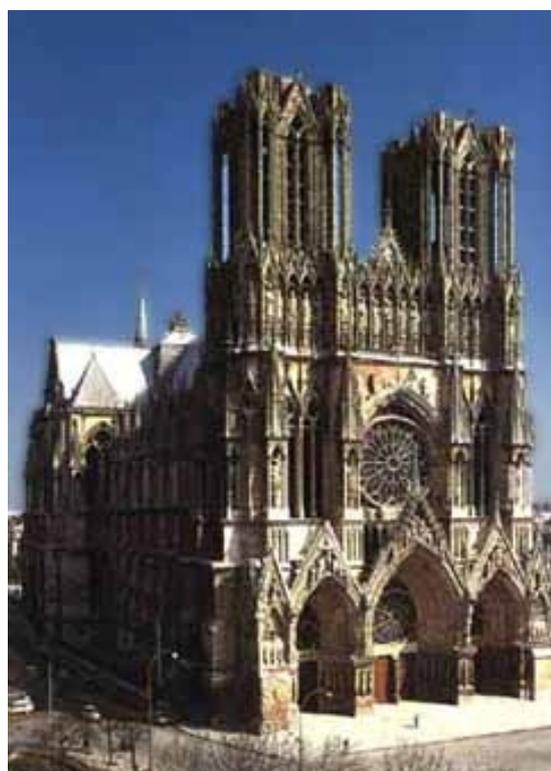
Figura 2.4 – Coliseu - vista externa (retirada de www.GreatBuildings.com em 03/04/2004).

2.1.4 Catedral de Reims

É um grande exemplo de catedral gótica. Construída entre 1211 e 1300 d.C., demonstra a aprimorada técnica de atingir vãos relativamente grandes utilizando-se apenas estruturas comprimidas. Seu interior é amplo, com os arcos que sustentam o teto, apoiados em pilares esbeltos, que, por sua vez, são contraventados adequadamente por arcos externos. Essa obra pode ser citada como grande exemplo de estrutura de alvenaria que propicia espaço interior com sensação de amplitude e grandeza (Figura 2.5).



(a) – vista interna



(b) – vista externa

Figura 2.5 – Catedral de Reims (retiradas de <http://www.viagensimagens.com/europa22.htm> em 03/04/2004).

2.1.5 Edifício Monadnock

Foi construído em Chicago de 1889 a 1891 e tornou-se símbolo clássico da moderna alvenaria estrutural. Com seus 16 pavimentos e 65 m de altura, foi considerada uma obra ousada, como se explorasse os limites dimensionais possíveis para edifícios de alvenaria.

Por causa dos métodos empíricos de dimensionamento empregados até então, as paredes na base têm 1,80 m de espessura. Acredita-se que se fosse dimensionado pelos procedimentos utilizados atualmente, com os mesmo materiais, essa espessura seria inferior a 30 cm (Figura 2.6).



(a) projeto e planta (retirada de www.arch.ou.edu/arch/2423/Chapter%2025/slide3.htm em 03/04/2004)



(b) foto atual (retirada de www.chicagology.com/Architecture/pages/MonadnockBldg.htm em 03/04/2004)

Figura 2.6 – Edifício Monadnock

2.1.6 Alvenaria não-armada na Suíça

Em 1950 foi construído na cidade de Basileia, Suíça, por Paul Haller, um edifício com 13 pavimentos e 42 m de altura, utilizando alvenaria não-armada. A espessura das paredes é de 15 cm para as paredes internas e 37,5 cm para as paredes externas. Considerando-se esses dados e sabendo-se que as paredes internas são as que recebem a maior parte da cargas da edificação, pode-se concluir que o dimensionamento deve ter sido realizado com base em procedimentos não muito diferentes dos que se utilizam atualmente. A largura de 15 cm para as paredes internas é exatamente a que se obteria em um dimensionamento convencional utilizando-se qualquer uma das principais normas internacionais. Muito provavelmente, a largura das paredes externas igual a 37,5 cm, foi adotada em função de características relacionadas ao conforto térmico.

2.1.7 Hotel Excalibur em Las Vegas

O mais alto edifício em alvenaria estrutural da atualidade é o Hotel Excalibur, em Las Vegas, EUA. O complexo do hotel é formado por quatro torres principais, com 28 pavimentos, cada uma contendo 1.008 apartamentos. As paredes estruturais foram executadas em alvenaria armada de blocos de concreto e a resistência à compressão especificada na base, foi de aproximadamente 28 MPa (Figura 2.7).



Figura 2.7 – Hotel Excalibur (retirada de <http://wat.aktualne.cz/2002/photos.html> em 03/04/2004).

2.2 SITUAÇÃO NO BRASIL

O sistema construtivo em alvenaria é utilizado no Brasil desde a sua colonização. No entanto, o seu uso como sistema construtivo elaborado e voltado para a racionalização, data de 1966. Nesse ano, foram executados edifícios com 4 pavimentos em São Paulo utilizando blocos de concreto.

Em 1972, foi construído o condomínio Central Parque Lapa, com quatro blocos com 12 pavimentos em alvenaria armada de blocos de concreto. Um pouco posterior, é o edifício Muriti, em São José dos Campos, com 16 pavimentos, utilizando o mesmo tipo de alvenaria (RAMALHO E CORRÊA, 2003).

Coelho (1998) entende ser tecnicamente viável a utilização da alvenaria estrutural, nos dias atuais, uma vez que o sucesso deste sistema vem alcançando uma vitória marcante em nossa época. Isso se justifica, pois não restam dúvidas de tratar-se de um processo facilmente exequível.

Esse fato, segundo Coelho (1998), contribui satisfatoriamente, em diversos fatores para a abertura de uma aceitação por parte do público alvo e, dando, por conseguinte, maior empenho por parte das construtoras na opção pelo processo construtivo.

Hoje, o sistema que utiliza a alvenaria não-armada de blocos vazados de concreto parece ser, entre as possibilidades de utilização da alvenaria estrutural, a mais promissora. Esse tipo de alvenaria tem sua utilização mais indicada em edifícios residenciais de padrão baixo ou médio com até 12 pavimentos, onde utilizam-se paredes com espessura de 14 cm.

Para reforçar essa tendência, observa-se que Sabbatini (1984) escolheu analisar em seu trabalho a alvenaria não-armada, citando que é o processo de maior utilização no mundo para a construção habitacional de edifícios de apartamento de baixa altura. Ainda complementou, salientando que inexistem no Brasil os pré-requisitos que induzem ao emprego de alvenaria estrutural armada – probabilidade elevada de abalos sísmicos ou de furacões (CURTIN e SUTHERLAND apud SABBATINI, 1984).

Entretanto a alvenaria de blocos cerâmicos também ganha força com o aparecimento de fornecedores confiáveis para resistências superiores a 10 MPa. Pode-se considerar que dentro de algum tempo os blocos cerâmicos passarão a disputar, com os blocos de concreto, a utilização em edifícios de até 10 pavimentos.

CAPÍTULO 3

PROJETO DA ALVENARIA ESTRUTURAL

3.1 CONCEPÇÃO DO PROJETO

Muitas vezes, as obras projetadas e executadas em estrutura convencional de concreto armado têm seus diversos projetos específicos, tais como, estrutural, hidro-sanitário, elétrico, entre outros, desenvolvidos individualmente. Cada projetista, com base no projeto arquitetônico, realiza seu trabalho sem preocupar-se com as possíveis interferências com os demais projetos.

Como consequência disso, é comum o executor deparar-se com a tubulação hidráulica projetada no mesmo lugar que a tubulação elétrica ou com um ramal hidráulico com 100 mm de diâmetro projetado para atravessar uma viga com 14 cm de espessura.

O executor, quase sempre com o cronograma da obra apertado, não tem tempo hábil para resolver os conflitos entre os projetos com seus responsáveis e acaba adotando soluções “práticas”. A solução adotada, nem sempre, será a mais adequada, visto sua limitação de tempo e de recursos técnicos. Pode-se prever acréscimos nos orçamentos, além de dúvidas quanto à qualidade e durabilidade do serviço executado.

O projeto de um edifício em alvenaria estrutural requer cuidados muito específicos, pois nesse tipo de estrutura a parede é o próprio e r interferências. Soluções improvisadas não

devem ser admitidas, com o risco de comprometer toda a concepção estrutural e de levar a obra à ruína.

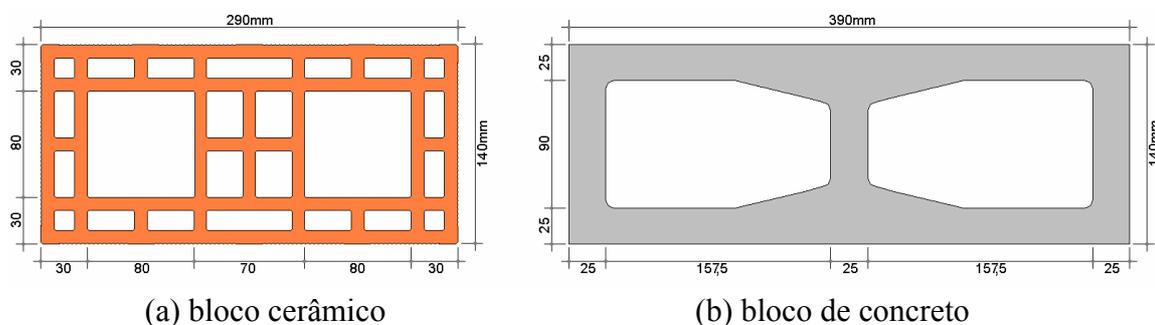
Desse modo, quando uma obra é projetada para a utilização de alvenaria estrutural, todos os projetos devem ser integrados, com reuniões periódicas entre os projetistas. Caso, inicialmente, a concepção de projeto não visasse a estrutura em alvenaria estrutural, posteriormente, é inevitável alguma adaptação nos projetos que já estejam prontos.

3.2 ELEMENTOS RESISTENTES

3.2.1 Bloco

O componente básico da alvenaria estrutural é o bloco. Encontram-se usualmente blocos de concreto, cerâmicos e sílico-calcários. Suas resistências mínimas são especificadas em norma e suas dimensões seguem padrões comerciais.

A NBR 6136 (ABNT, 1994) especifica duas larguras padronizadas para os blocos de concreto a serem utilizados em alvenaria estrutural: blocos M-15, com largura nominal de 15 cm e blocos M-20, com largura nominal de 20 cm. Essa mesma norma ainda padroniza o comprimento com valores nominais de 30 e 40 cm, independentemente da largura (Figura 3.1).



(a) bloco cerâmico

(b) bloco de concreto

Figura 3.1 – Exemplos de blocos estruturais (DUARTE, 1999).

3.2.2 Argamassa

As propriedades mecânicas das argamassas contribuem de forma significativa para a resistência da alvenaria, visto que o mecanismo de ruptura da parede está diretamente ligado à interação entre as juntas e os blocos (BARBOSA, 2002).

Dentro do conjunto da alvenaria, a argamassa de assentamento tem várias funções a cumprir. Estas têm sido caracterizadas como: unir os componentes de alvenaria para que o conjunto seja capaz de resistir a diversos tipos de esforços, distribuir uniformemente as cargas atuantes na parede por toda a área do bloco, absorver as deformações as quais a alvenaria está sujeita e selar o conjunto quando a alvenaria for aparente (VILATÓ, 1998).

Usualmente composta de cimento, cal, areia e água, a argamassa deve reunir características adequadas, no estado fresco e endurecido, para o desempenho de suas funções, tais como: trabalhabilidade, plasticidade, resistência e durabilidade.

A espessura da junta horizontal é um fator muito relevante no estabelecimento da resistência à compressão das paredes de alvenaria. Quando a espessura da junta horizontal é incrementada, a junta aumenta sua deformação relativa e conseqüentemente seu diferencial de deformação em relação ao bloco. Esta deformação gera um aumento nas tensões internas solicitantes do bloco, implicando na diminuição da resistência da alvenaria (SABBATINI, 1986).

Solórzano e Sabbatini (1995) verificaram em ensaios comparativos, uma queda de até 54% no valor da aderência, quando a junta de argamassa sofreu alteração de 1 cm para 1,5 cm.

Além disso, as juntas horizontais de argamassa preenchidas de modo incompleto, sem uniformidade ou apresentando variações na espessura, podem gerar concentrações de tensões indesejáveis nos blocos, provocando decréscimo da resistência da parede e fissuração precoce (MEDEIROS e SABBATINI, 1993).

3.2.3 Graute

O graute é um concreto com agregados miúdos que apresenta-se mais fluido do que o concreto convencional. Sua granulometria e fluidez são necessárias, pois utiliza-se esse material no preenchimento dos vazios dos blocos, que possuem dimensões reduzidas.

Utiliza-se o graute basicamente para duas funções: aumentar a resistência da parede, pois aumenta a área de material resistente (bloco + graute); promover a solidarização dos blocos com eventuais armaduras colocadas nos seus vazios para amarração ou combate de esforço de tração.

As argamassas de grouteamento, como são conhecidas, têm que apresentar trabalhabilidade compatível com as reduzidas dimensões onde são lançadas (...). Outra característica fundamental é que estas argamassas apresentem retração muito reduzida, preferencialmente quase nula, bem como, fluência desprezível em presença de tensões elevadas, geralmente aplicadas nas primeiras idades do processo de hidratação do cimento (GAIOFATTO, 2002).

Segundo a NBR 10837 (ABNT, 1989), em seu item 5.3.4.2.3, o graute deve apresentar resistência característica maior ou igual à resistência característica do bloco em função da sua área bruta.

3.2.4 Armaduras

Os vergalhões utilizados na alvenaria estrutural são os mesmos utilizados no concreto armado. Geralmente as armaduras são posicionadas nos vazios dos blocos e envolvidas com graute, ou estão posicionadas nas juntas entre eles e envolvidas com argamassa.

Com a utilização de armaduras é possível combater a fissuração (amarração entre paredes) e oferecer resistência à tração (regiões localizadas nas paredes onde o esforço de vento provoca tração). Além disso, as armaduras são utilizadas nas paredes projetadas para resistir a esforços de momento fletor e cisalhamento (alvenaria armada) e contribuem para ductilizar a ruptura da parede quando empregadas em encontros com amarração indireta.

3.3 COORDENAÇÃO MODULAR

Pelo fato dos blocos serem produzidos em dimensões regulares, o comprimento das paredes, que são os elementos resistentes da estrutura em um projeto em alvenaria estrutural, depende do tamanho de cada unidade (bloco).

Essa configuração tem consequência direta sobre o projeto arquitetônico, pois o tamanho de cada parede depende do tamanho do bloco que será utilizado. Além disso, o encontro entre paredes também não deve acontecer em qualquer ponto, visto a necessidade, na maioria dos casos, de uma amarração entre elas (ver item 3.3.1).

Para conseguir-se uma perfeita modulação é necessário trabalhar com as dimensões dos blocos desde a concepção dos espaços. Neste ponto é interessante ressaltar como é importante o trabalho conjunto do arquiteto com o projetista estrutural. Com as primeiras definições das paredes, o calculista determina quais serão as paredes estruturais (em função dos apoios de lajes e existência ou não de pilotis) e então inicia-se a modulação definitiva (WENDLER, 1999).

Além do tamanho das paredes, outros elementos do projeto dependem do tamanho do bloco: a posição e o tamanho de cada abertura (portas e janelas), o pé-direito da edificação e as instalações embutidas.

É interessante que o comprimento nominal do bloco seja igual à largura (meio-bloco) ou então igual à duas vezes a largura (bloco inteiro) para ocorrer uma modulação perfeita nos encontros entre paredes. Encontram-se no mercado, blocos com largura e comprimento nominais iguais a 15 cm e 30 cm, respectivamente, dentre outros.

Apesar de ser um padrão normalizado, e talvez ser o tipo de bloco mais utilizado atualmente, o bloco com largura e comprimento iguais a 15 cm e 40 cm, respectivamente, não obedece a regra de comprimento igual à duas vezes a largura. O seu emprego, conseqüentemente, fica condicionado ao uso de blocos com tamanhos especiais.

3.3.1 Amarração entre paredes

Na modulação de projeto em alvenaria estrutural, deve-se procurar, sempre que possível, amarrar duas ou mais paredes que se encontrem. Esta amarração garante a transmissão de ações de uma parede para outra, o que alivia uma parede muito carregada e acrescenta tensões em outra menos carregada, promovendo uniformização de tensões (ACCETTI, 1998).

A uniformização das tensões ao longo de todas as paredes amarradas ainda é um assunto em estudo na alvenaria estrutural. Ainda não é possível afirmar que todo o carregamento, ao qual um grupo de paredes está submetido, é uniformizado. Inegavelmente existe um alívio de tensões, mas a uniformização completa é improvável.

Quando não é possível realizar a amarração direta, deve-se utilizar a amarração indireta promovida pela ligação entre as paredes através de armadura. Muitos autores consideram que paredes indiretamente amarradas não formam grupos resistentes. No entanto essa opinião não é unânime.

Silva (2003) promoveu ensaios experimentais em ligações de paredes, comparando a amarração direta com a amarração indireta, promovida por barras de ferro em “U”. Os autores concluíram que a amarração indireta incrementou a carga de ruptura em 23%, além de propiciar uma ruptura dúctil ao conjunto, sem a separação das paredes que compunham o corpo-de-prova.

Com base nesses resultados, a recomendação de não considerar a amarração indireta para a transmissão de esforços torna-se uma hipótese conservadora. Após obter-se mais resultados sobre o comportamento da amarração indireta, poder-se-á avaliar de forma real o comportamento desse tipo de amarração.

Por questão de segurança, recomenda-se utilizar sempre blocos com mesma resistência em um mesmo pavimento. Como as tensões se redistribuem com as amarrações, as tensões máximas de algumas paredes tendem a diminuir, e com isso a resistência exigida do bloco pode diminuir, permitindo economia.

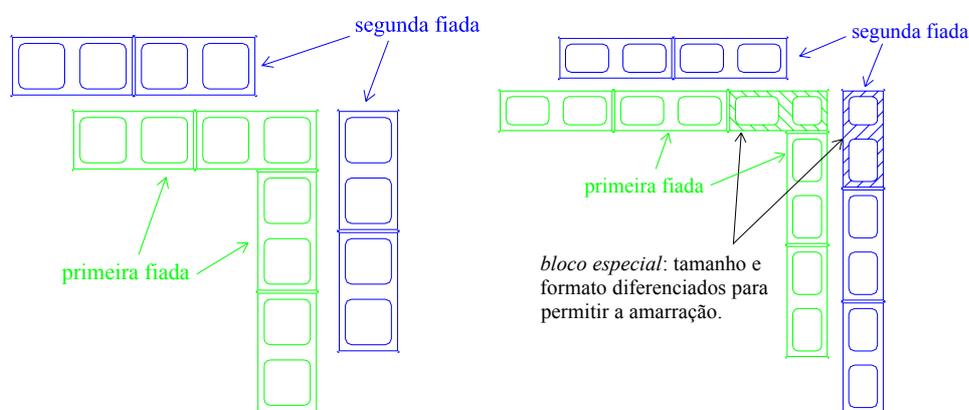
As paredes e suas amarrações criam um sistema estrutural com vários caminhos para a transferência de carregamento. Caso haja a ruptura de algum elemento isolado, as cargas serão redistribuídas nas demais paredes, evitando um desastroso colapso progressivo (AMRHIEN, 1978).

3.3.1.1 Amarração direta

Esta forma de amarração é criada utilizando os próprios blocos, alternando a posição do primeiro bloco de cada fiada e recorrendo, dependendo do caso, a um bloco com dimensões diferentes, chamado de *bloco especial*, como será visto a seguir. Surge, dessa maneira, uma sobreposição.

Pode-se construir a amarração direta de diversas formas, em função dos tipos de blocos que se esteja utilizando. Abaixo foram desenhadas diversas opções para amarração direta. Quando os blocos têm comprimento igual ao dobro de sua largura, a amarração deve ser feita apenas com blocos inteiros (Figura 3.2 a).

Porém, utilizando o bloco estrutural mais conhecido, que é aquele com largura nominal igual à 15 cm e comprimento nominal igual à 40 cm, a amarração direta deve ser feita utilizando-se os *blocos especiais* (Figura 3.2 b). Usa-se o bloco especial com comprimento nominal de 35 cm (14x19x34) nos cantos e o bloco especial com comprimento nominal de 55 cm (14x19x54) nos encontros em “T” e nos cruzamentos.



(a) sem utilização de bloco especial

(b) com utilização de bloco especial

Figura 3.2 – Exemplos de amarração.

Os maiores fabricantes de blocos estruturais, tanto os que produzem blocos cerâmicos, como os que produzem blocos de concreto, disponibilizam também os blocos especiais, que permitem uma amarração mais eficiente.

Infelizmente, ainda por desinformação, ou até mesmo, por pouca demanda, algumas indústrias ainda não produzem os blocos especiais. Na falta dessas peças, podem ser criadas alternativas utilizando apenas o bloco inteiro e o meio-bloco. Nesse caso, toma-se o cuidado de não manter a junta a prumo por mais de três fiadas consecutivas.

3.3.1.2 *Amarração indireta*

A NBR 10837 (ABNT, 1989) prevê, para os casos onde não for possível a utilização da amarração direta, o uso da chamada amarração indireta. Situações como essas devem ser evitadas ao máximo e devem ser utilizadas em última circunstância, quando o projeto arquitetônico não oferecer mais nenhum recurso. Geralmente isso acontece quando o projeto arquitetônico não foi desenvolvido especificamente para o uso de alvenaria estrutural.

Para promover a amarração indireta devem ser utilizadas barras metálicas. O mais comum é o emprego de vergalhões de aço CA-50 ou CA-60 utilizado em estrutura de concreto armado. Essas barras são dobradas em forma de “U” e colocadas nos furos dos blocos das paredes que estão sendo unidas (Figura 3.3). Esses furos, necessariamente, são preenchidos com “graute”.

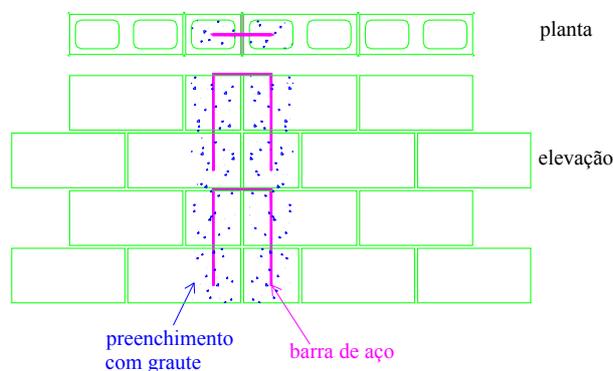


Figura 3.3 – Amarração indireta com barras de aço.

Uma outra opção é o emprego da tela soldada colocada na junta de assentamento. Em ambos os casos, a armadura deve ser colocada, no mínimo, a cada 3 fiadas (Figura 3.4).

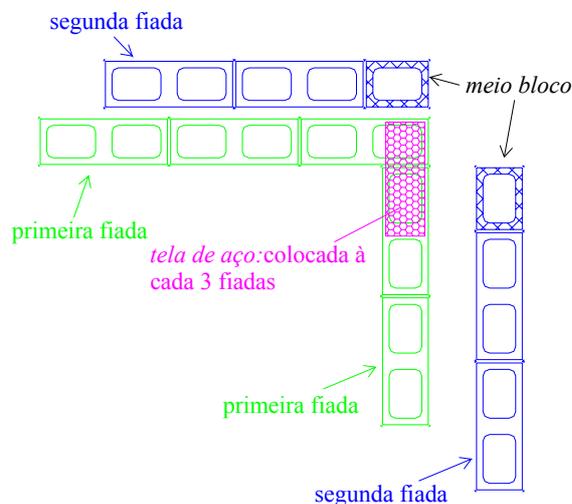


Figura 3.4 – Amarração indireta com tela de aço.

3.3.2 Tipos de modulação

Após discutir-se sobre as dimensões e sobre o tipo de amarração entre as paredes, deve-se posicionar cada bloco na parede. Este procedimento chama-se modulação.

Os blocos são fabricados comercialmente em grupos de tamanhos padronizados. Não é correto quebrar um bloco para utilizá-lo parcialmente, pois suas características de resistência ficam extremamente comprometidas com essa atitude.

Caso o projeto não tenha sido desenvolvido especificamente para o uso da alvenaria estrutural, é nessa etapa, com certeza, que é dispensada a maior parcela de tempo, dentre todas as etapas que envolvem o desenvolvimento de um projeto de alvenaria estrutural (definições, modulação, cálculo, desenho).

Os blocos devem ser desenhados um a um formando a primeira fiada em todas as paredes. Devem ser observadas atentamente as aberturas das portas e das janelas. Todos os encontros entre paredes devem ser compatibilizados, criando as amarrações adequadas. As

paredes devem ter tamanhos múltiplos do tamanho do bloco, levando em consideração a junta de argamassa existente entre um bloco e outro.

Por isso, o primeiro trabalho de um projetista é adaptar as dimensões arquitetônicas das paredes com as dimensões necessárias para a utilização dos blocos. A maior dificuldade nessa etapa é devido ao comprimento da parede quase sempre não ser múltiplo nem de 15 cm, nem de 20 cm, que são os formatos modulares dos blocos estruturais.

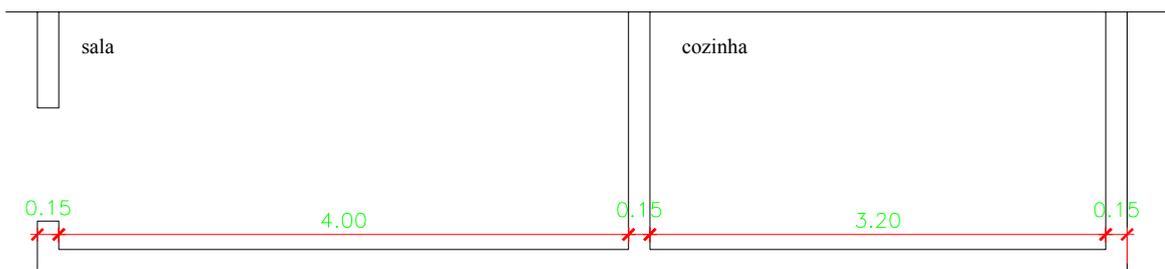
Devem-se observar também os encontros entre paredes (extremidades perpendiculares e cruzamentos). Normalmente tais paredes não estão posicionadas no local adequado para promoverem a amarração direta, quando não há a preocupação com a modulação.

É muito interessante que o projetista estrutural tenha a liberdade para modificar algumas dimensões e posições de paredes para evitar o uso de *compensadores*. Os compensadores são peças maciças, geralmente com 5 cm de comprimento, colocadas entre os blocos para completar o comprimento da parede.

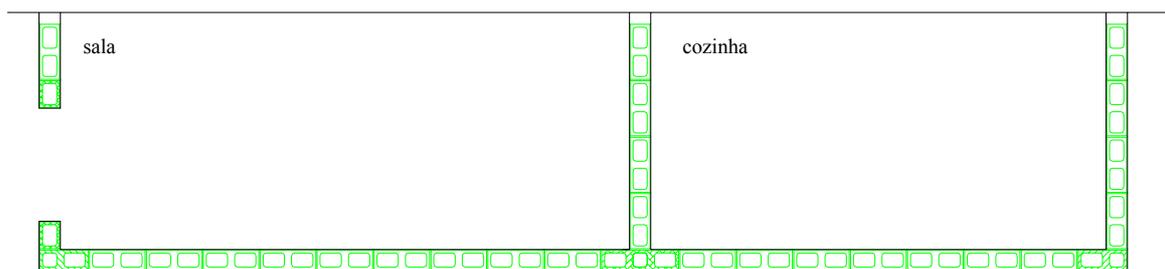
Outro ponto essencial para o trabalho de modulação é a definição da espessura da junta de argamassa. Geralmente, no Brasil, trabalha-se com uma espessura de 1 cm. Inclusive a nomenclatura adotada pela NBR 6136 (ABNT, 1994) considera essa espessura de argamassa quando define as dimensões nominais e reais dos blocos estruturais.

A seguir é mostrado um exemplo de modulação, com a disposição em planta da primeira e da segunda fiada (Figura 3.5). Observa-se que qualquer mudança na disposição dos blocos de uma das paredes altera a disposição dos blocos nas outras. Isso demonstra muito bem o tamanho da dificuldade e da importância dessa etapa do projeto.

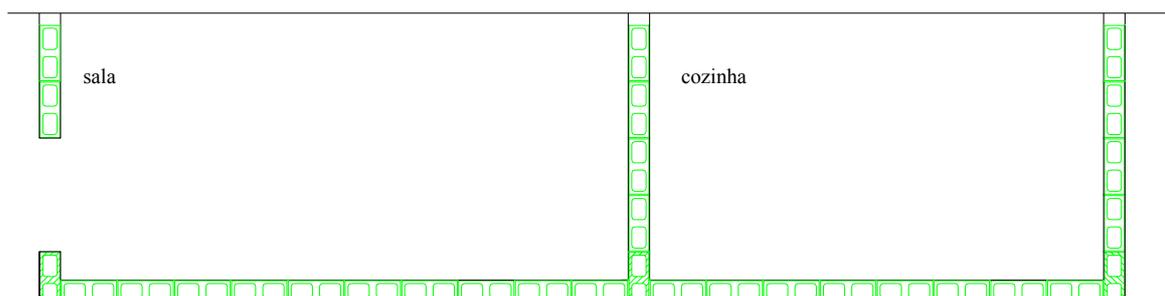
Caso o projetista, depois de definir quase todas as paredes de um edifício, observe que uma delas não está adequadamente amarrada com as demais, deverá alterar todo o trabalho realizado até então. Não há conhecimento de nenhum *software*, no Brasil, que desenvolva esse trabalho de modulação e compatibilização automaticamente. Dessa forma, esse trabalho deve ser realizado “manualmente” e por tentativas.



(a) planta arquitetônica;



(b) primeira fiada de blocos;



(c) segunda fiada de blocos.

Figura 3.5 – Exemplo de modulação.

Uma sugestão, para o início de compatibilização e modulação, é definir primeiro todos os blocos das extremidades das paredes e de seus encontros, para depois realizar o restante do preenchimento.

Em função também da modulação, que deve considerar as aberturas e compatibilizar as amarrações, são definidos os grupos de resistências. Esses grupos são elementos fundamentais para a determinação dos esforços nas paredes e serão estudados com detalhes no Capítulo 4.

3.4 APRESENTAÇÃO DO PROJETO

Depois de ajustada a modulação, considerando todos os fatores citados nos itens anteriores, torna-se praticamente obrigatório desenhar cada parede do edifício, em planta e em elevação. Esse desenho é o próprio projeto executivo a ser seguido pelos operários.

Geralmente esses desenhos são impressos em folhas pequenas (A4 ou ofício) e colocados em uma pasta ou encadernados para facilitar o manuseio. O desenho de uma determinada parede acompanha o operário durante o tempo todo que ela estiver em execução.

No desenho de cada parede deve ser detalhado também o número de blocos por fiada, os blocos preenchidos com graute e as armaduras existentes, com seus respectivos posicionamentos (Figura 3.6).

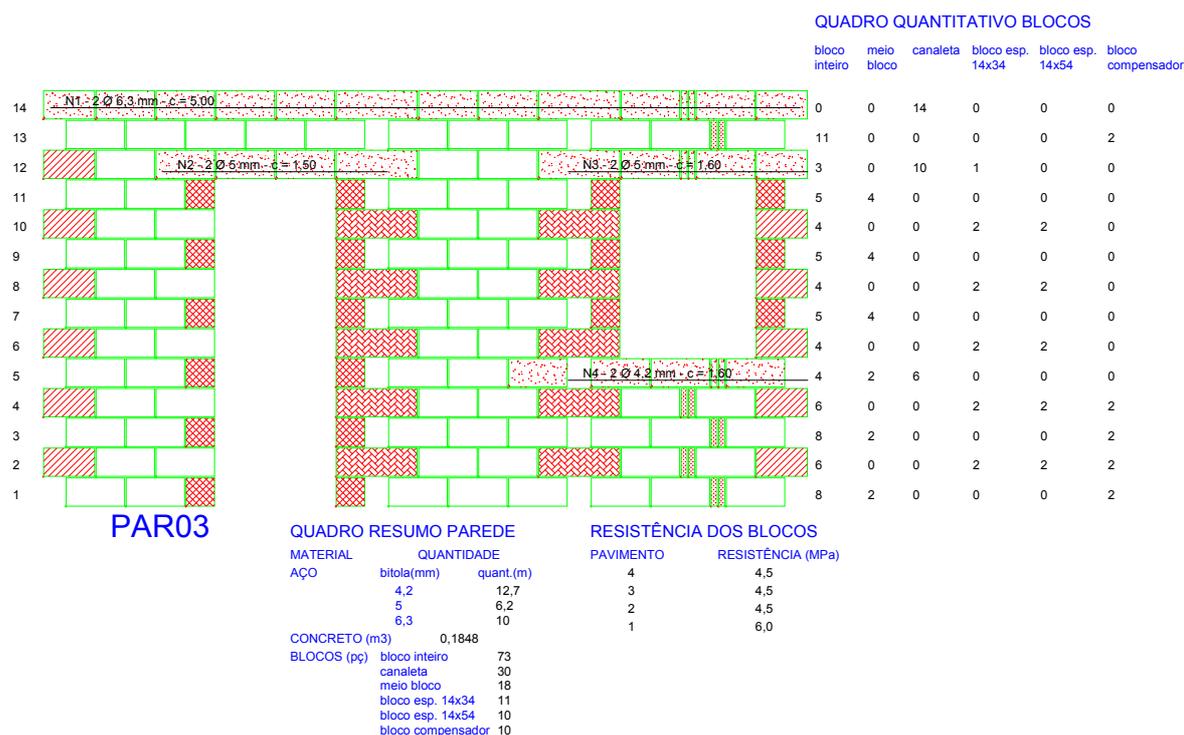


Figura 3.6 – Exemplo de Desenho de Elevação gerado pelo ALVCAD.

CAPÍTULO 4

DIMENSIONAMENTO DA ALVENARIA ESTRUTURAL

No dimensionamento da alvenaria estrutural, bem como em qualquer outro dimensionamento, uma série de parâmetros deve ser levada em consideração.

Os esforços solicitantes aos quais as paredes de alvenaria ficam submetidas dependem de diversos fatores, tais como: a geometria do edifício; a rigidez relativa das lajes e paredes; o tipo e rigidez da união entre os elementos; a distribuição das cargas sobre as paredes e a forma e a intensidade das ações externas (FRANCO, 1993).

Inicialmente, deve ser avaliado o carregamento suportado pela edificação. Em geral, são dois tipos principais de carregamento: vertical e horizontal.

No carregamento vertical estão englobadas as ações provenientes do peso-próprio das lajes, coberturas e das paredes, incluindo seus revestimentos e também as sobrecargas de utilização, que dependerá do tipo da edificação, conforme indicado pela NBR 6120 (ABNT, 1980).

No carregamento horizontal estão englobadas as ações provenientes do vento, do desaprumo e, dependendo do local da edificação, poderá ser considerada também a ação proveniente de sismos. (ACCETTI, 1998).

Depois de avaliadas as ações (carregamentos vertical e horizontal), deve ser avaliada a resistência dos elementos da alvenaria. A resistência da alvenaria, depois de minorada para garantir a segurança, deve ser suficiente para suportar as ações impostas.

Conhecendo-se os esforços nas direções vertical e horizontal e a resistência das paredes, deve-se ainda analisar a *Estabilidade Global da Estrutura*. Essa verificação é recomendável para qualquer edificação.

4.1 CARREGAMENTO VERTICAL

As principais cargas verticais a serem consideradas no dimensionamento são provenientes das ações das lajes e do peso-próprio das paredes.

4.1.1 Ações provenientes das lajes

As principais cargas permanentes atuantes nas lajes são:

- ✓ peso-próprio;
- ✓ contra-piso;
- ✓ revestimento de proteção e acabamento;
- ✓ paredes não-estruturais

As cargas variáveis são as sobrecargas de utilização estabelecidas pela NBR 6120 (ABNT, 1980). Para edifícios residenciais os valores estabelecidos variam entre 1,5 a 2,5 kN/m².

O cálculo das lajes será realizado da forma tradicional já utilizada no concreto armado, para o caso de estruturas reticuladas. O cálculo das reações de apoio pode ser feito utilizando tabelas que aplicam a Teoria da Elasticidade, ou as Tabelas de Marcus, ou usando o critério das Linhas de Ruptura, entre outros.

4.1.2 Peso-próprio das paredes

O peso-próprio da parede depende de sua altura (h), de seu peso-específico (γ) e de sua espessura (e). Normalmente, trabalha-se com o carregamento da parede por metro linear (p). Esse valor é obtido pela Equação 4.1.

$$p = \gamma \cdot e \cdot h \quad 4.1$$

Para os principais tipos de alvenaria utilizados nos edifícios residenciais, Ramalho e Corrêa (2003) citam os valores da Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Pesos específicos para alvenaria (RAMALHO E CORRÊA, 2003).

<i>Tipo de alvenaria</i>	<i>Peso-específico (kN/m³)</i>
Blocos vazados de concreto	14
Blocos vazados de concreto preenchidos com graute	24
Blocos cerâmicos	12

4.1.3 Espalhamento do carregamento vertical

É conhecido que existe um espalhamento da carga ao longo da altura da parede proveniente da interação entre os blocos. A NBR 10837 (ABNT, 1989) estabelece que esse espalhamento ocorre num ângulo de 45°.

O espalhamento do carregamento vertical ao longo da altura da parede é um fenômeno extremamente importante visto que pode acarretar em significativa economia no projeto, como será explicado adiante.

Considerando um determinado pavimento de um edifício residencial, dificilmente todas as paredes serão carregadas com o mesmo nível de tensão. As paredes externas normalmente são menos carregadas que as internas.

Mesmo dentre as paredes internas, aquelas que suportam cargas de salas e quartos devem ser mais carregadas que aquelas que suportam cargas de banheiros, por exemplo. Para uma extrema economia, cada parede deveria ser construída com um bloco de resistência compatível à sua solicitação, mas isso não seria viável.

Utilizar blocos com resistências diferentes num mesmo pavimento torna-se arriscado, pois não há nenhum tipo de identificação de resistência na peça. A utilização, por engano, de blocos menos resistentes em uma parede de grande solicitação poderia comprometer toda a obra.

Com isso, a parede mais solicitada do pavimento define a resistência do bloco que deverá ser utilizado em todas as paredes do referido pavimento. Daí a importância do espalhamento da carga.

É importante ressaltar que não acontece transferência das cargas entre paredes ligadas com juntas a prumo, portanto a amarração adequada entre as paredes é uma condição primordial para que haja o devido espalhamento das cargas.

No caso de paredes com altura superior a 3 m, devem ser previstas cintas intermediárias, dimensionadas, sobretudo para absorver a ação de cargas laterais (THOMAZ e HELENE, 2000).

4.1.4 Distribuição das cargas verticais nas paredes

Alguns procedimentos podem ser adotados para considerar a distribuição das cargas provenientes das lajes sobre as paredes. Um procedimento simples, rápido e extremamente a favor da segurança, é o procedimento de *Paredes Isoladas*.

Parsekian e Franco (2002) propuseram um método para distribuição de esforços verticais entre paredes de edifícios de alvenaria estrutural. Demonstraram, a partir de resolução numérica, a existência de uma interação entre paredes, desde que haja uma ligação rígida entre elas. Esse procedimento foi classificado por Ramalho e Corrêa (2003) como *Grupos Isolados de Paredes*, sendo adequado à edificações de qualquer altura.

Considerado como uma extensão deste último, o procedimento de *Grupos de Paredes com Interação* é bem mais trabalhoso, exigindo bastante experiência do projetista. Em contrapartida, tem como grande atrativo, a economia quanto à especificação da resistência dos blocos.

Uma última forma de distribuição é a *Modelagem Tridimensional em Elementos Finitos*. É um procedimento muito interessante que, entretanto, apresenta alguns inconvenientes: dificuldades na montagem dos dados e interpretação dos resultados, além da definição de elementos que possam representar o material alvenaria. No momento, pode-se afirmar que ainda não é viável para projetos usuais (RAMALHO E CORRÊA, 2003).

No ALVCAD, *software* desenvolvido nesse trabalho, foi considerado apenas o procedimento de *Grupos Isolados de Paredes*.

4.1.4.1 Paredes Isoladas

Quando considerado este procedimento, cada parede é considerada individualmente, recebendo como carregamento vertical, a reação da laje que se apóia nessa parede. Trata-se de um procedimento simples e seguro, mas inviável economicamente.

Como não considera uma possível distribuição dos esforços entre paredes ligadas entre si, os valores obtidos para as resistências dos blocos tendem a ser mais elevados. Como o preço do bloco é maior, quanto maior sua resistência, tem-se a elevação do custo da estrutura.

4.1.4.2 Grupos Isolados de Paredes

Um grupo é um conjunto de paredes que são supostamente solidárias. Geralmente os limites dos grupos são as aberturas, portas e janelas, conforme é mostrado na Figura 4.1.

As cargas são consideradas totalmente uniformizadas em cada grupo. Dessa forma, presume-se que os cantos e bordas estão amarrados adequadamente para promover total interação entre as paredes.

As aberturas (portas e janelas) são tomadas como limites do grupo, pois não existe parede ao longo de toda a altura da alvenaria nessas regiões, ficando comprometida a interação entre os blocos.

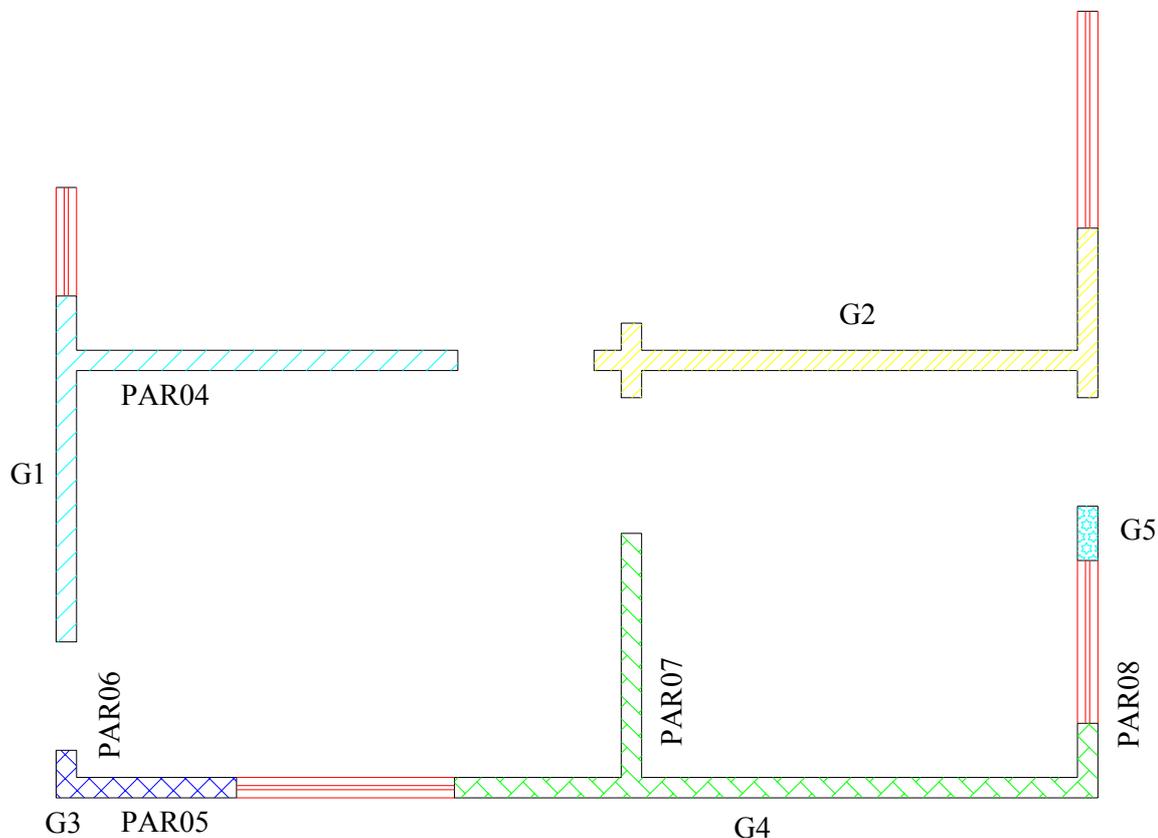


Figura 4.1 – Exemplo de grupos de paredes.

Em grupos maiores, compostos por várias paredes e/ou com uma quantidade considerável de mudanças de direções, o projetista pode definir os grupos de forma diferente da usual.

Considerando sua experiência, o calculista deve reunir num mesmo grupo, todas as paredes ligadas entre si, onde os carregamentos podem ser uniformizados. Fatalmente, grupos de paredes muito extensos devem ser divididos e os limites entre esses grupos deixam de ser as aberturas de janelas ou portas.

Todas as cargas aplicadas sobre as paredes do grupo são somadas e distribuídas igualmente ao longo do comprimento do grupo.

4.1.4.3 *Grupos de Paredes com Interação*

O procedimento anterior considera basicamente que as aberturas são os limites dos grupos. No entanto, sabe-se que os grupos estão ligados, abaixo (no caso de janelas) e também acima (no caso de janelas e portas) das aberturas. Por isso é possível afirmar que existe uma interação entre os Grupos Isolados.

Deve-se definir uma taxa de interação, que representa a parcela da diferença de cargas que deve ser uniformizada em cada nível entre os grupos que interagem. Ela pode ser estimada mediante um modelo teórico ou por algum procedimento experimental que esteja disponível durante o desenvolvimento do projeto (ACCETTI, 1998).

Segundo Accetti (1998), está sendo desenvolvida uma pesquisa no SET-EESC-USP, buscando definir taxas de interação seguras e com respaldo técnico e experimental. Além disso, é muito importante que se definam quais os grupos de paredes que estão interagindo, pois grupos com diferenças de cargas muito grandes não devem tê-las uniformizadas entre si.

Ramalho e Corrêa (2003) recomendam que este procedimento seja automatizado. Esses autores sugerem a consideração dessa interação através de um algoritmo seguro e relativamente fácil de ser implementado, apresentado em Corrêa & Ramalho (1994a) ou Corrêa & Ramalho (1998b)

Neste procedimento é essencial a experiência do projetista na escolha dos grupos que se interagem e na determinação da taxa de interação. Esses fatores resultam em grandes diferenças no carregamento obtido, afetando a segurança e a economia do projeto.

4.1.4.4 *Modelagem tridimensional em elementos finitos*

Esse procedimento é o ideal para avaliação dos esforços no pavimento e no edifício. Deve-se modelar a estrutura discretizada, aplicando-se o carregamento em cada pavimento.

Infelizmente, segundo Ramalho e Corrêa (2003), esse procedimento apresenta alguns inconvenientes: dificuldades na montagem dos dados e na interpretação dos resultados, além da definição dos elementos que possam representar o material alvenaria.

Segundo esses autores, no momento pode-se afirmar que esse procedimento ainda não é viável para projetos usuais e que são ainda necessárias pesquisas adicionais para que realmente possa ser utilizado com eficiência e segurança.

4.2 CARREGAMENTO HORIZONTAL

As principais cargas horizontais a serem consideradas no dimensionamento são provenientes das ações dos ventos, do desaprumo e, dependendo do local, podem ser consideradas as ações de sismos.

4.2.1 Ação proveniente dos ventos

O vento atua sobre as paredes normais à sua direção. As paredes transmitem a ação para as lajes, que são consideradas como diafragmas rígidos. Por sua vez, as lajes distribuem as ações para as demais paredes resistentes, de acordo com a rigidez de cada uma.

A força atuante devida ao vento é obtida aplicando as recomendações da NBR 6123 (ABNT, 1988).

4.2.2 Ação proveniente do desaprumo

A norma DIN 1053 (DIN, 1974), prescreve que: “No cálculo de prédios (...), deve ser comprovada ademais a absorção das forças provenientes do caso de carga “desaprumo” (...). Essas forças são consideradas sob a forma de forças horizontais provenientes de uma deformação fictícia de prédio inteiro pelo ângulo φ ”.

O ângulo φ é calculado pela Equação 4.2:

$$\varphi = \frac{1}{100 \cdot \sqrt{H}} \quad 4.2$$

onde: φ = ângulo em radianos;

H = altura da edificação em metros, a partir da face superior da fundação.

Determina-se, através da Equação 4.3, uma ação horizontal equivalente a ser aplicada no nível de cada pavimento.

$$F_d = \Delta P \cdot \varphi \quad 4.3$$

onde: F_d = força horizontal equivalente ao desaprumo;

ΔP = peso total do pavimento considerado

Essa força pode ser simplesmente somada à ação dos ventos, permitindo que a consideração desse efeito seja feita de forma simples.

4.2.3 Distribuição das cargas horizontais nas paredes

É muito difícil determinar a forma correta com que as cargas horizontais atuam nas paredes resistentes, mesmo porque nunca é conhecida a direção exata do vento que atua sobre um edifício.

Uma primeira consideração a ser feita é com relação à simetria da edificação. Quando existe uma simetria na posição das paredes resistentes aos esforços horizontais, deverá haver apenas translação dos pavimentos quando o vento atuar. Caso contrário, além da translação do pavimento, poderá haver também uma rotação do mesmo.

Neste trabalho será tratada no programa computacional apresentado adiante, apenas a hipótese de contraventamento simétrico com paredes isoladas, por isso não serão abordados detalhes das outras possibilidades.

O método de paredes isoladas é chamado de Método das Paredes Articuladas (*cantilever wall method*), considerando as paredes como lâminas verticais unidas às lajes em qualquer pavimento por articulações capazes de transmitir forças, mas não momentos (SABBATINI, 1984).

No entanto, Hendry apud Sabbatini (1984) obteve resultados que comprovam que este método superestima as deflexões e os momentos de flexão atuantes, comparando-os com outros métodos e com medições experimentais em um edifício de 5 pavimentos. Segundo esse autor, entretanto, o método das paredes articuladas pode ser empregado para checar aonde o carregamento é crítico.

Sabbatini (1984) cita os métodos de Cisalhamento contínuo, Analogia de pórtico, Analogia de pórtico de coluna larga e finalmente o Método de elementos finitos como outros métodos para considerar a distribuição das ações verticais na estrutura em alvenaria estrutural.

4.2.3.1 Paredes isoladas

Considera-se que o vento atua na direção normal às paredes. Dessa forma, as paredes que suportam o vento a 0° são diferentes daquelas que suportam o vento a 90° , por exemplo.

Mesmo pertencentes a um mesmo grupo isolado resistente ao carregamento vertical, para a absorção do esforço horizontal, considera-se que as paredes atuem isoladamente. Cada parede suporta o esforço de vento normal à sua posição.

Como todas as paredes estão ligadas por um diafragma rígido (laje), supõe-se que haverá o mesmo deslocamento em todo o pavimento. Dessa forma, cada parede receberá um quinhão de carga proporcional à sua rigidez. Como, usualmente, as paredes têm largura constante ao longo de sua altura, a carga suportada pela parede será proporcional ao seu momento de inércia.

Para a correta determinação da rigidez de cada painel, a NBR 10837 (ABNT, 1989) recomenda que se considere a contribuição de trechos perpendiculares a estas paredes, formando seções compostas com elas. Tais trechos são denominados *abas* ou *flanges* (ACCETTI, 1998).

No entanto, esses trechos só poderão ser considerados desde que exista a garantia de suas contribuições através da amarração adequada. A sua consideração altera de forma significativa a sua rigidez, especialmente o momento de inércia relativo à flexão.

Segundo Ramalho e Corrêa (2003), a consideração das abas, em geral, dobra as inércias dos painéis e, portanto, praticamente divide por dois as tensões a serem obtidas.

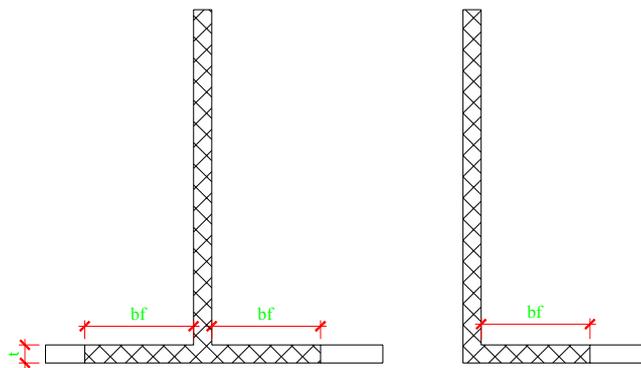


Figura 4.2 – Definição das abas.

De acordo com a NBR 10837 (ABNT, 1989), o comprimento das abas não deve exceder os valores expressos na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Valores para as abas NBR 10837 (ABNT, 1989).

<i>Tipo de seção</i>	<i>Limites</i>
Seção T ou I	$2 \cdot b_f \leq \frac{h}{6}$ ou $b_f \leq 6 \cdot t$
Seção L ou C	$b_f \leq \frac{h}{16}$ ou $b_f \leq 6 \cdot t$

onde h = altura de parede acima da seção considerada.

Sabendo-se o valor da força horizontal total (vento + desaprumo) atuante em cada pavimento (F_{tot}) e considerando as informações acima, pode-se calcular a tensão sob a qual está submetida cada parede resistente.

A força atuante em cada parede é proporcional ao seu momento de inércia. Então, calcula-se o momento de inércia de cada parede (Equação 4.4):

$$\sum I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n \quad 4.4$$

O coeficiente de proporcionalidade (rigidez) de cada parede é dado pela relação entre o momento de inércia individual e a soma das inércias (Equação 4.5):

$$R_i = \frac{I_i}{\sum I} \quad 4.5$$

A força atuante em cada parede será o resultado do produto da força total atuante no pavimento pela sua respectiva rigidez (Equação 4.6):

$$F_i = F_{tot} \cdot R_i \quad 4.6$$

Conhecendo-se o valor da força aplicada na parede e aplicando os conhecimentos básicos de resistência dos materiais, pode-se calcular a tensão máxima positiva e negativa atuante na parede.

$$\sigma = \frac{M}{W} \quad 4.7$$

onde: M = momento fletor atuante na parede;

W = módulo de resistência à flexão.

$$W = \frac{I}{y_{max}} \quad 4.8$$

4.3 ESTABILIDADE GLOBAL DA ESTRUTURA

É recomendável realizar a verificação da estabilidade global da estrutura em qualquer edifício. Esta verificação torna-se indispensável caso haja suspeita sobre sua condição de deslocabilidade.

O carregamento vertical da estrutura, atuando nos deslocamentos horizontais provocados pelo carregamento horizontal, gera um acréscimo de momento, chamado de *momento de segunda ordem*.

Como todo o material tem sua flexibilidade, é pouco provável existir uma estrutura indeslocável. No entanto, se os deslocamentos da estrutura forem pequenos, pode-se deixar de avaliar influência desta deslocabilidade, pois não representa um acréscimo significativo nos esforços de primeira ordem.

Para avaliar a deslocabilidade, existem dois métodos mais conhecidos: o método do *Parâmetro α* e o método do *Parâmetro γ_z* , que serão detalhados, ainda neste capítulo, em tópicos específicos. O resultado obtido depois de aplicado esses métodos, indica se a estrutura pode ser considerada indeslocável ou se há a necessidade de analisar os acréscimos de segunda ordem aos esforços.

Para avaliar esses acréscimos, quando necessário, existem procedimentos rigorosos e simplificados. Os métodos rigorosos dependem de programas computacionais de pórtico plano ou tridimensional. Já os métodos simplificados, podem ser utilizados com programas computacionais de pórtico convencional, sem a consideração da não-linearidade geométrica.

Apenas para fins de conhecimento, cita-se a seguir, um dos processos simplificados para determinação dos esforços de segunda ordem, chamado de P- Δ .

O processo P- Δ é um processo iterativo, tal como todos os outros, simplificados ou rigorosos. Na primeira etapa, a estrutura é analisada com a atuação simultânea das ações verticais e horizontais, obtendo-se os deslocamentos dos pontos nodais. Através desses

deslocamentos são calculados acréscimos de momento fletor ao longo da altura do edifício e esses acréscimos são transformados, por equilíbrio, em forças horizontais equivalentes que são somadas às ações originais. A estrutura é novamente processada e com a obtenção dos novos deslocamentos são calculados novos esforços e ações horizontais. O processo continua até que os acréscimos obtidos para deslocamento, esforços ou ações sejam suficientemente pequenos. Esse processo apresenta resultados muito satisfatórios (RAMALHO E CORRÊA, 2003).

4.3.1 Parâmetro α

O parâmetro α pode ser avaliado de acordo com a Equação 4.9:

$$\alpha = H \cdot \sqrt{\frac{P}{E \cdot I}} \quad 4.9$$

onde: α = parâmetro de instabilidade;

H = altura total do edifício;

P = peso total da edificação;

EI = rigidez à flexão do sistema de contraventamento.

Quando o parâmetro α apresentar os seguintes resultados, a estrutura poderá ser considerada pouco deslocável, sem a necessidade de avaliar os esforços de segunda ordem:

$\alpha \leq 0,7$ – para sistemas compostos apenas por pilares-parede

$\alpha \leq 0,6$ – para sistemas mistos

$\alpha \leq 0,5$ – para sistemas compostos apenas por pórticos

Quando o parâmetro α exceder os valores apresentados, o projetista deve necessariamente providenciar a análise do edifício em teoria de segunda ordem, de forma a avaliar corretamente o acréscimo nos esforços (RAMALHO E CORRÊA, 2003).

4.3.2 Parâmetro γ_z

Considerado mais adequado que o procedimento anterior, pois estima o acréscimo de esforços de segunda ordem. É como estimar os valores de convergência de um processo P- Δ apenas com os resultados da primeira etapa. A expressão desse método é representada pela Equação 4.10:

$$\gamma_z = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M}{M_1}} \quad 4.10$$

onde: ΔM = acréscimo de momento devido aos deslocamentos horizontais;

M_1 = momento de primeira ordem

Utiliza-se o limite de 10% para avaliar a deslocabilidade da estrutura. Dessa maneira, tem-se:

$\gamma_z \leq 1,10$ = estrutura indeslocável;

$\gamma_z > 1,10$ = estrutura deslocável.

Obtido um valor de γ_z entre 1,10 e 1,20, pode-se utilizar o próprio parâmetro como multiplicador de esforços de primeira ordem para a obtenção dos esforços de segunda ordem (Equação 4.11):

$$M_2 = \gamma_z \cdot M_1 \quad 4.11$$

onde: M_1 = esforços de primeira ordem;

M_2 = esforços finais de segunda ordem;

γ_z = parâmetro com valor entre 1,10 e 1,20.

4.4 DIMENSIONAMENTO DA ALVENARIA

A alvenaria é formada por bloco, argamassa, graute e armadura. Portanto, sua resistência depende do comportamento de todos esses materiais. Anteriormente foi discutido sobre a argamassa, graute e armadura.

Neste item será tratado, com mais detalhes, o comportamento e a influência do bloco na resistência da alvenaria. Além de analisar o bloco, serão abordados outros fatores que determinam a resistência da alvenaria, tais como a espessura, a altura e a esbelteza das paredes.

4.4.1 Bloco

As características do bloco têm caráter predominante sobre a resistência da alvenaria. Wendler (1999) cita algumas dessas características, tais como: resistência característica à compressão; baixa absorção de água; uniformidade de dimensões; proporção das dimensões (comprimento, largura e altura) e condições de cura.

Dentre as características citadas acima, a mais importante, sem dúvidas, é a resistência característica à compressão. Para blocos utilizados em alvenaria estrutural, essa resistência é limitada a um valor mínimo de 4,5 MPa.

4.4.2 Prisma de blocos

Os prismas são elementos obtidos pela superposição de dois ou mais blocos unidos com argamassa, destinados ao ensaio de compressão. A NBR 10837 (ABNT, 1989) estima a resistência de paredes através do ensaio de prismas. Obviamente, é importante que os prismas sejam executados nas mesmas condições verificadas na obra. O ensaio pode ser realizado com facilidade, até mesmo com uma prensa manual instalada no próprio canteiro de obras.

No resultado de resistência obtido com o ensaio do prisma à compressão são consideradas, além da resistência do bloco, as características da argamassa e a espessura da junta horizontal. Ensaando-se apenas o bloco, não seria possível correlacionar todos esses parâmetros.

4.4.3 Eficiência

Trabalha-se usualmente com duas eficiências diferentes. A primeira é o parâmetro que quantifica matematicamente a relação entre a resistência da parede de alvenaria e a

resistência do bloco, a qual pode ser chamada de *Eficiência parede-bloco*, representada pela expressão:

$$\eta_{par-bl} = \frac{f_{par}}{f_b} \quad 4.12$$

onde: η_{par-bl} = eficiência parede-bloco;

f_{par} = resistência da parede;

f_b = resistência do bloco.

A outra eficiência é o parâmetro que quantifica matematicamente a relação entre a resistência do prisma e a resistência do bloco, a qual pode ser chamada de *Eficiência prisma-bloco*.

$$\eta_{p-bl} = \frac{f_p}{f_b} \quad 4.13$$

onde: η_{p-bl} = eficiência prisma-bloco;

f_p = resistência da parede;

f_b = resistência do bloco.

A eficiência costuma variar em função da forma, material e resistência do bloco. Normalmente, quanto mais resistente for o bloco menor será a eficiência e vice-versa.

Segundo Wendler (1999), a *Eficiência Prisma-Bloco* varia entre 70% e 110% e a *Eficiência Parede-Bloco* varia entre 30% e 80%. Andolfato et al (2003) divulgaram resultados de *Eficiência Prisma-Bloco* que variaram entre 61% a 85%, para blocos de concreto, de acordo com o traço de argamassa utilizado.

Medeiros (1993), em ensaios experimentais, encontrou valores médios de *Eficiência Parede-Bloco* iguais à 53%, 46%, 50% e 38% para resistências características dos blocos de concreto iguais à 8,4 MPa, 10,8 MPa, 11,1 MPa e 14,9 MPa, respectivamente. Ramalho e Corrêa (2003) estimam a *Eficiência Parede-Bloco* entre 40% e 60% para blocos de concreto e entre 20% e 50% para blocos cerâmicos. Estes últimos também estimam a *Eficiência Prisma-Bloco* em 50% a 90% para blocos de concreto e em 30% a 60% para blocos cerâmicos.

4.4.4 Espessura efetiva

Nos casos usuais, a espessura efetiva de uma parede é sua espessura real descontando-se os revestimentos. Quando existe a presença de enrijecedores (Figura 4.3), é possível determinar uma espessura efetiva equivalente. A espessura efetiva é calculada de acordo com a Equação 4.14, com o auxílio da Tabela 4.3. A NBR 10837 (ABNT, 1989) estabelece o valor mínimo de 14 cm para a espessura das paredes.

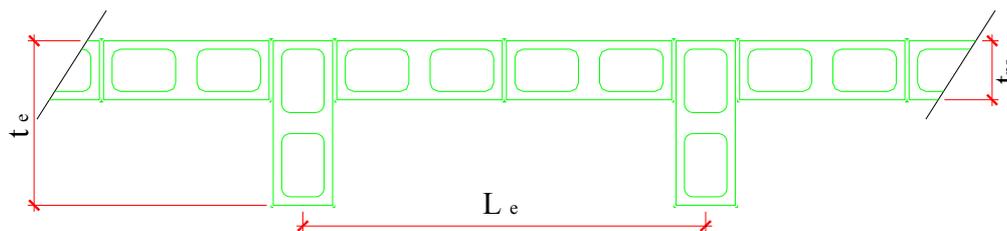


Figura 4.3 – Parâmetros para cálculo da espessura efetiva de paredes NBR 10837 (ABNT, 1989).

$$t_{ef} = \delta \cdot t_{pa} \tag{4.14}$$

Tabela 4.3 – Coeficiente δ de acordo com a NBR 10837 (ABNT, 1989).

L_e / t_e	$t_e / t_{pa} = 1$	$t_e / t_{pa} = 2$	$t_e / t_{pa} = 3$
6	1,0	1,4	2,0
8	1,0	1,3	1,7
10	1,0	1,2	1,4
15	1,0	1,1	1,2
≥ 20	1,0	1,0	1,0

4.4.5 Altura efetiva

Conforme a NBR 10837 (ABNT, 1989), quando a parede é apoiada na base e no topo, segundo a direção normal ao seu plano médio, a altura efetiva deve ser a própria altura real da parede ($h_{ef} = h$). Quando não há nenhum apoio no topo, a altura efetiva será duas vezes a altura da parede acima de sua base ($h_{ef} = 2h$).

4.4.6 Esbeltez

A esbeltez é definida pela divisão da altura efetiva pela espessura efetiva ($\lambda = h_{ef} / t_{ef}$).

A NBR 10837 (ABNT, 1989) prescreve os valores limites de esbeltez apresentados na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 – Índices máximos de esbeltez da NBR 10837 (ABNT, 1989).

<i>Tipo de alvenaria</i>	<i>Elemento</i>	<i>Esbeltez</i>
Não-armada	Paredes	20
	Pilares (*)	20
Armada	Paredes e pilares	30

(*) segundo a NBR 10837 (ABNT, 1989) os pilares têm comprimento menor que cinco vezes a sua espessura.

4.4.7 Parâmetros de resistência – Tensões admissíveis

Resumindo as suas próprias prescrições, a NBR 10837 (ABNT, 1989) apresenta as seguintes tabelas para as tensões admissíveis para a alvenaria não-armada, para a alvenaria armada e para o aço (Tabela 4.5, Tabela 4.6 e Tabela 4.7, respectivamente).

Tabela 4.5 – Tensões admissíveis para alvenaria não-armada de acordo com NBR 10837 (ABNT, 1989).

<i>Tipo de solicitação</i>		<i>Tensão admissível (MPa)</i>		
		$12,0 \leq f_a \leq 17,0$	$5,0 \leq f_a \leq 12,0$	
Tensões normais	Compressão simples	$0,20 \cdot f_p \cdot R$ ou $0,286 \cdot f_{par} \cdot R$	$0,20 \cdot f_p \cdot R$ ou $0,286 \cdot f_{par} \cdot R$	
	Compressão na flexão	$0,30 \cdot f_p$	$0,30 \cdot f_p$	
	Tração na flexão	Normal à fiada	0,15 (bloco vazado)	0,10 (bloco vazado)
			0,25 (bloco maciço)	0,15 (bloco maciço)
		Paralela à fiada	0,30 (bloco vazado)	0,20 (bloco vazado)
			0,55 (bloco maciço)	0,40 (bloco maciço)
Cisalhamento		0,25	0,15	

Tabela 4.6 – Tensões admissíveis para a alvenaria armada de acordo com a NBR 10837 (ABNT, 1989).

<i>Tipo de solicitação</i>			<i>Tensão admissível (MPa)</i>	<i>Valor máximo (MPa)</i>	
Compressão	Compressão simples		$0,225 \cdot f_p \cdot R$	$0,33 \cdot f_p \leq 6,2$	
	Compressão na flexão		$0,33 \cdot f_p$	6,2	
Cisalhamento	Peças fletidas sem armadura	Vigas		$0,09 \cdot \sqrt{f_p}$	0,35
		Pilares e paredes	Se $\frac{M}{V \cdot d} \geq 1$	$0,07 \cdot \sqrt{f_p}$	0,25
			Se $\frac{M}{V \cdot d} < 1$	$0,17 \cdot \sqrt{f_p}$	0,35
	Peças fletidas com armadura para todas as tensões de cisalhamento	Vigas		$0,25 \cdot \sqrt{f_p}$	1
		Pilares e paredes	Se $\frac{M}{V \cdot d} \geq 1$	$0,12 \cdot \sqrt{f_p}$	0,5
			Se $\frac{M}{V \cdot d} < 1$	$0,17 \cdot \sqrt{f_p}$	0,8
Módulo de deformação			$400 \cdot f_p$	8000	
Módulo de deformação transversal			$200 \cdot f_p$	3000	
Tensão de contato	Em toda a espessura da parede		$0,250 \cdot f_p$		
	Em 1/3 da espessura (mínimo)		$0,375 \cdot f_p$		
	Entre os limites acima		Interpolar os valores anteriores		
Aderência			1,0		

onde: f_a , f_p e f_{par} = resistências da argamassa, prisma e parede, respectivamente;

M e V = momento fletor e força cortante em paredes de contraventamento;

d = distância entre a face comprimida e a armadura (área útil da seção);

$$R = 1 - \left(\frac{h_{ef}}{40 \cdot t_{ef}} \right)^3 = \text{fator de redução da resistência associado à esbeltez } (h_{ef} / t_{ef}).$$

Tabela 4.7 – Tensões admissíveis no aço, conforme NBR 10837 (ABNT, 1989).

<i>Solicitação</i>	<i>Armadura</i>	<i>Tensão admissível (MPa)</i>
Tração	Barras com mossas, $f_{yd} \geq 412$ MPa e $\phi \leq 32$ mm	165
	Barras colocadas na argamassa de assentamento	$0,50 \cdot f_{yd} \leq 206$
	Outras armaduras	137
Compressão	Armaduras de pilares	$0,40 \cdot f_{yd} \leq 165$
	Armaduras em paredes	62

Na flexão composta da alvenaria não-aramada, a NBR 10837 (ANBT, 1989) em seu item 5.1.5, impõe a verificação da expressão representa pela Equação 4.15.

$$\frac{f_{alv,c}}{\bar{f}_{alv,c}} + \frac{f_{alv,f}}{\bar{f}_{alv,f}} \leq 1 \quad 4.15$$

onde: $f_{alv,c}$ = tensão de compressão atuante;

$\bar{f}_{alv,c}$ = tensão admissível à compressão;

$f_{alv,f}$ = tensão de flexão atuante;

$\bar{f}_{alv,f}$ = tensão admissível de flexão.

Caso a combinação inclua o esforço de vento, a tensão admissível pode ser acrescida em 33%, podendo reescrever-se a expressão anterior da forma representada pela Equação 4.16.

$$\frac{f_{alc,c}}{\bar{f}_{alc,c}} + \frac{f_{alc,f}}{\bar{f}_{alc,f}} \leq 1,33 \quad 4.16$$

4.4.8 Parâmetros de resistência – Estados limites

No item anterior foram vistos os parâmetros de resistência da alvenaria de acordo com o método das Tensões Admissíveis.

O método das tensões admissíveis introduz a segurança no projeto estrutural mediante o estabelecimento de um coeficiente de segurança interno γ_i . É imposta a condição de que as maiores tensões na estrutura não ultrapassem valores admissíveis, estabelecidos de forma empírica, a partir da divisão de tensões de ruptura ou de escoamento pelo coeficiente γ_i (RAMALHO E CORRÊA, 2003).

A NBR10837 (ABNT, 1989), e também a norma americana (ACI 530), na qual a norma brasileira foi baseada, ainda mantêm a utilização do método das tensões admissíveis no cálculo da alvenaria estrutural. No entanto, o cálculo da resistência utilizando o método dos Estados Limites é uma evolução natural. Inclusive as normas brasileiras para cálculo de estruturas de concreto armado, estruturas de madeira e estruturas de aço anteriormente consideravam o método das Tensões Admissíveis e hoje já utilizam o método dos Estados Limites.

Já no caminho dessa evolução, Andrade (2000), em sua tese de Doutorado, procura desenvolver um modelo de verificação de segurança baseado no método probabilista dos estados limites últimos para a alvenaria estrutural.

O caminho contemporâneo para verificação da segurança é a utilização do método probabilista dos estados limites. Nesse método as variáveis estruturais são consideradas grandezas aleatórias e a segurança é verificada por meio de probabilidades associadas à ocorrência de certos estados limites (ANDRADE, 2000).

A BS 5628:Part 1 (BSI, 1978), baseia-se no método dos estados limites como método de verificação da segurança. As resistências características podem ser obtidas na própria norma através de valores tabelados, como os que são apresentados na Tabela 4.8, ou através de gráficos.

Enquanto a NBR 10837 (ABNT, 1989) estima a resistência da alvenaria em função da resistência do prisma, a BS 5628:Part 1 (BSI, 1978) utiliza os componentes da alvenaria como método principal para a estimativa da resistência. A Tabela 4.8 mostra a estimativa da resistência da alvenaria em função do tipo de argamassa, da resistência dos blocos e de

suas dimensões (relação entre altura e a menor dimensão do bloco na horizontal entre 2,0 e 4,0). A Tabela 4.9 apresenta as especificações para cada tipo de argamassa.

Tabela 4.8 – Resistência da alvenaria – Bloco vazado com altura/largura entre 2,0 e 4,0 conforme BS 5628:Part 1 (BSI, 1978).

Tipo de argamassa	Resistência à compressão dos blocos (N/mm ² *)							
	2,8	3,5	5	7	10	15	20	≥35
(i)	2,8	3,5	5	5,7	6,1	6,8	7,5	11,4
(ii)	2,8	3,5	5	5,5	5,7	6,1	6,5	9,4
(iii)	2,8	3,5	5	5,4	5,5	5,7	5,9	8,5
(iv)	2,8	3,5	4,4	4,8	4,9	5,1	5,3	7,3

*Obs.: 1 N/mm² = 1 MPa.

Tabela 4.9 – Características desejáveis para as argamassas de assentamento conforme prescrito pela BS 5628:Part 1 (BSI, 1978).

	Argamassa	Tipo de argamassa (proporção em volume)			Resistência média a compressão aos 28 dias (N/mm ² *)	
		Cimento: cal: areia	Cimento de alvenaria: areia	Cimento: areia com plastificante	Ensaio preliminares (laboratoriais)	Ensaio "in loco"
↑ Aumento da resistência ↓ Habilidade crescente de acomodação ao movimento	(i)	1 : 0 a ½ : 3			16,0	11,0
	(ii)	1 : ½ : 4 a 4½	1 : 2½ a 3½	1 : 3 a 4	6,5	4,5
	(iii)	1 : 1 : 5 a 6	1 : 4 a 5	1 : 5 a 6	3,6	2,5
	(iv)	1 : 2 : 8 a 9	1 : 5½ a 6½	1 : 7 a 8	1,5	1,0
A direção da mudança nas propriedades é mostrada pelas setas		→ aumento da resistência ao congelamento durante a construção ← Melhoria das juntas e consequente resistência à penetração da chuva				

*Obs.: 1 N/mm² = 1 MPa.

Para se obter o valor de cálculo para resistência à compressão da alvenaria, segundo a BS 5628:Part 1 (BSI, 1978), utiliza-se a Equação 4.17:

$$f_d = \frac{\beta \cdot f_k}{\gamma_m} \quad 4.17$$

onde: f_d = resistência de cálculo à compressão;

β = fator de redução devido à esbelteza e à excentricidade;

γ_m = coeficiente de segurança parcial para o material.

O coeficiente β pode ser obtido da Tabela 4.10, em função do coeficiente de esbelteza λ e da excentricidade e_x , que é devida ao carregamento.

Em sua cláusula 31, a BS 5628:Part 1 (BSI, 1978) normaliza que, preferencialmente, a excentricidade no carregamento de paredes deve ser calculada, mas a juízo do projetista, pode-se considerar que a carga transmitida a uma parede por uma laje simples atua a um terço do comprimento do apoio a partir da face da parede.

Tabela 4.10 – Coeficiente β conforme BS 5628:Part 1 (BSI, 1978).

Esbelteza $\lambda = \frac{h_{ef}}{t_{ef}}$	Excentricidade das cargas no topo da parede, e_x			
	$\leq 0,05t$	$0,1t$	$0,2t$	$0,3t$
0	1,00	0,88	0,66	0,44
6	1,00	0,88	0,66	0,44
8	1,00	0,88	0,66	0,44
10	0,97	0,88	0,66	0,44
12	0,93	0,87	0,66	0,44
14	0,89	0,83	0,66	0,44
16	0,83	0,77	0,64	0,44
18	0,77	0,70	0,57	0,44
20	0,70	0,64	0,51	0,37
22	0,62	0,56	0,43	0,30
24	0,53	0,47	0,34	-
26	0,45	0,38	-	-
27	0,40	0,33	-	-

Quando a laje é contínua sobre a parede, considera-se que cada lado da laje seja suportado individualmente por metade da área total de apoio. A excentricidade resultante da carga em qualquer nível pode ser calculada supondo-se que a carga vertical total sobre uma parede seja axial imediatamente acima de um suporte lateral.

Seguindo a possibilidade de estimar o valor de e_x , temos que seu valor pode ser calculado utilizando a Equação 4.18, quando a laje atua por apenas um lado da parede e utilizando a Equação 4.19, quando a laje atua pelos dois lados.

O valor de C_1 é correspondente à carga centrada que vem dos pavimentos superiores e os valores de C_2 e C_3 são correspondentes às cargas com excentricidade que vêm das lajes no próprio nível considerado, como visto na Figura 4.4.

$$e_x = \frac{C_2 \cdot \left(\frac{t}{6}\right)}{C_1 + C_2} \tag{4.18}$$

$$e_x = \frac{(C_2 - C_3) \cdot \left(\frac{t}{3}\right)}{C_1 + C_2 + C_3} \tag{4.19}$$

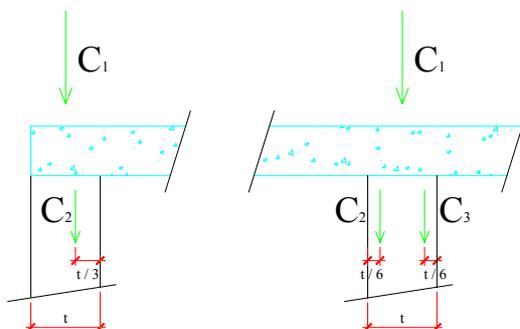


Figura 4.4 – Valores de C_1 , C_2 e C_3 para cálculo da excentricidade.

Finalmente, o valor de γ_m pode ser obtido na Tabela 4.11, em função do controle existente na manufatura dos blocos e na construção.

Obviamente, a determinação da resistência de projeto à compressão de paredes pela BS 5628:Part 1 (BSI, 1978) é mais complexa do que a simples utilização de valores admissíveis. Ainda mais se considerarmos que os carregamentos também devem ser

multiplicados por coeficientes de segurança parciais específicos para o cálculo da tensão atuante.

Tabela 4.11 – Coeficiente de segurança parcial conforme BS 5628:Part 1 (BSI, 1978).

<i>Valore de γ_m</i>		<i>Categoria do controle na construção</i>	
		<i>Especial</i>	<i>Normal</i>
Categoria do controle na produção dos blocos	Especial	2,5	3,1
	Normal	2,8	3,5

Entretanto, essa maior complexidade é que realmente permite se obter economias mais significativas, quando isso é possível, ou então penalizações adequadas para situações de risco. A complexidade, nesse caso, é justificável exatamente por tratar de forma diferente situações que são realmente diferentes.

CAPÍTULO 5

IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL

Na busca de uma maior agilidade no desenvolvimento de um projeto em alvenaria estrutural, a implementação computacional das etapas de projeto e cálculo torna-se inevitável.

Nesse trabalho foi desenvolvido um programa destinado a auxiliar o calculista no detalhamento e no cálculo de projetos em alvenaria estrutural. Esse programa foi chamado de “ALVCAD”.

Após uma averiguação de qual seria a melhor linguagem de programação a ser utilizada, optou-se por trabalhar com rotinas que personalizam o programa AutoCAD, *software* voltado especificamente para desenho, como será visto com mais detalhes adiante.

O ALVCAD desenha todas as paredes, em planta baixa e elevação, a partir do desenho arquitetônico. Porém, este último deve ser preparado anteriormente, considerando as dimensões dos blocos, pois o trabalho de modulação não é realizado pelo ALVCAD.

Depois de desenhadas as paredes em planta baixa, definidas as aberturas, os grupos resistentes de paredes e as lajes, o ALVCAD calcula os esforços atuantes em cada grupo de parede, considerando os carregamentos verticais, horizontais e verificando a estabilidade global da estrutura.

O ALVCAD segue as especificações da NBR 10837 (ABNT, 1989) e adota o método dos *grupos isolados de paredes* para o carregamento vertical e o método das *paredes isoladas* para o carregamento horizontal.

Finalmente, o ALVCAD, detalha cada uma das paredes, desenhando-as em elevação e informando, dentre outras coisas: o número de blocos a serem utilizados em cada fiada; a posição das vergas, contravergas e cintas e a posição, numeração e dimensão de todas as armaduras.

Para a emissão e exibição dos relatórios de resultados, foram automatizadas rotinas que enviam os dados para uma planilha do *Excel*, formatando-as automaticamente. Dessa forma, o usuário grava e armazena os relatórios da forma que desejar.

5.1 LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO

A escolha da linguagem de programação é muito importante. No desenvolvimento de um projeto de alvenaria estrutural essa preocupação torna-se fundamental, pois nesse caso, a linguagem deve propiciar riqueza de detalhes gráficos e facilidade no desenvolvimento de cálculos.

Averiguou-se que criar um ambiente gráfico específico para o programa demandaria um grande trabalho e tomaria um tempo excessivo. No caso de uma dissertação de mestrado, o tempo é um fator muito relevante, visto as exigências governamentais com relação à duração máxima do curso.

Voltando-se as atenções para um *software* especificamente gráfico, e tendo como experiência anterior, o trabalho de Racanicchi (2001), optou-se por trabalhar com o AutoCAD.

Em sua dissertação, Racanicchi (2001) automatizou desenhos e procedimentos gráficos para projetos de alvenaria estrutural, utilizando a linguagem AutoLISP. Esta linguagem é uma das linguagens incorporadas no AutoCAD, capaz de programar, através de códigos, os comandos desse *software*.

A outra linguagem de programação incorporada no AutoCAD, a partir de sua versão 2000, é o *Visual Basic Applications (VBA)*. O *VBA* é uma derivação da linguagem de programação *Visual Basic*, mais conhecida como *VB*, desenvolvida pela *Microsoft* e largamente utilizada em todo o mundo.

O *VBA* é incorporado em todos os programas desenvolvidos pela *Microsoft* e possibilita a automatização de comandos dentro desses programas, tais como *Word*, *Excel*, *Power Point*. A sua utilização permite a criação de pequenas rotinas repetitivas, chamadas de *macros*.

Os procedimentos para o desenvolvimento do projeto e do cálculo da alvenaria estrutural são bastante repetitivos, vislumbrando a possibilidade de utilização de *macros* para automatizar essas rotinas.

No entanto, a criação de macros gravadas num determinado arquivo do AutoCAD obrigaria o usuário a utilizar sempre esse arquivo para o desenvolvimento de seu trabalho, criando cópias com nomes diferentes para cada projeto específico. Além disso, o usuário ficaria limitado à utilização da versão do AutoCAD na qual as macros fossem criadas, podendo, no máximo, utilizar versões posteriores.

Com o objetivo de evitar tais limitações, optou-se pela utilização do *VB* independente de aplicativos. As rotinas criadas diretamente no *VB* controlam o AutoCAD. Dessa forma, não é necessário gravar nenhum código ou arquivo diretamente na base de dados do AutoCAD, trabalhando-se com o AutoCAD e o *VB* independentemente.

A única limitação de versão se deve ao fato do AutoCAD permitir a utilização do *VBA* apenas a partir de sua versão 2000, podendo o usuário utilizar as versões 2000, 2002, 2004 ou 2005.

Apesar das rotinas do *VB* controlarem o AutoCAD, é perfeitamente possível realizar comandos diretamente no AutoCAD, mesmo com o ALVCAD sendo utilizado. Porém é necessária muita atenção, pois se for utilizado o AutoCAD diretamente, algumas

informações fundamentais para o banco de dados do ALVCAD podem deixar de ser registradas.

A aprendizagem de alguns recursos da linguagem de programação foi através de consulta à Finkelstein (2000) e através de pesquisas na *Internet*.

Os tutoriais de ajuda dos programas foram de grande valia, onde puderam ser consultados exemplos completos das rotinas. Outra fonte importante, onde encontram-se muitos exemplos de rotinas em *VB*, é o *site* www.macoratti.net.

5.2 ESTRUTURA DO PROGRAMA

5.2.1 Rotinas de programação - *Visual Basic*

O *Visual Basic*, como o próprio nome indica, é uma linguagem visual. Todo o programa é construído dentro de um projeto, que foi chamado de “Alvcad”. Pertencentes a esse projeto, são criados diversos formulários, que são as “janelas” do programa. Cada “janela” é construída de acordo com a sua utilização, onde são inseridos botões de comandos, caixas de texto, figuras, entre outros (Figura 5.1).

São criados também alguns módulos de programação, que não estão vinculados a nenhum formulário, e onde são desenvolvidas as funções de comando globais, utilizadas para executar algumas ações repetitivas.

As rotinas são programadas através de códigos escritos na linguagem padrão do *VB* e vinculadas a cada ação ou comando. Por exemplo, ao clicar em determinado botão, a rotina ligada a esse botão será executada.

Na Figura 5.2 é mostrado um outro formulário, com um botão de comando selecionado. Ao selecionar-se esse botão, suas características aparecem na barra *Properties*. Ao clicar duas vezes sobre ele, abre-se a tela com o código vinculado, como mostrado na Figura 5.3.

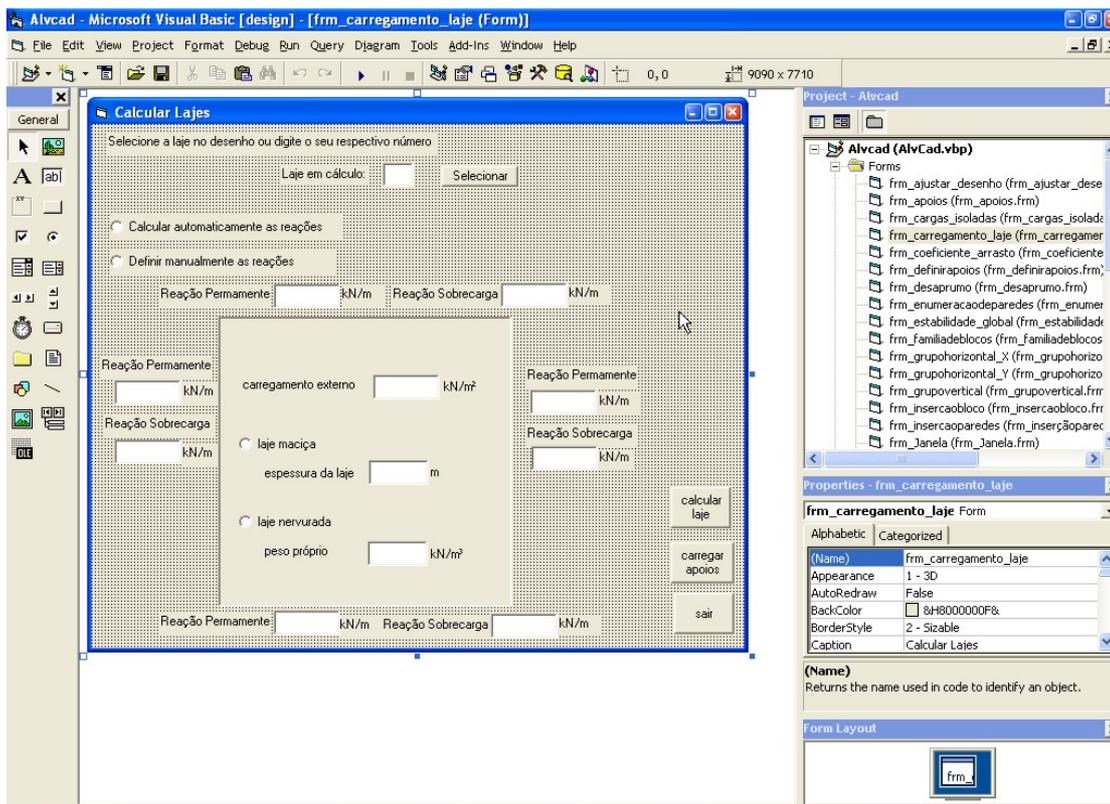


Figura 5.1 – Exemplo de uma tela do *Visual Basic*.

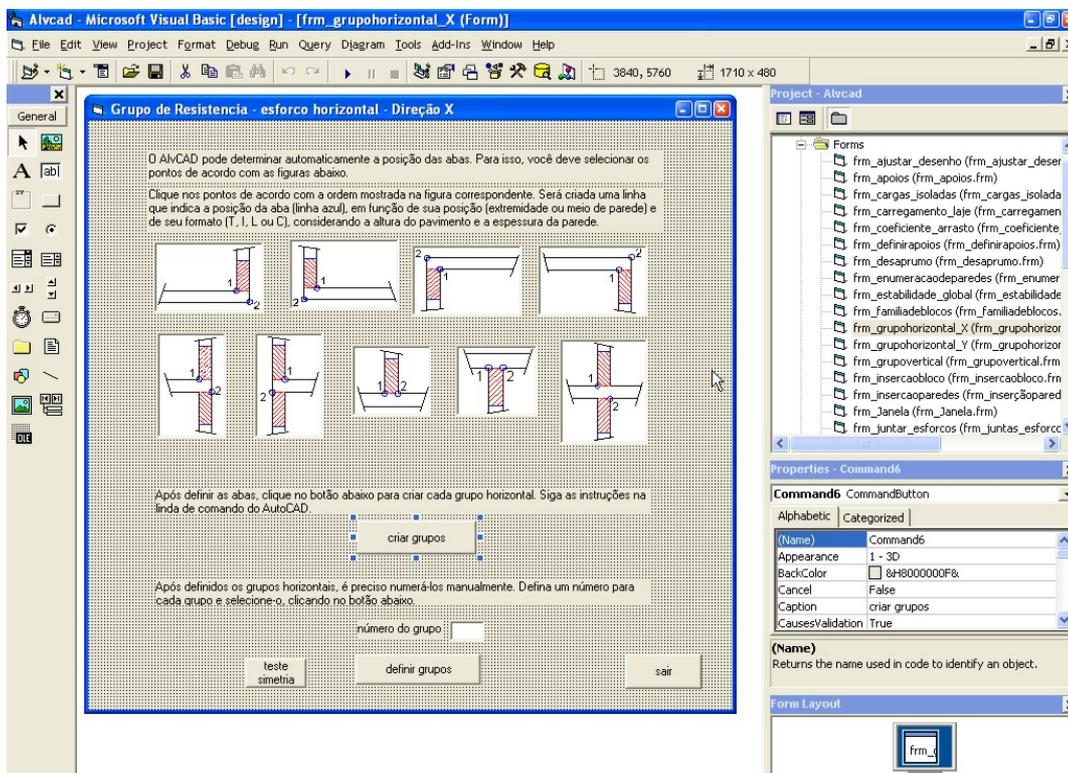


Figura 5.2 – Tela do *VB* com botão “criar grupos” selecionado.

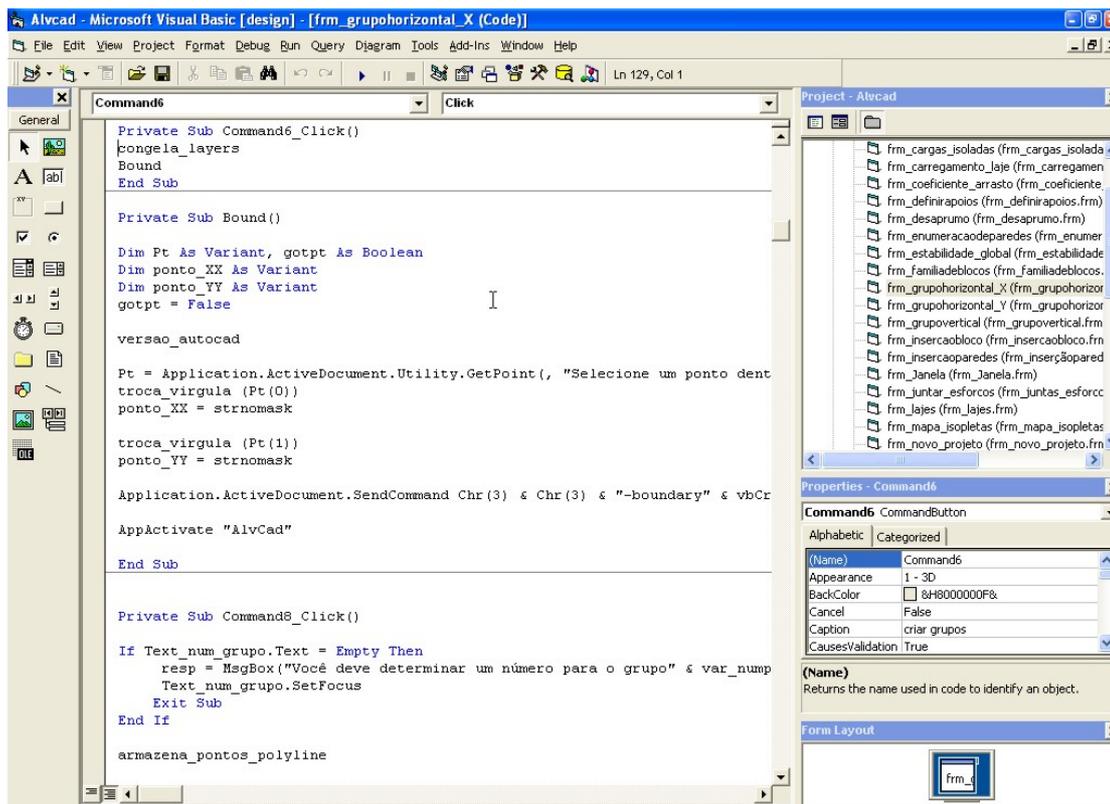


Figura 5.3 – Código vinculado ao botão chamado “Command6”.

5.2.2 Banco de Dados – Microsoft Access

Para o funcionamento do ALVCAD, muitas informações devem ser armazenadas, tais como, pontos de inserção dos blocos, quantidade de pavimentos, pé-direito, entre outras.

O ALVCAD utiliza o *software Microsoft Access*, que também foi desenvolvido pela *Microsoft* e é um dos componentes do pacote *Microsoft Office*. O Banco de Dados é composto por várias tabelas e consultas utilizadas para garantir o funcionamento do ALVCAD (Figura 5.4, Figura 5.5 e Figura 5.6).

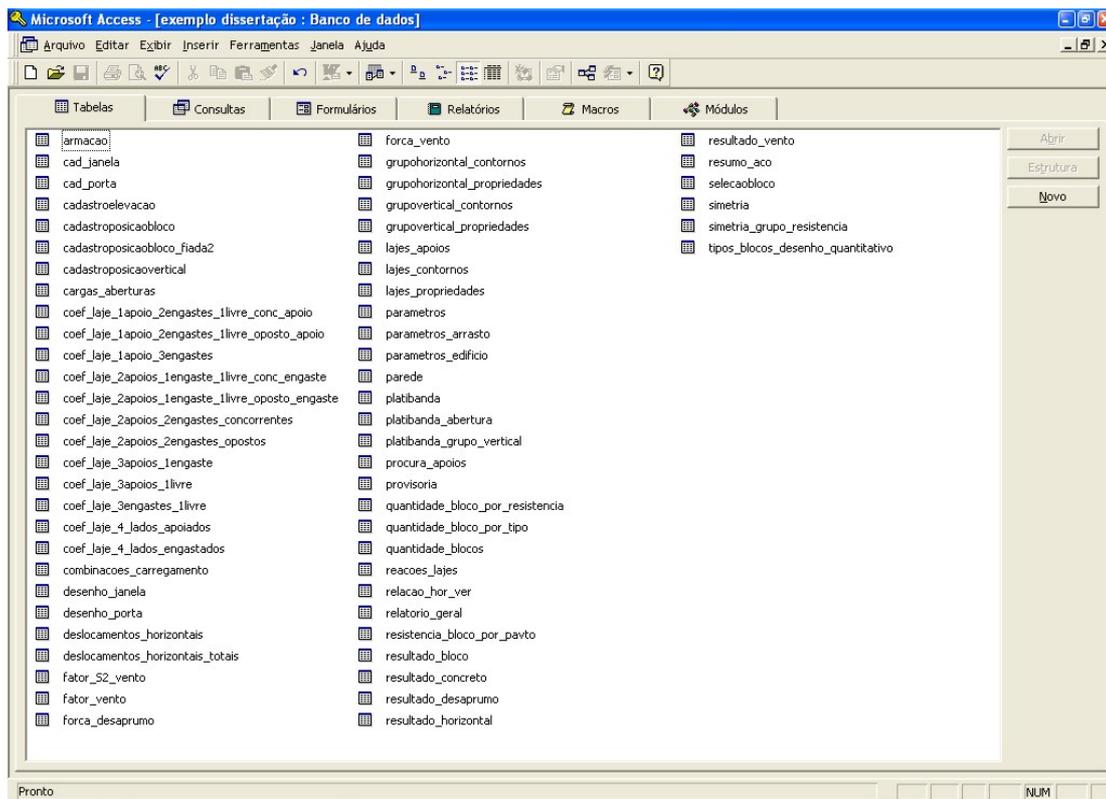


Figura 5.4 – Tela do Access com as TABELAS utilizadas no ALVCAD.

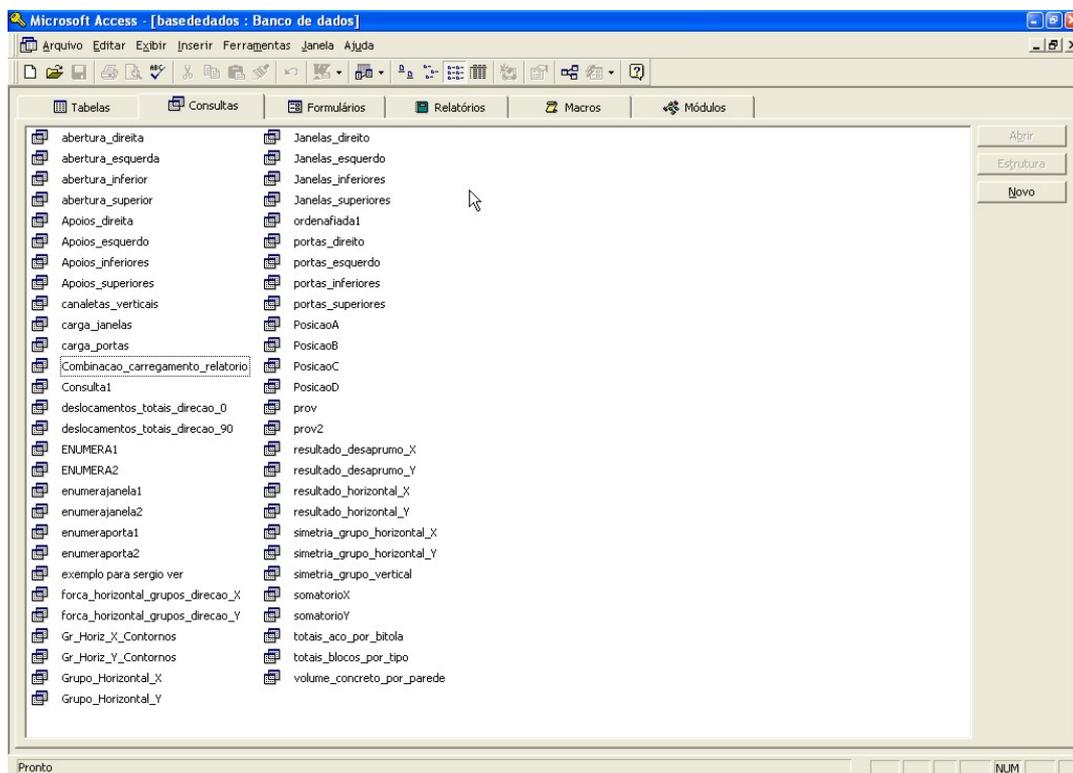


Figura 5.5 – Tela do Access mostrando as CONSULTAS utilizadas no ALVCAD.

Código	abertura	numero	pontoinicial	pontofinal	posicao	laje	reacao_ext	reacao_pp	apoio1	apoio2
3225	porta	1	3,7	4,5	A	7	1,6482000476	2,7470000793	7	8
3226	janela	1	8,5500000000	9,45	A	6	2,4235499652	4,0392499421	4	5
3223	porta	1	3,7	4,5	C	5	0,4596667003	0,7661111671	7	8
3214	janela	2	3,6969350723	4,4969350723	A	2	0,2002777811	0,3337963019	1	2
3227	porta	2	5,85	6,65	A	6	2,4235499652	4,0392499421	2	4
3218	porta	2	5,85	6,65	C	3	1,1223558618	1,4029448273	2	4
3221	porta	3	3,9	4,5	A	5	0,4596667003	0,7661111671	1	2
3215	porta	3	3,9	4,5	C	2	0,5113889091	0,8523148485	1	2
3216	janela	3	5,25	6,45	A	3	0,43041631	0,5380203875	2	3
3213	janela	4	1,4974972513	3,0974972513	B	1	1,1808749634	1,968124939	1	7
3224	porta	4	2,85	3,7	B	5	0,4941749686	0,8236249477	1	7
3212	porta	4	2,85	3,7	D	1	2,1758249297	3,6263748828	1	7
3222	porta	5	2,9	3,7	D	5	0,4941749686	0,8236249477	2	8
3228	porta	5	2,9	3,7	B	6	1,6340180606	2,7233634343	2	8
3230	janela	5	4,65	6,25	B	7	1,5248746356	2,541457726	7	8
3219	janela	6	0,75	1,95	D	4	0,6951000038	0,8688750048	3	4
3217	porta	6	1,5500000000	2,3500000000	D	3	1,4953999408	1,869249926	3	4
3220	porta	6	1,5500000000	2,3500000000	B	4	1,2794999825	1,5993749782	3	4
3231	porta	7	5,7	6,6500000000	B	8	3,6875	3,6875	5	8
3225	porta	7	5,7	6,6500000000	D	6	2,2254279158	3,7090465264	5	8
*(autoNumeração)		0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 5.6 – Tabela “cargas_aberturas” mostrando seus campos preenchidos.

5.2.3 Relatórios – Microsoft Excel

Como já visto inicialmente, o *Visual Basic* tem a propriedade de controlar alguns *softwares*, dentre eles o *AutoCAD* e o *Excel*. Aproveitando essa propriedade e na busca de criar um ambiente mais familiar ao usuário, os relatórios são gerados diretamente numa planilha do *Excel*.

O *ALVCAD* envia as informações para uma planilha do *Excel*, que é formatada automaticamente. O usuário poderá manusear livremente este arquivo, salvando-o e/ou imprimindo-o como quiser.

5.2.4 Relação de dependência entre as ações

A relação de dependência entre as ações do *ALVCAD* é apresenta esquematicamente na Figura 5.7.

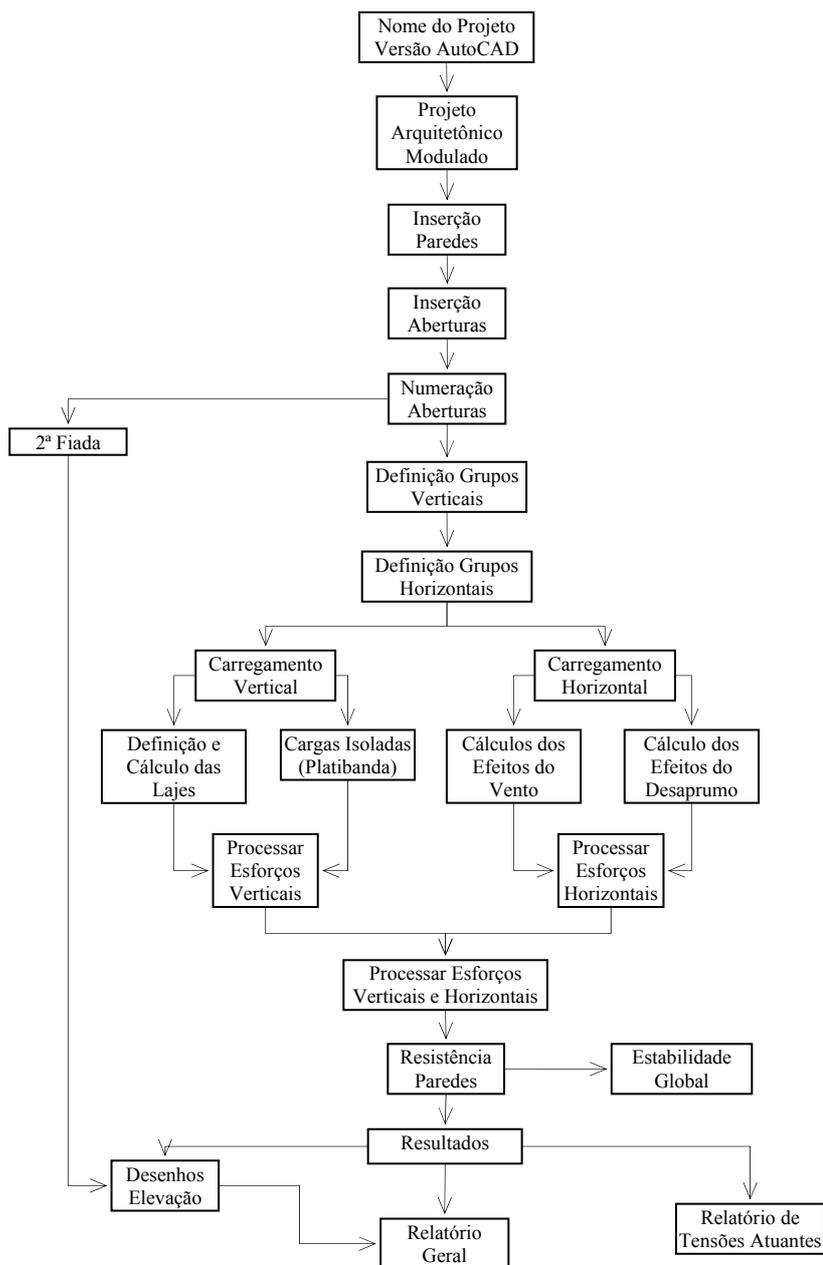


Figura 5.7 – Relação de dependência entre as ações do ALVCAD.

5.3 UTILIZAÇÃO DO PROGRAMA

5.3.1 Instalação

O processo de instalação é simples e acontece de forma semelhante à instalação de qualquer outro programa. Acionando o arquivo *Setup*, são abertas janelas explicativas, que

orientam o usuário durante todo o processo. A instalação deve ser feita apenas uma vez, e deverá ser refeita caso o computador seja formatado ou o programa seja desinstalado.

A operação de instalação cria um diretório chamado “Alvcad” no local indicado pelo usuário, onde são gravados todos os arquivos necessários para que o programa funcione. Não é aconselhável que o usuário acesse qualquer um desses arquivos diretamente, correndo o risco de danificar a estrutura do programa.

Depois de realizada a devida instalação, o ALVCAD está pronto para ser utilizado. A seguir, será demonstrado, passo a passo, o seu funcionamento.

Executando esse arquivo, aparece a Barra de Menus do Programa (Figura 5.8). Esta janela aparece sobre a janela que estiver aberta no momento, pois se trata de uma barra “flutuante”.

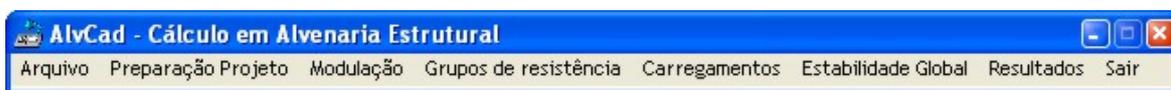


Figura 5.8 – Barra de Menus do ALVCAD.

5.3.2 Criação e abertura de Projetos

O primeiro Menu disponível é “Arquivo”. Dentro dele, encontram-se os comandos: Versão do AutoCAD, Novo Projeto e Projeto Existente (Figura 5.9).

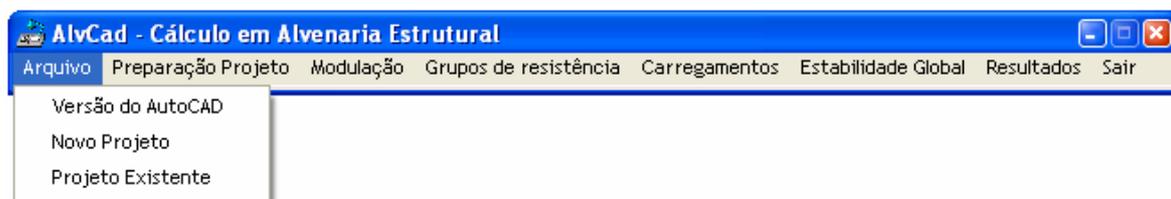


Figura 5.9 – Menu “Arquivo”.

Para escolher a versão do AutoCAD que será utilizada, utiliza-se o Menu **Arquivo > Versão do AutoCAD**. O ALVCAD está preparado para trabalhar com as versões 2000 e 2004 desse *software*, como pode ser visto na Figura 5.10.

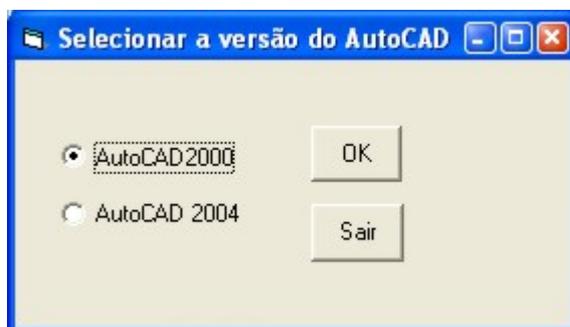


Figura 5.10 – Janela para escolha da versão do AutoCAD a ser utilizada.

Caso seja a primeira utilização, deve criar um novo projeto através do Menu **Arquivo > Novo Projeto** (Figura 5.11). O nome desse projeto é vinculado ao banco de dados e também é utilizado como o nome do arquivo do AutoCAD que será aberto nesse momento.

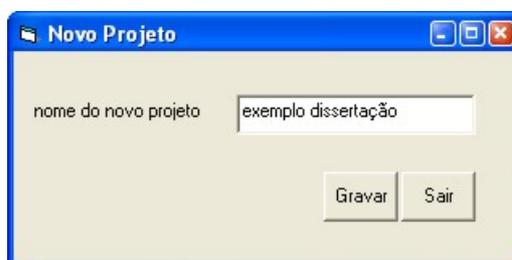


Figura 5.11 – Janela para a definição de um Novo Projeto.

Como já está definida a versão do AutoCAD e o nome do Novo Projeto, nesse momento abre-se um novo arquivo do AutoCAD, com o nome dado ao projeto (Figura 5.12).

No ALVCAD trabalha-se com dois desenhos: o primeiro desenho é o projeto arquitetônico que geralmente contempla a medida final das paredes; o segundo desenho é o projeto de paredes em suas medidas reais, considerando apenas os blocos que serão utilizados, desprezando-se quaisquer revestimentos. Geralmente apenas o projeto arquitetônico chega às mãos do calculista, que deve basear-se neste e construir o projeto das paredes com suas dimensões reais.

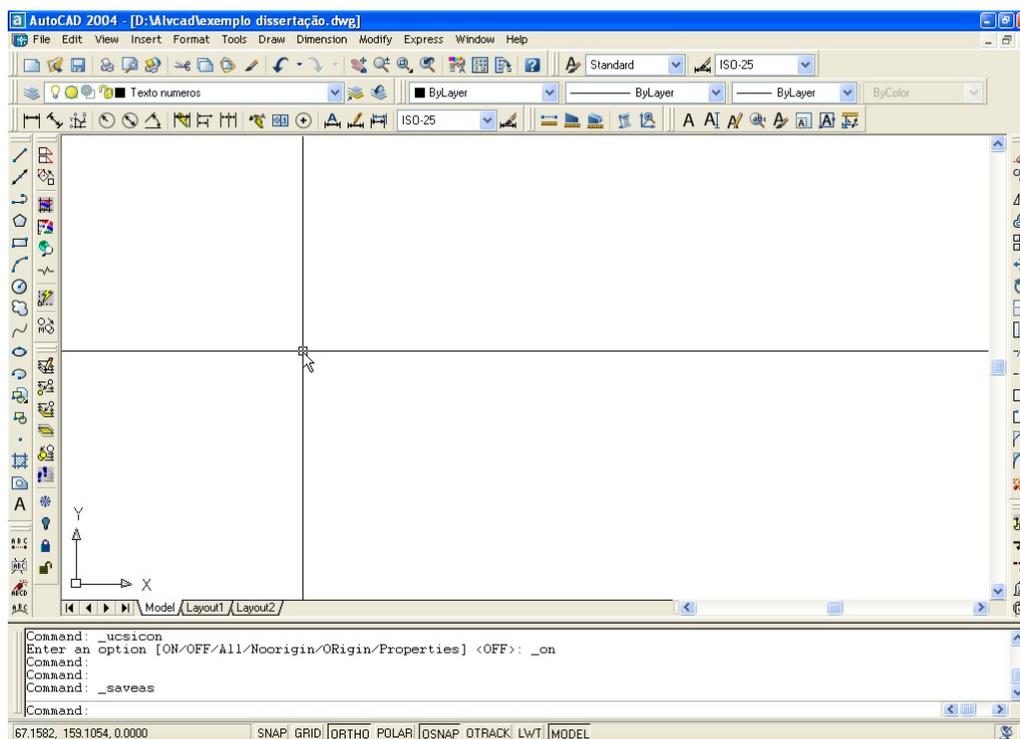


Figura 5.12 – Tela do AutoCAD com novo projeto “Exemplo Dissertação”.

Na etapa de modulação, o ALVCAD utiliza o projeto arquitetônico, considerando um revestimento de 0,5 cm de cada lado da parede. Na etapa de dimensionamento deve-se utilizar o desenho das paredes, pois se baseando neste, são calculadas entre outras características, as áreas de paredes e os seus respectivos momentos de inércia.

Com o arquivo do AutoCAD aberto, deve-se construir esses desenhos ou buscá-los em algum arquivo. Se os desenhos estiverem prontos em um outro arquivo do AutoCAD, deve-se abrir o arquivo existente e copiá-los para o arquivo de trabalho. Os desenhos devem estar na escala de metros, pois o tamanho dos blocos já está pré-definido.

Caso já exista um projeto do ALVCAD iniciado, deve-se abri-lo a partir do Menu **Arquivo** > **Projeto Existente**. Será mostrada uma lista de projetos existentes para que seja selecionado um deles (Figura 5.13). Essa ação irá vincular o Banco de Dados ao projeto escolhido e também abrirá o arquivo do AutoCAD correspondente. Sempre que o usuário iniciar a aplicação do ALVCAD, deve-se selecionar um arquivo existente ou criar o novo arquivo.

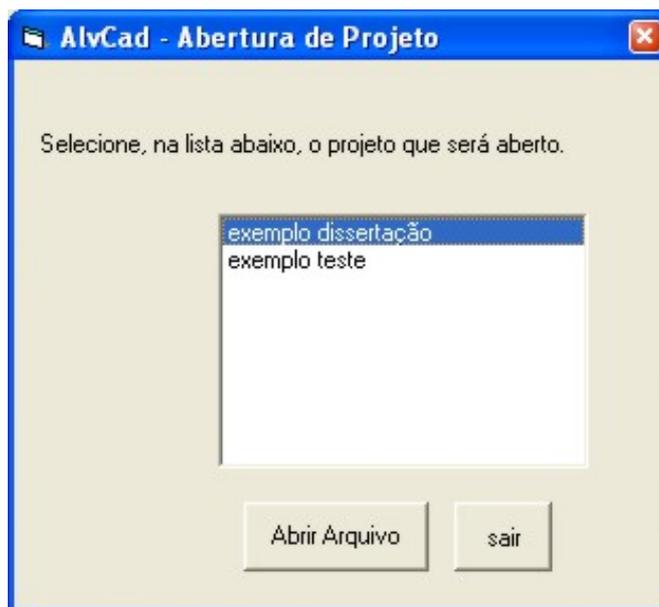


Figura 5.13 – Janela para abertura de projeto existente.

Para esta demonstração será criado um novo projeto. O projeto que será utilizado encontra-se reproduzido na Figura 5.14. Para facilitar o trabalho do projetista, os detalhes arquitetônicos devem ser suprimidos, utilizando-se, no ALVCAD, o desenho de planta e as limitações das aberturas (Figura 5.15).

Baseando-se no projeto arquitetônico em planta, foi criado o desenho das paredes excluindo-se a dimensão da espessura que representa o revestimento. No exemplo demonstrado, as paredes de 15 cm de espessura são desenhadas com 14 cm, que é a dimensão exata do bloco.

É interessante observar as dimensões das paredes, das portas, das janelas e das “bonecas”: todas as dimensões são múltiplas de 15 cm ou 20 cm em suas medidas nominais, considerando os revestimentos e a junta de argamassa entre os blocos. Vale ressaltar que foi copiado o desenho de apenas um apartamento, pois foi considerado que existe simetria nas duas direções da planta.

Apesar dessa simetria não existir na região da caixa da escada, está sendo calculado o lado onde se encontra a escada, pois existe a parede que a suporta.

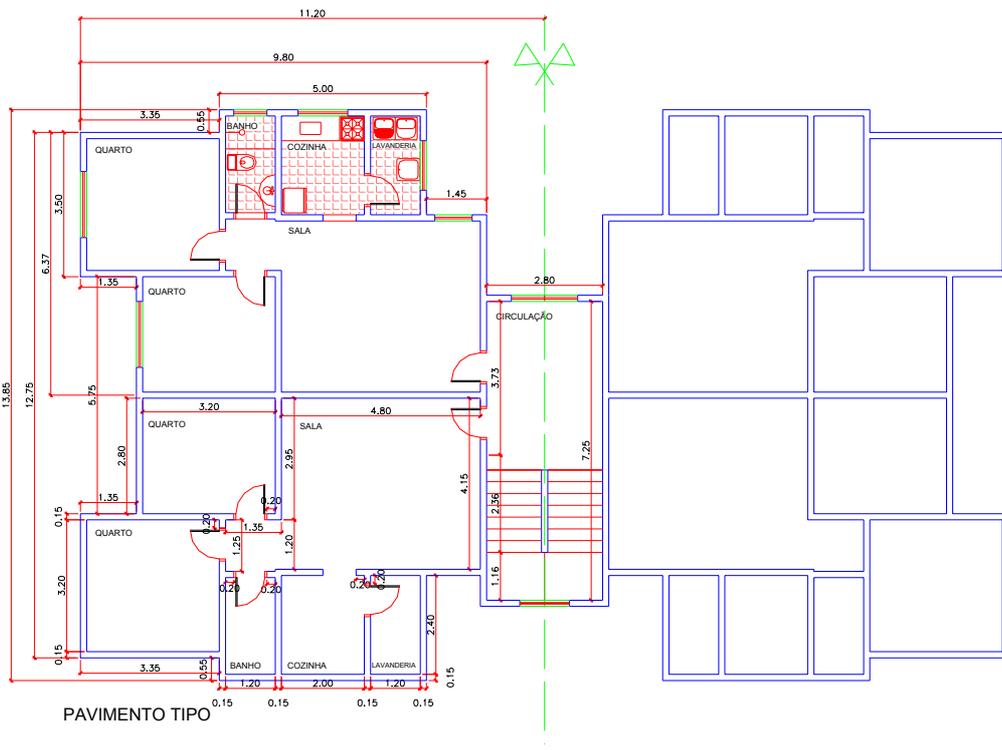


Figura 5.14 – Projeto Arquitetônico do Pavimento Tipo.

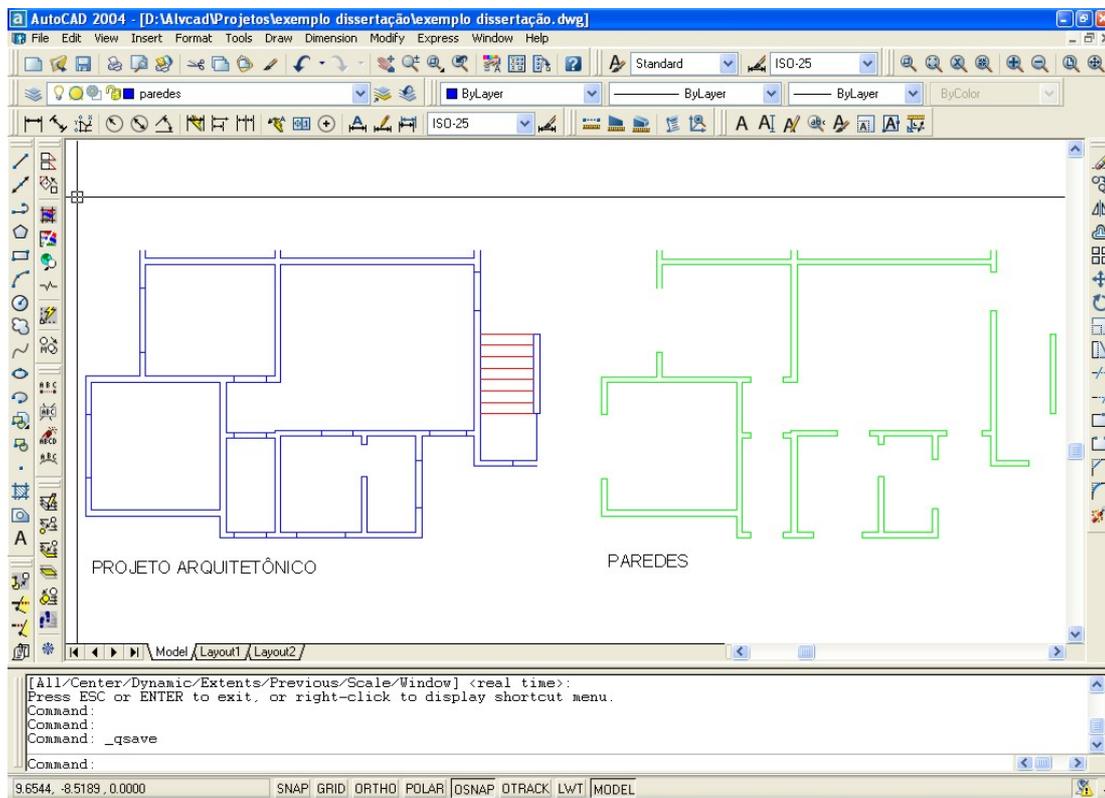


Figura 5.15 – Projeto arquitetônico e desenho com paredes “colados” no projeto do ALVCAD.

5.3.3 Preparação do Projeto

O próximo Menu do ALVCAD é o “Preparação do Projeto”. Vinculados a esse Menu, encontram-se os comandos: Posição e “Layers” do projeto, Simetria, Pé-direito e número de pavimentos (Figura 5.16).



Figura 5.16 – Menu “Preparação Projeto”.

Depois de inserido os desenhos no arquivo **exemplo dissertação.dwg**, devem-se prepará-los para iniciar a inserção, cálculo e desenho das paredes estruturais. Para tanto, utiliza-se o Menu **Preparação do Projeto > Posição e “Layers” do Projeto**.

Acionando esse comando, abre-se a janela reproduzida na Figura 5.17. O usuário deve selecionar primeiro projeto arquitetônico e após a solicitação do programa, deve selecionar o desenho das paredes.

Os desenhos serão movidos de forma que sua menor coordenada do projeto arquitetônico coincida com a coordenada (0.00 ,0.00) do AutoCAD e a menor coordenada do desenho de paredes coincida com a coordenada (0.005, 0.005).

O projeto arquitetônico é transportado para o *layer* “Arquitetura” e o desenho de paredes é transportado para o *layer* “Paredes”. Estes *layers* são criados juntamente com todos os *layers* necessários para aplicação do ALVCAD.

Como previsto todos os *layers* foram criados. O projeto arquitetônico e o desenho de paredes ficam, nesse momento, sobrepostos, como mostra a Figura 5.18. Em função da necessidade, o ALVCAD alterna automaticamente o desenho em exibição.

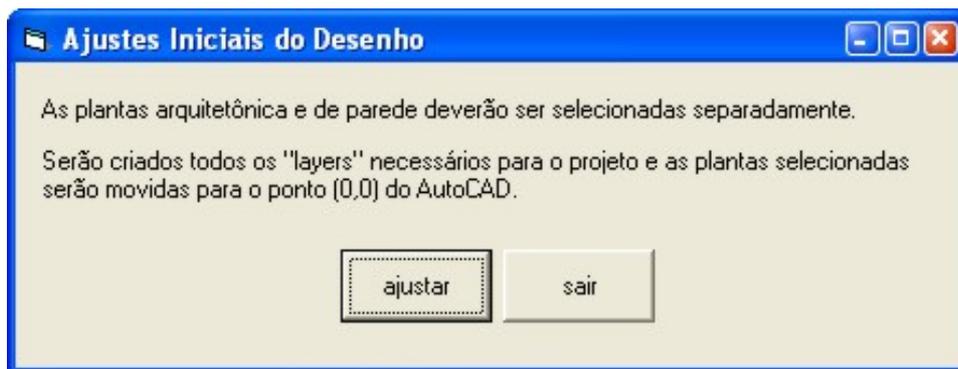


Figura 5.17 – Janela para conduzir o usuário aos ajustes iniciais.

Nas etapas iniciais, tais como definição de simetria e modulação, o usuário deve trabalhar com o projeto arquitetônico. Na etapa de definição dos grupos de paredes, no entanto, o usuário deve trabalhar com o desenho das paredes.

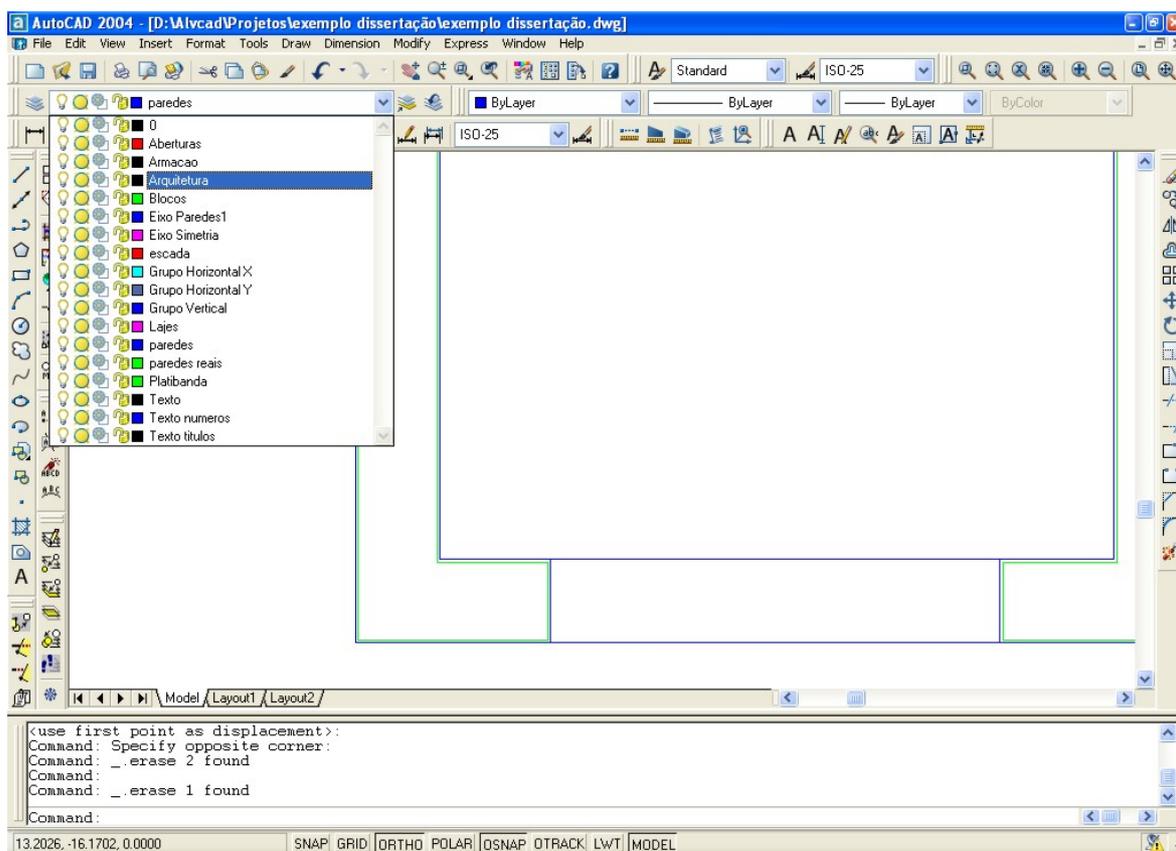


Figura 5.18 – Projeto arquitetônico e desenho das paredes sobrepostos, com indicação dos *layers* criados.

5.3.4 Definição da Simetria

Continuando o trabalho com o projeto, devem ser inseridas as linhas de simetria, caso existam. Talvez seja necessário criar pontos auxiliares para traçar tal linha. Na Barra de Menu, deve-se acessar **Preparação de Projeto > Simetria**.

Caso exista simetria nos dois sentidos, o procedimento deve ser realizado duas vezes, alterando a seleção do eixo (Figura 5.19). O eixo de simetria será desenhado onde indicado pelo usuário e, necessariamente, deverá ser vertical e/ou horizontal, pois o ALVCAD não contempla a hipótese de simetrias em outras direções diferentes (Figura 5.20).

A definição dos eixos de simetria é usada para considerar os esforços atuantes nos grupos de paredes que se encontram nos limites de simetria. Essa definição também é utilizada para considerar a força de arrasto do vento, que depende da área da fachada do prédio em cada direção.

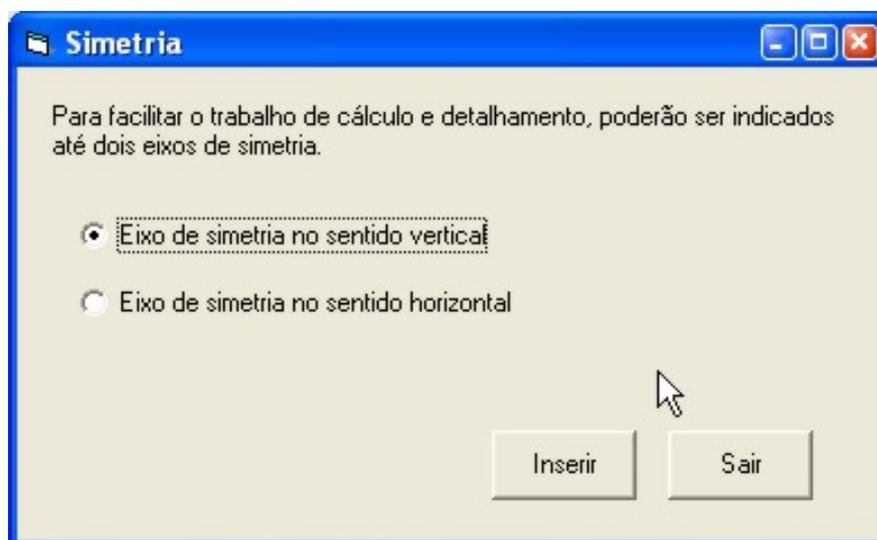


Figura 5.19 – Janela para definição de simetria.

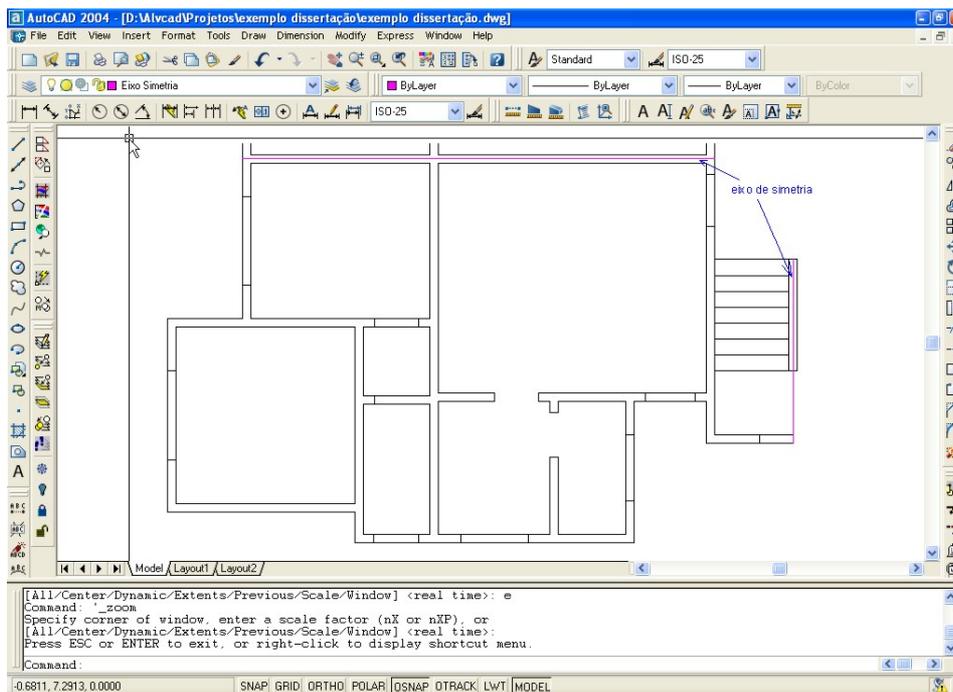


Figura 5.20 – Desenho dos eixos de simetria.

5.3.5 Parâmetros do Edifício

A última etapa preliminar é a definição do número de pavimentos e do pé-direito. Na Barra de Menus, acionando a opção **Preparação do Projeto > Pé-direito e número de pavimentos** tem-se a janela representada na Figura 5.21. No projeto que está sendo apresentado foram definidos 4 pavimentos e pé-direito igual a 2,80 m.

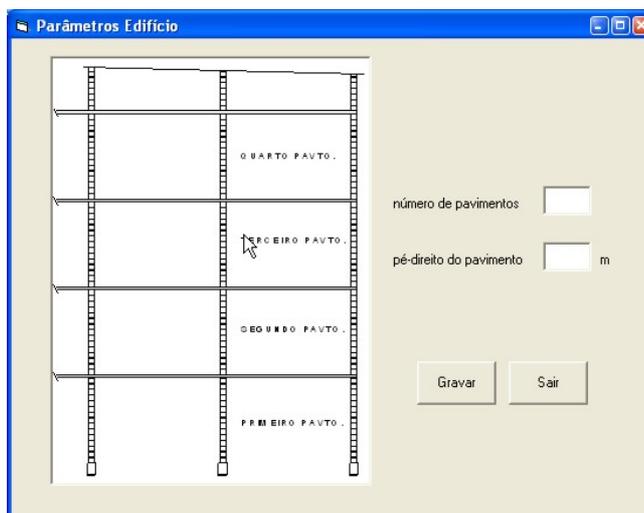


Figura 5.21 – Parâmetros a serem cadastrados – pé-direito e número de pavimentos.

5.3.6 Modulação

A próxima etapa é a modulação do projeto, inserindo e numerando as paredes, que corresponde ao terceiro Menu do ALVCAD. Nesse Menu encontram-se os comandos: Definir Família de Blocos, Inserir Bloco Isolado, Inserir parede, Aberturas, Numerar Paredes, Segunda Fiada (Figura 5.22).



Figura 5.22 – Menu “Modulação”.

5.3.6.1 Definir Família de Blocos

O primeiro passo dessa etapa é a definição da família de blocos a ser utilizada. O ALVCAD está preparado para trabalhar com 3 tipos de famílias: 14x29 , 14x39 e 19x39 , sendo indicado a largura e o comprimento do bloco em centímetros, respectivamente. A altura do bloco é padrão para os três tipos de famílias e está definida em 19 cm.

Todos esses valores são citados em suas dimensões reais. Em dimensões nominais, deve-se acrescentar 1 cm, que é considerado como sendo a espessura da junta de assentamento, tanto na horizontal, quanto na vertical. Ou seja, as dimensões nominais de largura e comprimento seriam 15x30 cm, 15x40 cm e 20x40 cm e a altura nominal seria 20 cm.

Para a definição da família de blocos a ser utilizada, deve-se acessar o Menu **Modulação > Definir Família de Blocos**. Surge uma janela com a três opções possíveis para que uma delas seja selecionada (Figura 5.23). O ALVCAD trabalha com apenas uma família de blocos em cada projeto.



Figura 5.23 – Janela para definição da família de blocos.

A família de blocos a ser utilizada será de 14 x 39. Para a utilização desse tipo de bloco, a largura da parede no desenho arquitetônico deve ser 0,15 m, pois no ALVCAD é considerada uma espessura de revestimento com 0,5 cm de cada lado e trabalha com a escala do desenho em metros.

5.3.6.2 *Inserção dos Blocos Isolados*

O próximo passo é inserir os blocos, formando as paredes. É interessante, nesse estágio, inserir primeiro todos os blocos das extremidades isoladamente. Para a inserção desses blocos, deve-se escolher a opção **Modulação > Inserir Bloco Isolado** (Figura 5.24). As opções de blocos a serem inseridos dependem da família que está sendo utilizada.

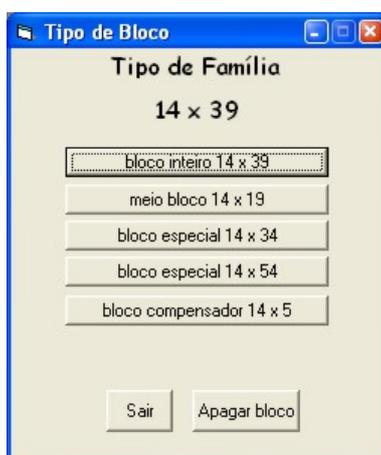


Figura 5.24 – Janela para inserção de blocos isolados.

Quando acionada a opção de Inserir Bloco Isolado, o ALVCAD ativa o *layer* “Blocos”, definido com a cor verde, onde são inseridos todos os blocos e paredes.

A etapa de inserção de blocos é crucial. Provavelmente, quando as dimensões em planta são adaptadas para a utilização da alvenaria estrutural, a posição de cada bloco já foi definida e deve ser rigorosamente obedecida nesse momento. Caso contrário, os blocos não se adaptam à arquitetura, prejudicando o comportamento estrutural do edifício.

Caso seja inserido um bloco por engano, ou no local errado, deve-se acionar o comando “Apagar Bloco” e selecionar o bloco no desenho. O bloco é apagado e as suas informações são retiradas do banco de dados. Em hipótese alguma, deve-se apagar o bloco diretamente pelo AutoCAD, pois nesse caso, as suas informações não são retiradas do banco de dados.

Geralmente, utilizam-se nas extremidades, blocos especiais ou blocos inteiros. Escolhido o bloco, deve acionar o botão correspondente na janela representada pela Figura 5.24. Na janela representada pela Figura 5.25, o projetista deve escolher o ponto de inserção que será utilizado e clicar sobre o ícone vermelho. Depois de inseridos todos os blocos isolados, tem-se o desenho representado na Figura 5.26.

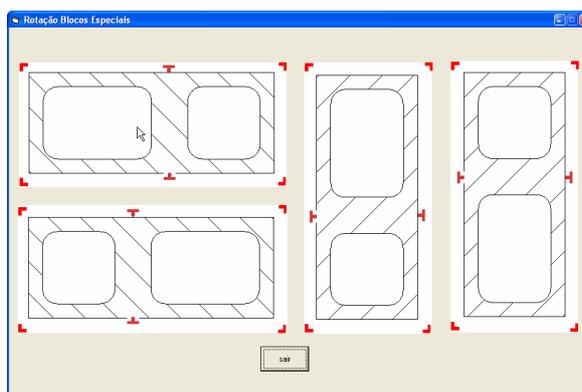


Figura 5.25 – Janela para inserção do Bloco Especial 14x34.

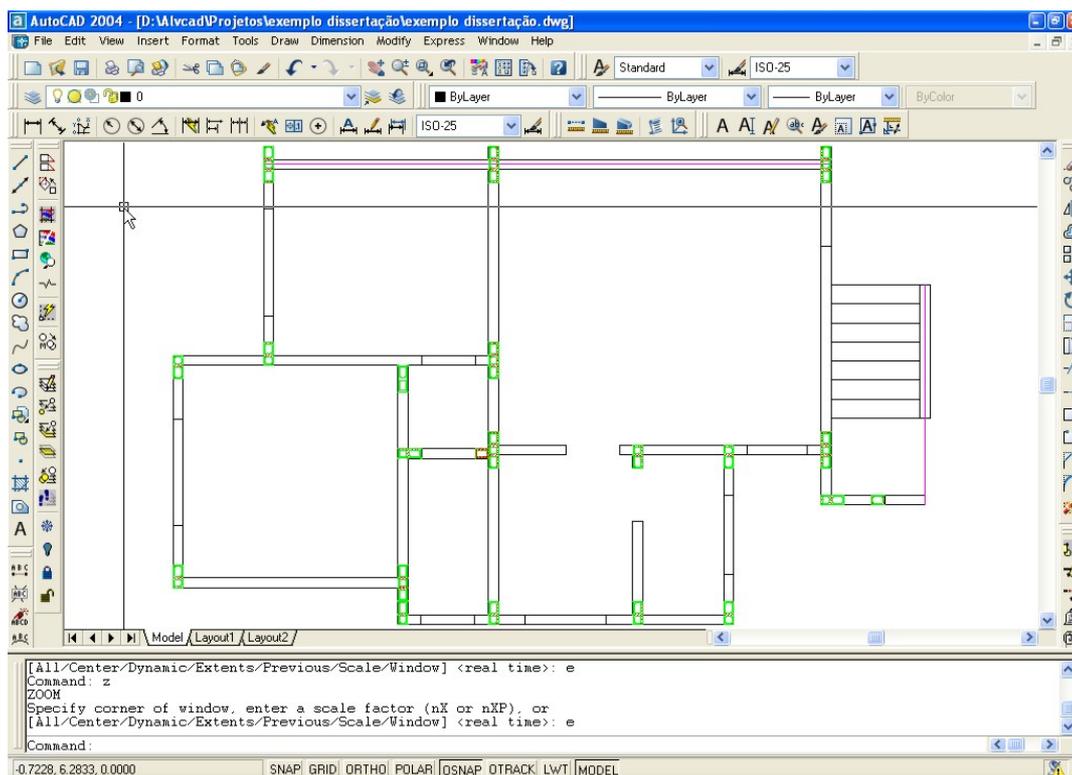


Figura 5.26 – Desenho depois de inseridos todos os blocos das extremidades.

5.3.6.3 Inserção das Paredes

Completando a inserção dos blocos, deve-se preencher o espaço entre os blocos das extremidades de cada trecho com blocos inteiros. Pode-se inserir bloco por bloco, mas o ALVCAD possibilita que todos os blocos do trecho sejam inseridos de uma só vez.

Para inserir as paredes, deve-se acionar o comando na **Modulação > Inserir Parede** na Barra de Menus. Na janela de inserção de paredes (Figura 5.27), deve-se seleccionar o sentido da parede a ser inserida e seguir as instruções.

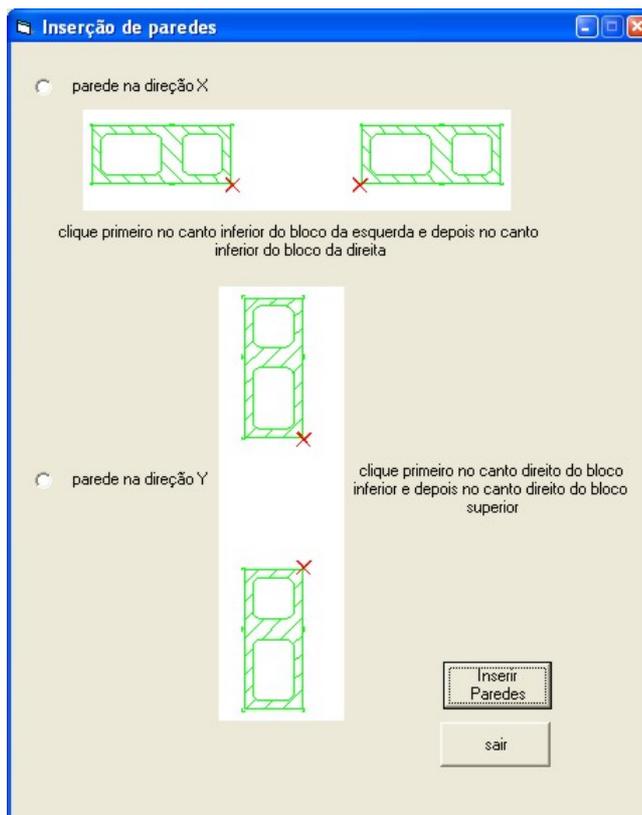


Figura 5.27 – Janela para inserção das paredes.

Uma observação muito importante deve ser feita. No desenho de qualquer bloco usado no ALVCAD, percebe-se pequenas linhas externas, formando “cantoneiras” nas extremidades. No caso de blocos especiais, essas linhas aparecem também em pontos intermediários. Qualquer seleção de pontos para a inserção de paredes deve ser feita clicando sobre esse ponto e não diretamente sobre o bloco (Figura 5.28).

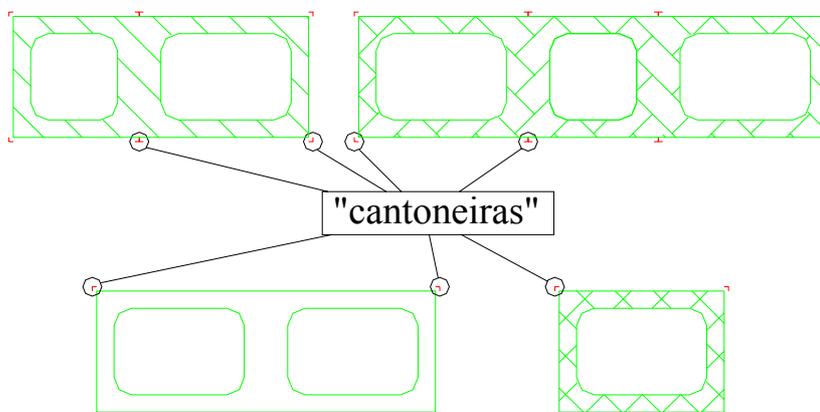


Figura 5.28 – Linhas que devem ser usadas para seleção (“cantoneiras”).

Não há necessidade de obedecer nenhuma ordem para a inserção de paredes. A numeração dessas paredes será realizada adiante. As paredes são inseridas caso a distância do trecho seja compatível com o comprimento do bloco inteiro.

Caso não haja essa compatibilidade, o ALVCAD informa que o trecho não possui tamanho regular. Nesse caso podem ser inseridos blocos isolados e/ou blocos compensadores.

Depois de inseridas todas as paredes, tem-se o desenho representado pela Figura 5.29. É importante observar os detalhes D1, D2 e D3 representados pela Figura 5.30. Nestes pontos do projeto, foram utilizados blocos compensadores para manter a modulação.

Os blocos compensadores, geralmente são maciços e possuem uma espessura com dimensão de 4 cm e 5 cm, valores real e nominal, respectivamente.

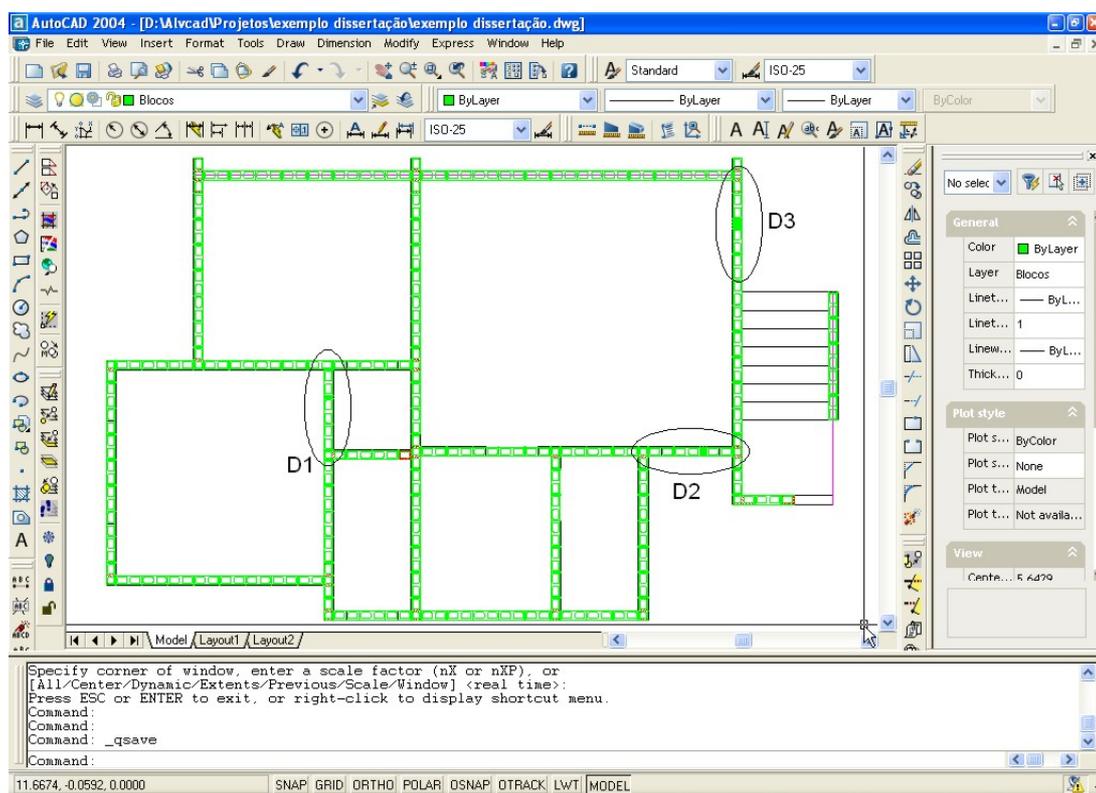


Figura 5.29 – Planta com todas as paredes inseridas.

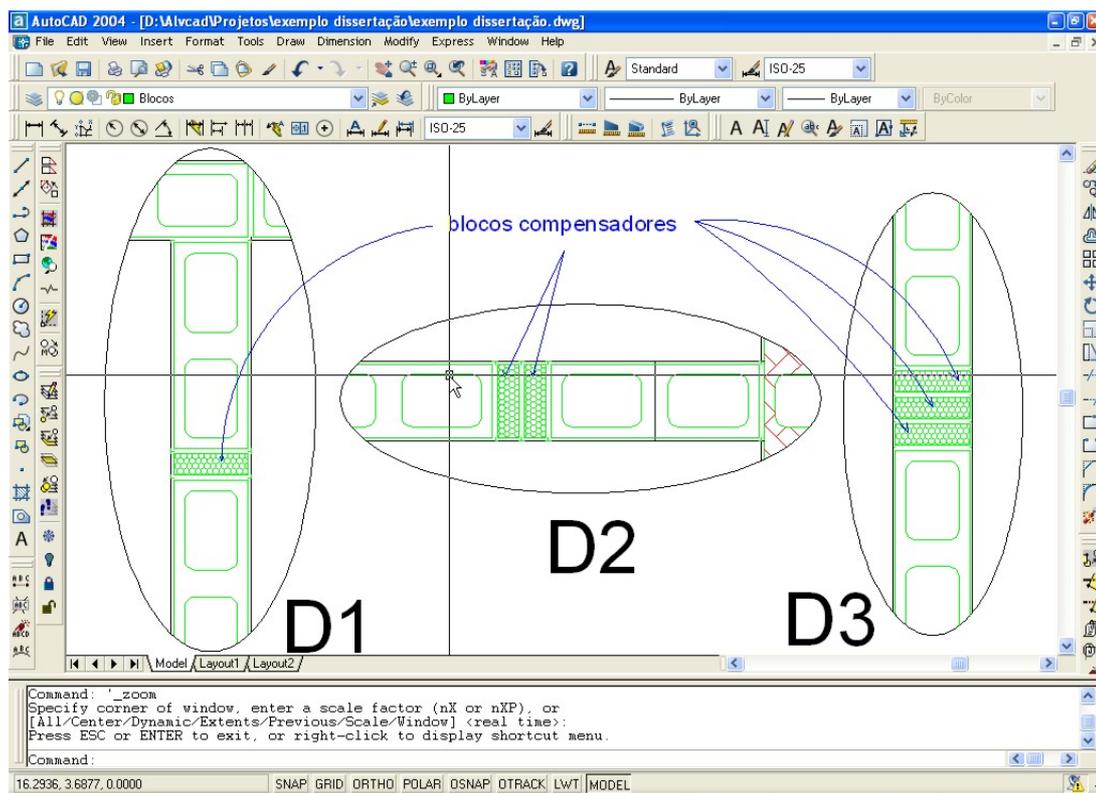


Figura 5.30 – Detalhes da utilização dos blocos compensadores.

5.3.6.4 Inserção das Aberturas

O passo seguinte consiste em inserir as aberturas existentes nas paredes - portas e janelas. Para inserir as janelas, deve-se acionar o comando **Modulação > Aberturas > Janelas** e, para inserir as portas, deve-se acionar o comando **Modulação > Aberturas > Portas**.

As telas para a inserção das portas e janelas estão representadas pela Figura 5.31 e Figura 5.32, respectivamente. As ações são executadas de forma semelhante, sendo que para a inserção das janelas, é necessário informar altura do peitoril, que é a distância entre a parte inferior da janela e o chão. É necessário que os valores das alturas (porta, janela e peitoril) sejam múltiplos da altura do bloco.

Observam-se duas ações independentes nas telas para inserção das aberturas. A primeira ação é a **Inserção** das aberturas e a segunda ação é a **Numeração**. Primeiramente, devem-se inserir todas as aberturas para depois numerá-las.

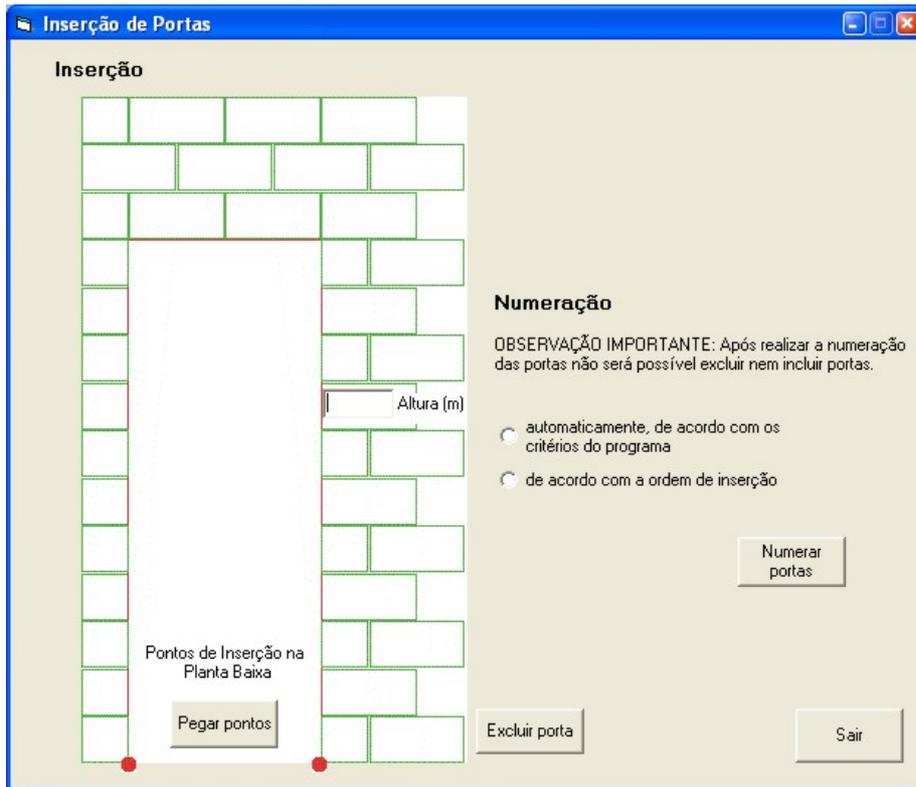


Figura 5.31 – Tela para inserir as aberturas de portas.

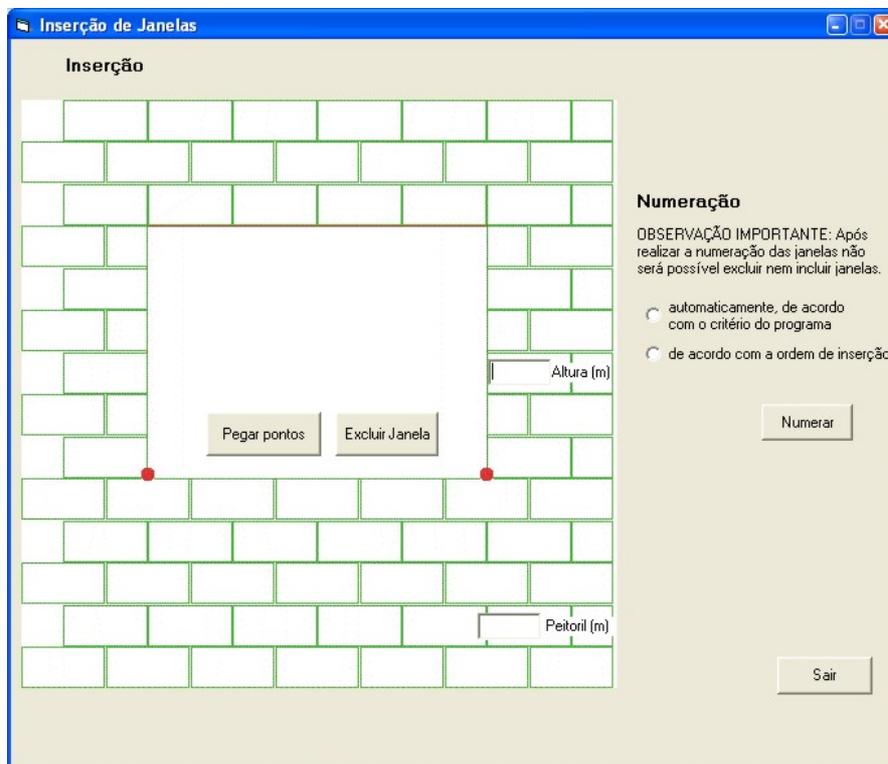


Figura 5.32 – Tela para inserir aberturas de janelas.

Para inserir as aberturas no ALVCAD, deve-se desenhar uma linha com comprimento igual à largura da abertura, passando exatamente pelo eixo da parede. Acionando o comando “Pegar Pontos”, devem-se selecionar dois pontos no desenho, que representam a abertura.

Caso seja inserida uma abertura no local errado, deve-se acionar o comando Excluir e selecionar a linha que representa a Abertura. O desenho é apagado e todas as suas informações são retiradas do banco de dados.

Depois de inseridas todas as aberturas, deve-se numerá-las. A numeração pode acontecer de duas maneiras: de acordo com a ordem de inserção ou de acordo com os sentidos estabelecidos pelo ALVCAD. Os sentidos estabelecidos pelo ALVCAD como crescentes são: de cima para baixo e da esquerda para direita.

Depois de inseridas e numeradas todas as aberturas, tem-se o desenho representado pela Figura 5.33:

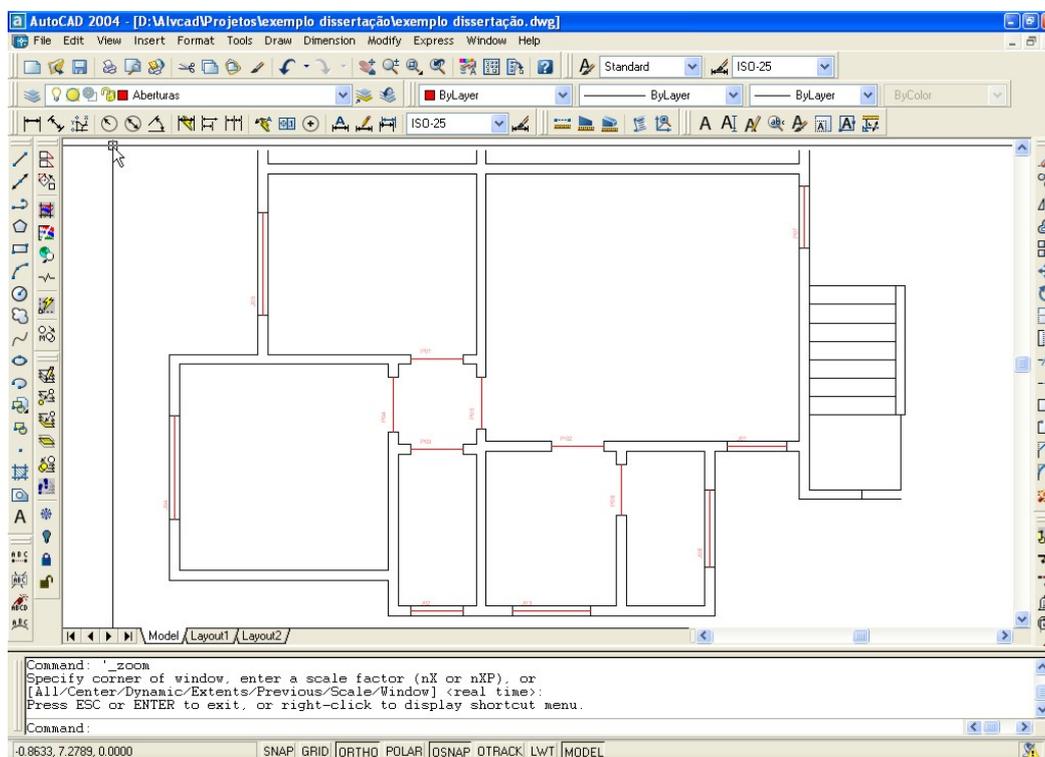


Figura 5.33 – Aberturas inseridas e numeradas.

5.3.6.5 Numeração das Paredes

Depois de inseridas todas as paredes e todas as aberturas, o próximo passo é numerar as paredes. É necessário que as aberturas sejam definidas anteriormente para que seja vinculada a posição das aberturas com a posição das paredes.

Para iniciar a numeração, seleciona-se a opção **Modulação > Numerar Parede** na Barra de Menu. Com isso, abre-se a janela representada pela Figura 5.34.

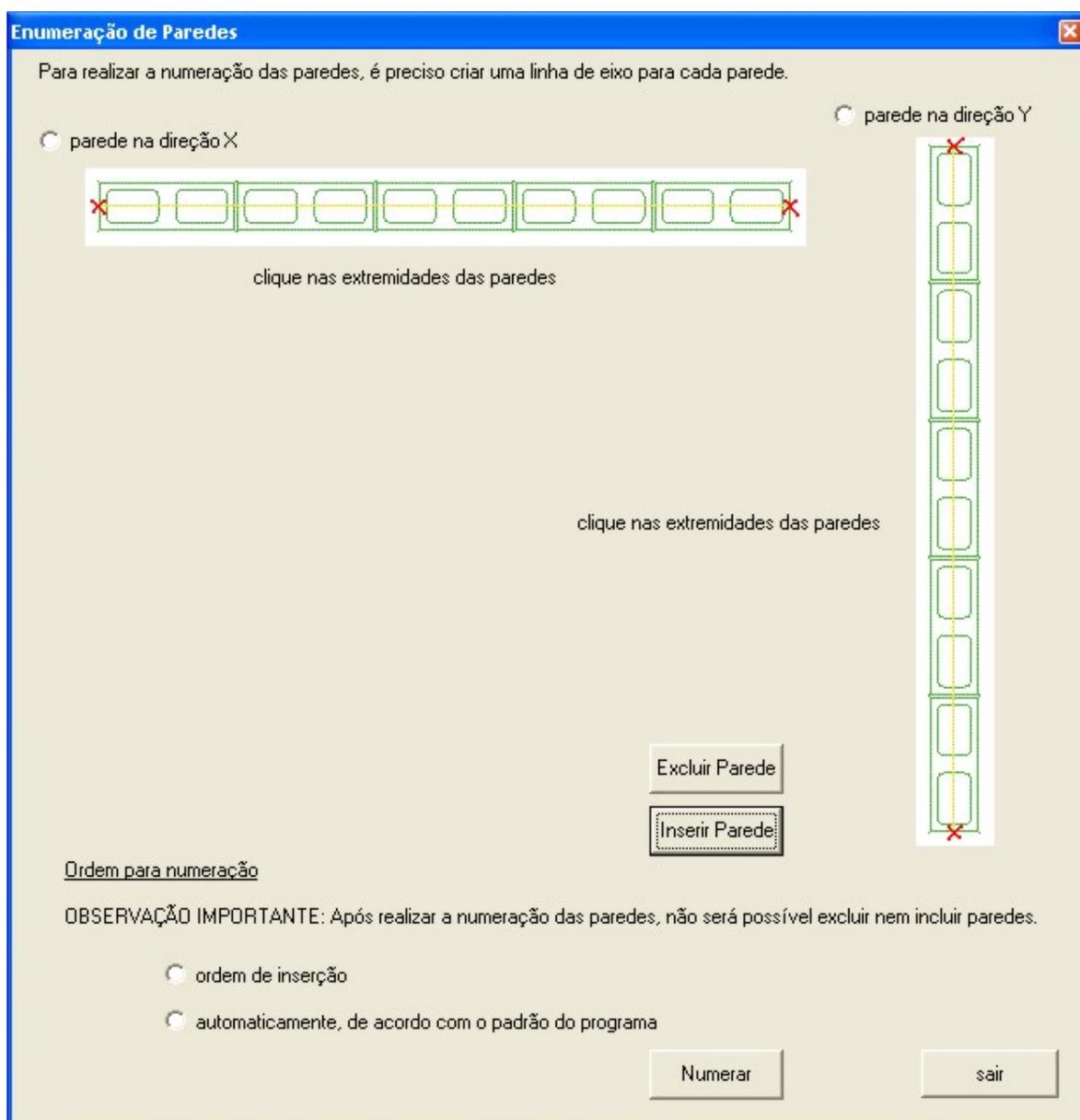


Figura 5.34 – Janela para numerar as paredes.

De forma análoga à inserção das aberturas, a janela para numeração das paredes deve ser utilizada em duas etapas. Na primeira etapa são inseridas as linhas de eixos de todas as paredes, selecionando o seu respectivo sentido antes de inserir a linha. Esta ação é necessária, pois o ALVCAD armazena a posição e a numeração da parede a partir da sua linha de eixo.

Caso seja inserida uma parede erroneamente, deve-se acionar o comando Excluir e selecionar a linha que representa a parede. O desenho é apagado e todas as suas informações são retiradas do banco de dados.

Depois de inseridos os eixos de todas as paredes, deve-se numerá-las. Para tanto, escolha-se uma opção dentre as duas possíveis: numeração pela ordem de inserção ou automaticamente. O critério de numeração automática é o mesmo utilizado na numeração das aberturas.

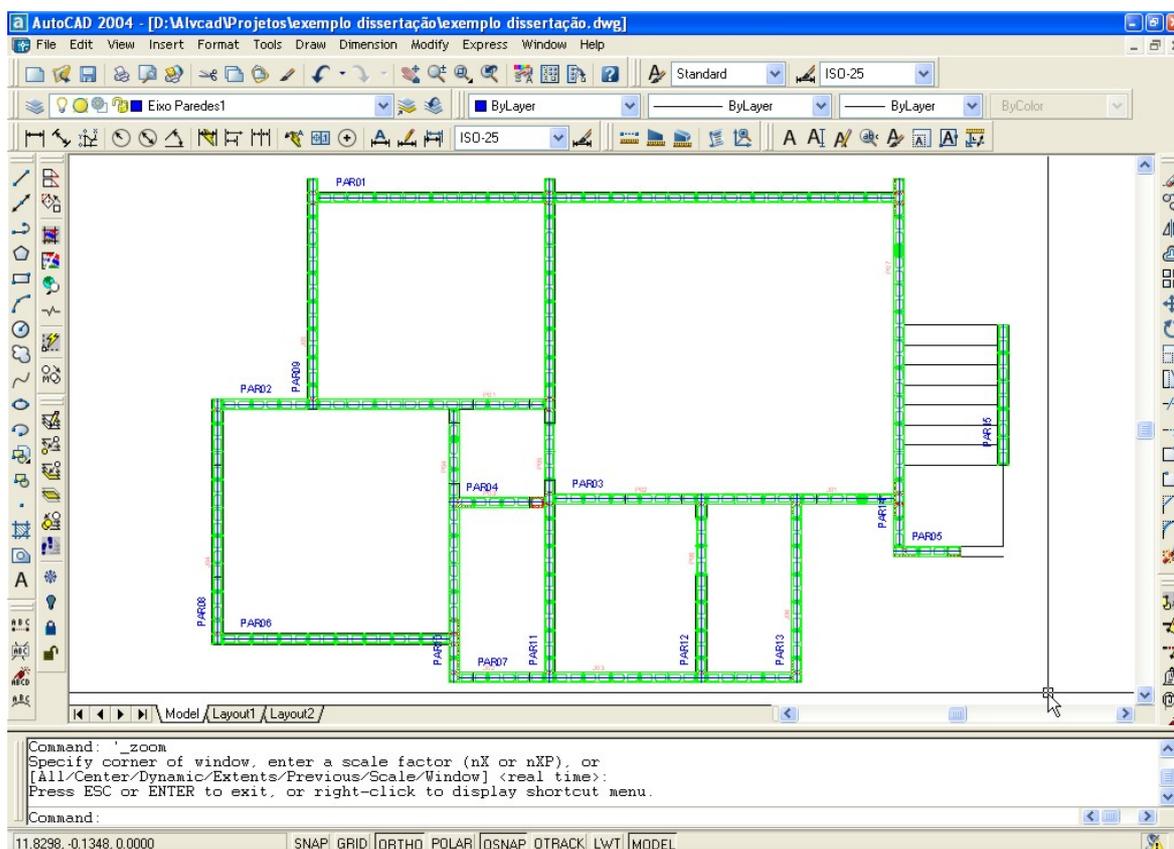


Figura 5.35 – Desenho com as paredes inseridas e numeradas.

5.3.6.6 Segunda Fiada

Após definidas as paredes e suas aberturas, deve-se construir a segunda fiada. Como deve haver uma amarração entre as fiadas, não há dificuldade para inserir os blocos da segunda fiada baseando-se na posição dos blocos da primeira fiada.

Acionando o comando **Modulação > Segunda Fiada** na Barra de Menus, o ALVCAD informa o projetista que a planta de arquitetura e algumas informações do projeto serão copiadas para uma nova planta (Figura 5.36). Nesta nova planta (Figura 5.37) são inseridos os blocos da segunda fiada, como feito anteriormente com a primeira fiada.

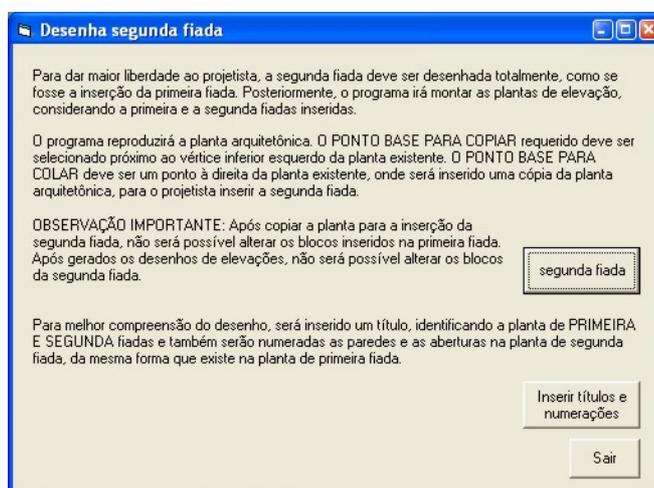


Figura 5.36 – Informações a respeito da construção da segunda fiada.

Para a inserção dos blocos na segunda fiada, o projetista deve atentar-se à amarração, pois o ALVCAD constrói a parede em elevação seguindo as posições dos blocos, e não confere a existência, ou não, das devidas amarrações. Um ponto muito importante a ser observado, diz respeito aos limites das aberturas, que devem ser rigorosamente respeitados. Caso contrário, o desenho de elevação pode ser processado erroneamente.

Inseridos os blocos das extremidades, para a segunda fiada, tem-se o desenho representado pela Figura 5.38.

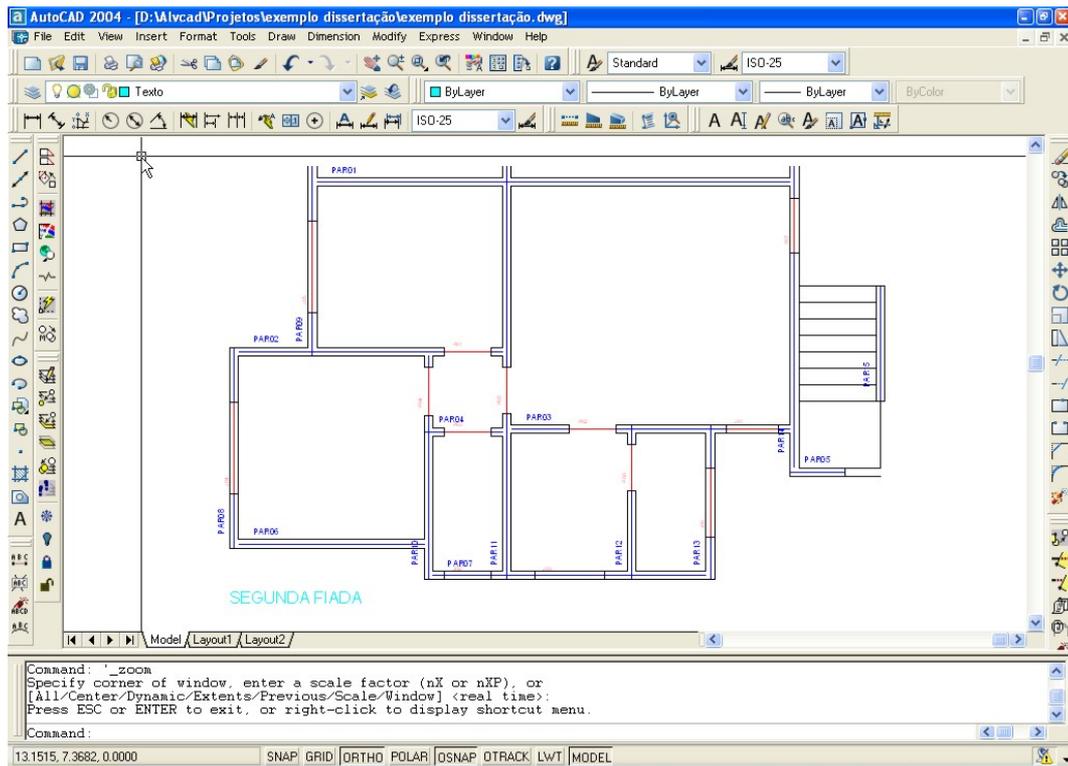


Figura 5.37 – Planta arquitetônica para inserção dos blocos da segunda fiada.

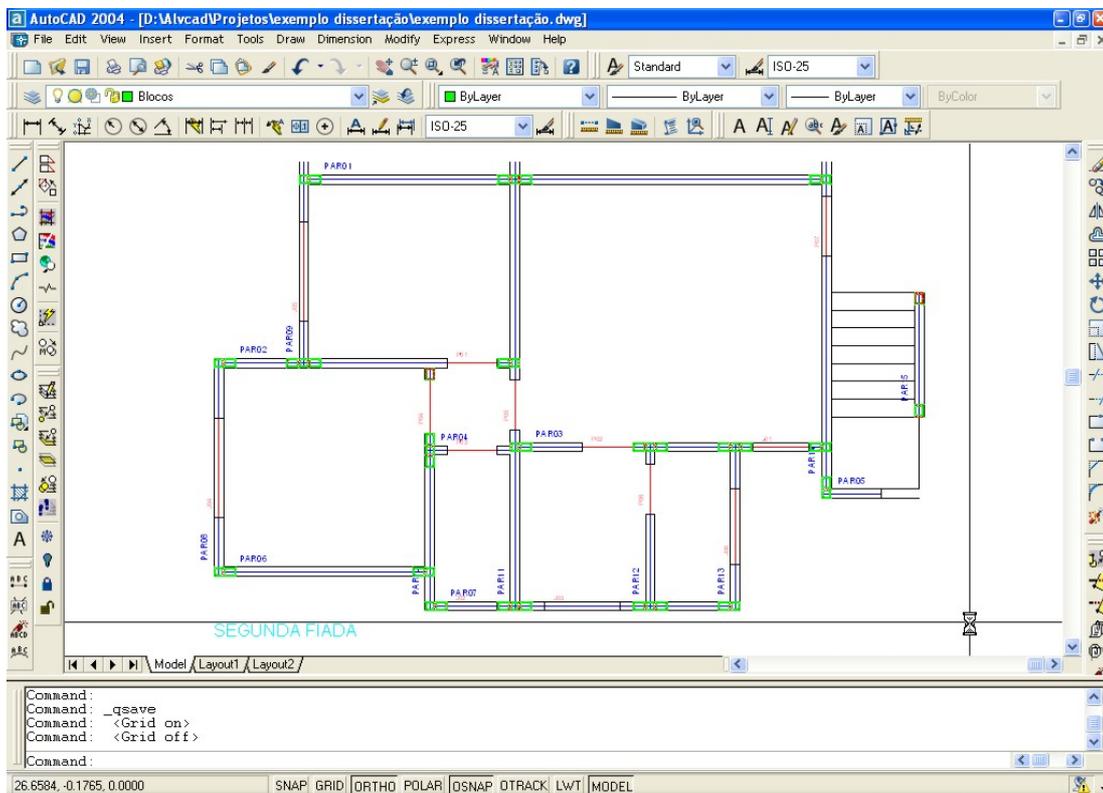


Figura 5.38 – Desenho da segunda fiada com os blocos inseridos nas extremidades.

Depois de inseridos todos os blocos da segunda fiada, tem-se o desenho representado na Figura 5.39. Com a finalização da inserção dos blocos de segunda fiada, encerra-se a etapa de modulação.

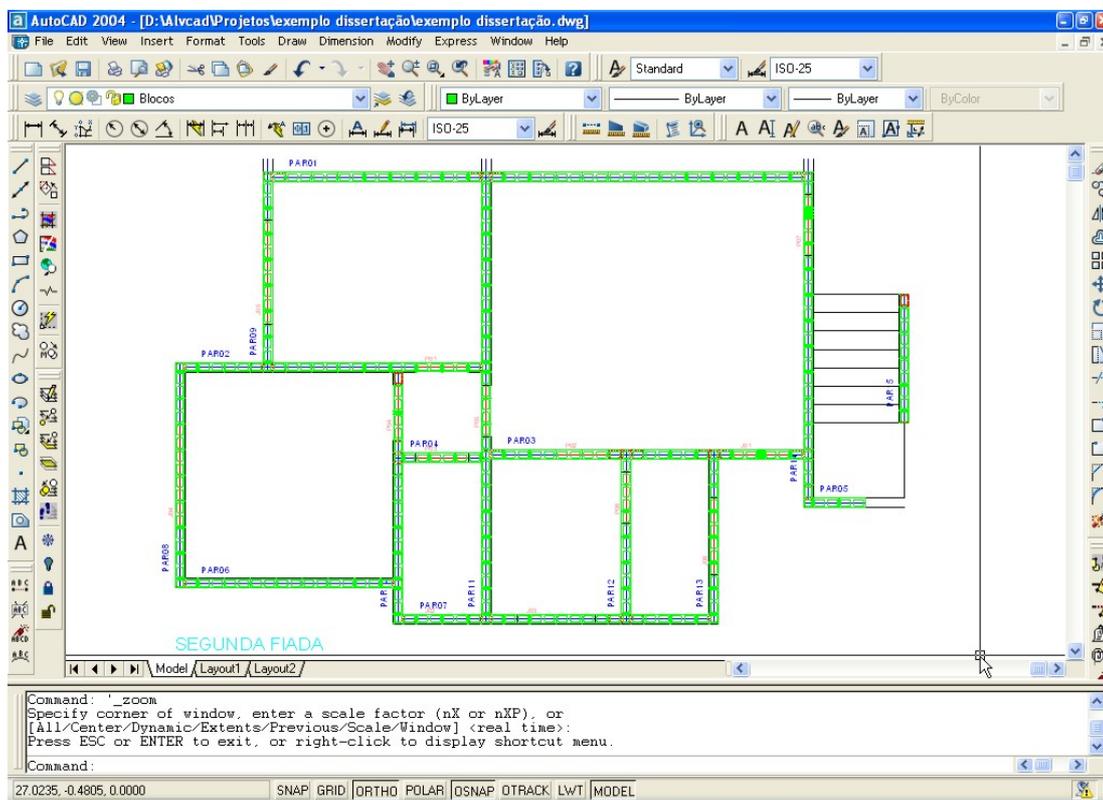


Figura 5.39 – Paredes da segunda fiada.

Alguns projetos promovem a amarração entre os blocos, principalmente nos cantos, através da repetição a cada 4 fiadas. Essa solução é adotada, geralmente, quando os blocos especiais (14x34 e 14x54, por exemplo) não são utilizados. No entanto, o ALVCAD está preparado para fazer a repetição a cada 2 fiadas.

5.3.7 Grupos de Resistência

A etapa seguinte consiste na definição dos Grupos de Resistência. No menu correspondente, têm-se os comandos: Grupos de parede para solicitação vertical e Grupos de parede para solicitações horizontais. Como visto adiante, o último comando ainda se ramifica.



Figura5.40 – Menu “Grupos de Resistência”.

5.3.7.1 Grupos de Resistência aos esforços verticais

Inicialmente, devem ser definidos os Grupos Resistentes às solicitações verticais. Acionando o Menu **Grupos de resistência** > **Grupos de paredes** para solicitação vertical, tem-se a janela representada pela Figura 5.41.

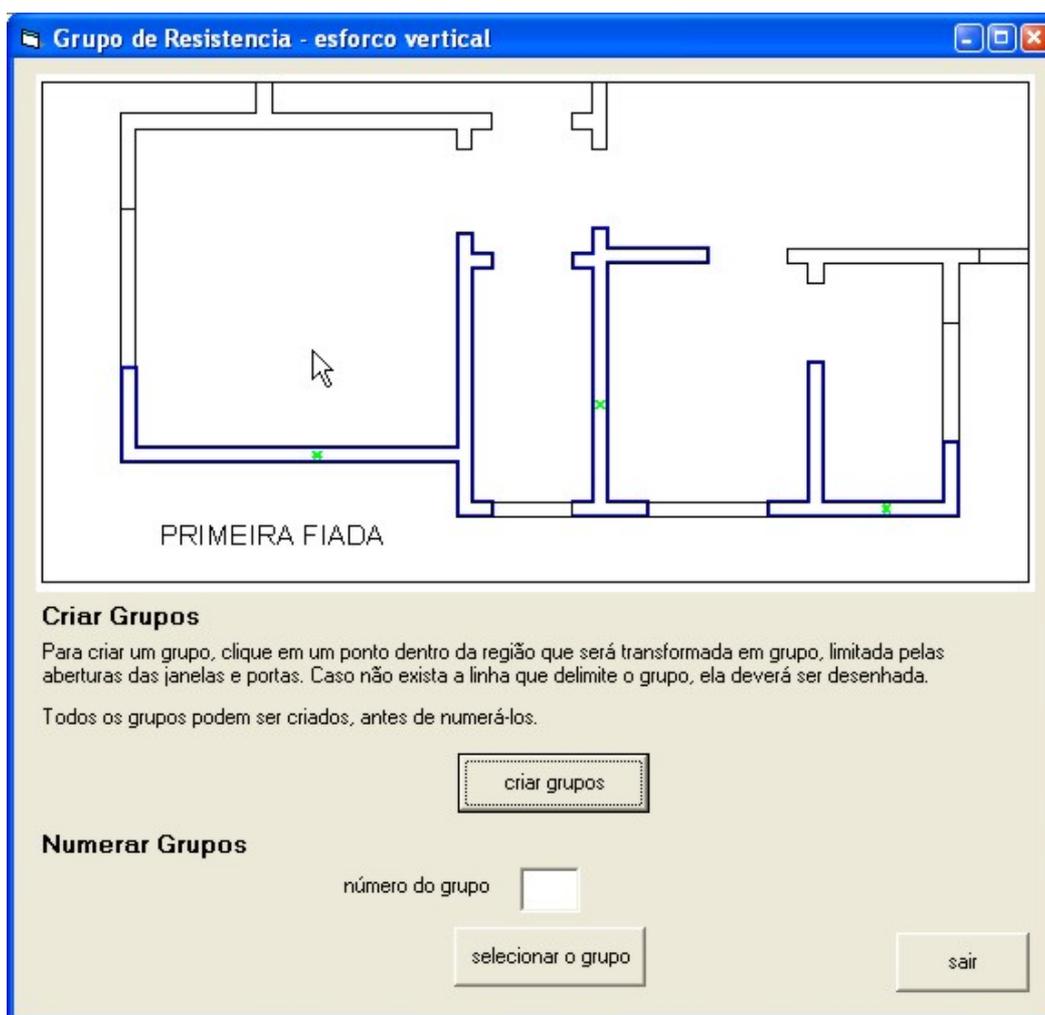


Figura 5.41 – Inserção de “Grupos Verticais”.

Seguindo as instruções na própria janela, deve-se clicar sobre um ponto interno do grupo. Todos os grupos podem ser criados para depois numerar cada um deles, não havendo critério para essa numeração. Depois de definidos todos os grupos, tem-se o desenho representado pela Figura 5.42.

Quando o usuário clica em um ponto, o ALVCAD transforma em grupo uma região fechada na qual o ponto selecionado está inserido. Dessa forma, se o usuário optar por um grupo com limitações diferentes das aberturas, basta desenhar linhas interceptando as paredes nos locais desejados.

Deve-se observar que os grupos 6 e 8, do exemplo, estão posicionados exatamente sobre os eixos de simetria. Por esse motivo, esses dois grupos foram definidos considerando apenas a metade da espessura da parede. Apesar de definido dessa forma, os valores corretos de suas áreas e dimensões serão considerados nos cálculos executados pelo ALVCAD.

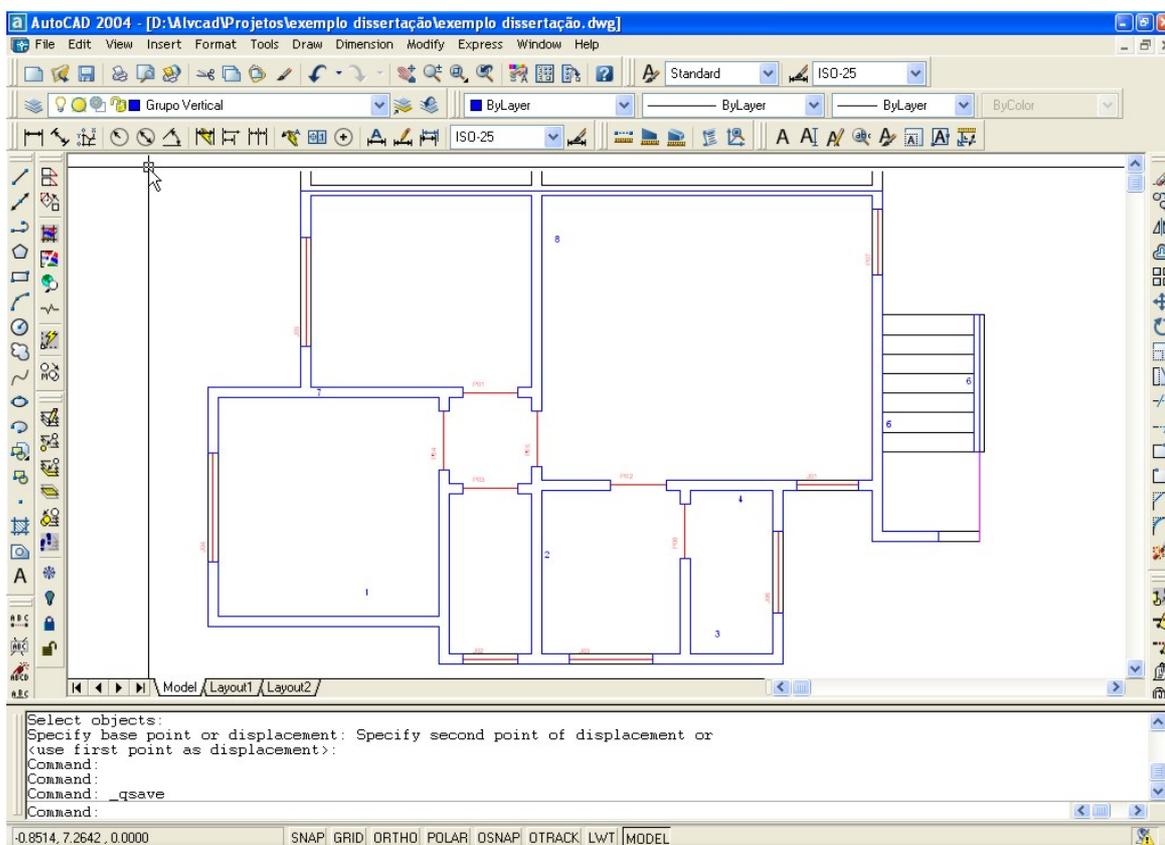


Figura 5.42 – Desenho com todos os grupos verticais definidos.

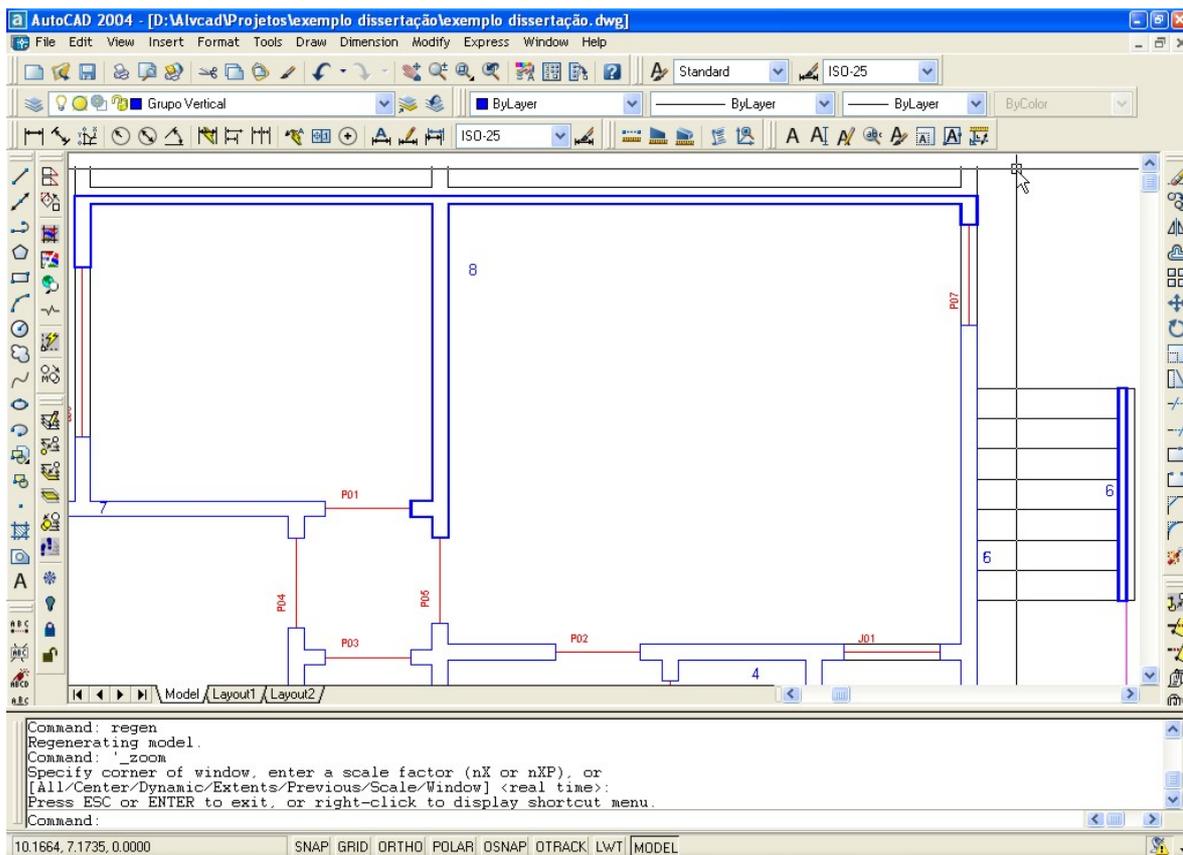


Figura 5.43 – Detalhes dos grupos 6 e 8, posicionados sobre os eixos de simetria.

5.3.7.2 Grupos de Resistência aos esforços horizontais

O passo seguinte é a definição dos grupos para resistir aos esforços horizontais. Esses grupos, como pode ser visto no Menu correspondente (Figura 5.44), são divididos em duas categorias: Direção X e Direção Y.

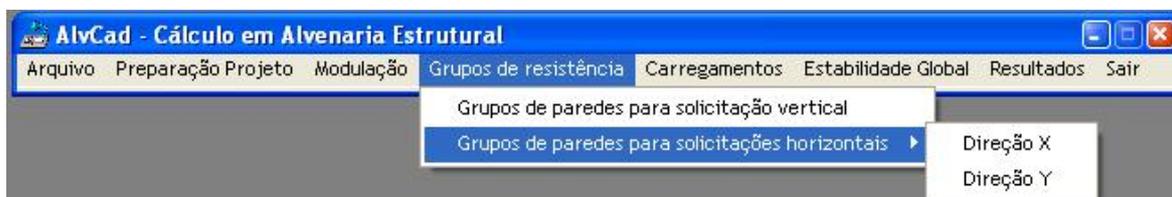


Figura 5.44 – Menu para definição dos Grupos de paredes para resistirem às solicitações horizontais – direção X e direção Y.

Não há distinção na ordem de definição desses grupos horizontais. Considerando para este exemplo, primeiramente a definição dos Grupos Horizontais para a direção X, tem-se a janela representada pela Figura 5.45.

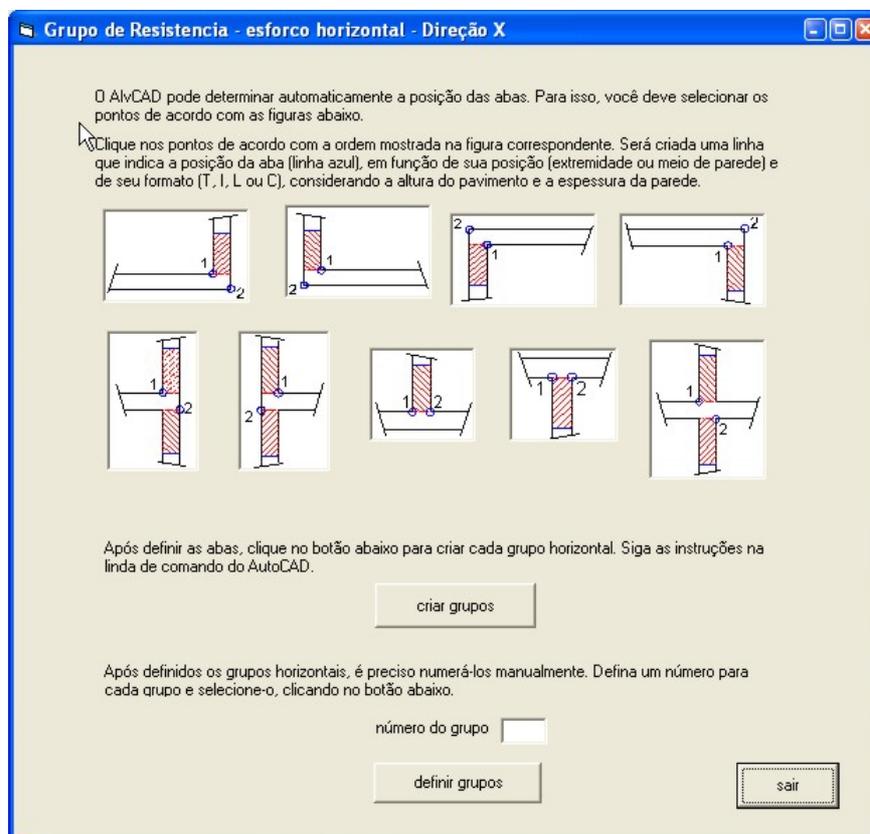


Figura 5.45 – Janela para definição dos grupos horizontais na direção X.

Para melhorar o desempenho estrutural dos grupos (aumentar a inércia), o projetista pode definir as abas em cada trecho de parede. Selecionando a situação correspondente, o usuário clica nos dois pontos indicados e é desenhada uma linha delimitando o tamanho da aba para a situação. Essa limitação é feita respeitando os critérios especificados pela NBR 10837 (ABNT, 1989), como visto no Capítulo 3.

Para ilustrar o exemplo, a Figura 5.46, representa o desenho com todas as linhas de abas inseridas:

Com a definição de todos os grupos horizontais, temos o desenho representado pela Figura 5.47.

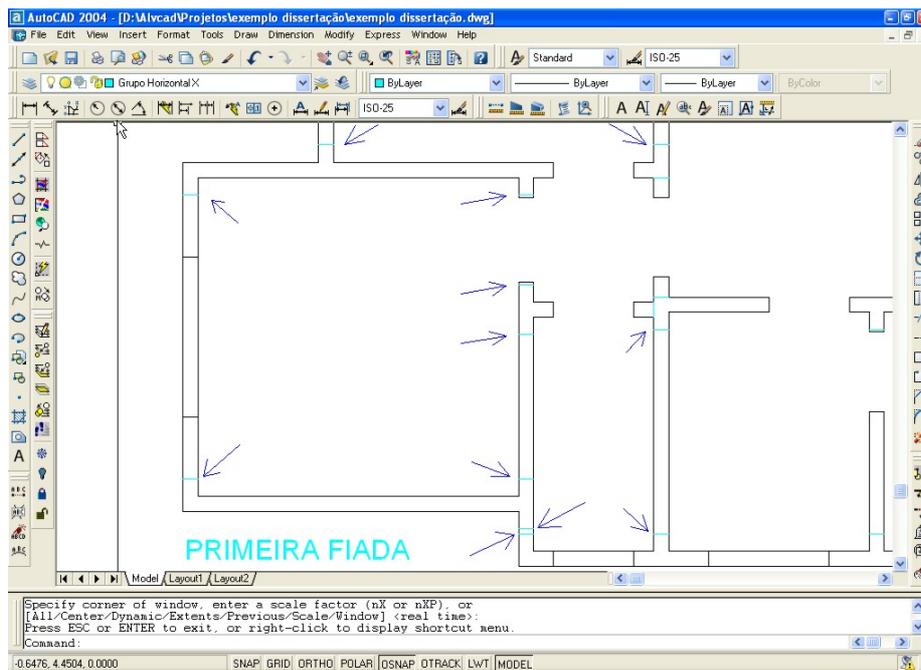


Figura 5.46 – Indicação das linhas das abas.

De maneira semelhante ao Grupo Vertical número 8, o Grupo Horizontal número 12 na direção horizontal, está inserido sobre o eixo de simetria, valendo as mesmas considerações feitas anteriormente.

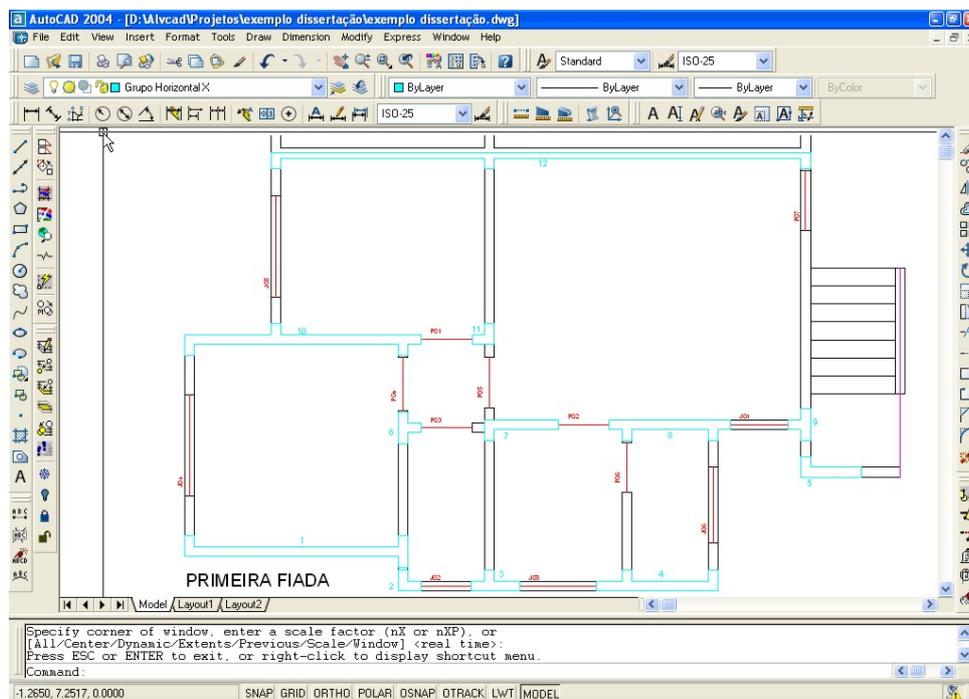


Figura 5.47 – Grupos Horizontais na direção X.

Os grupos de paredes que resistem ao esforço horizontal na direção Y são inseridos e definidos de forma análoga, resultando no desenho representado pela Figura 5.48.

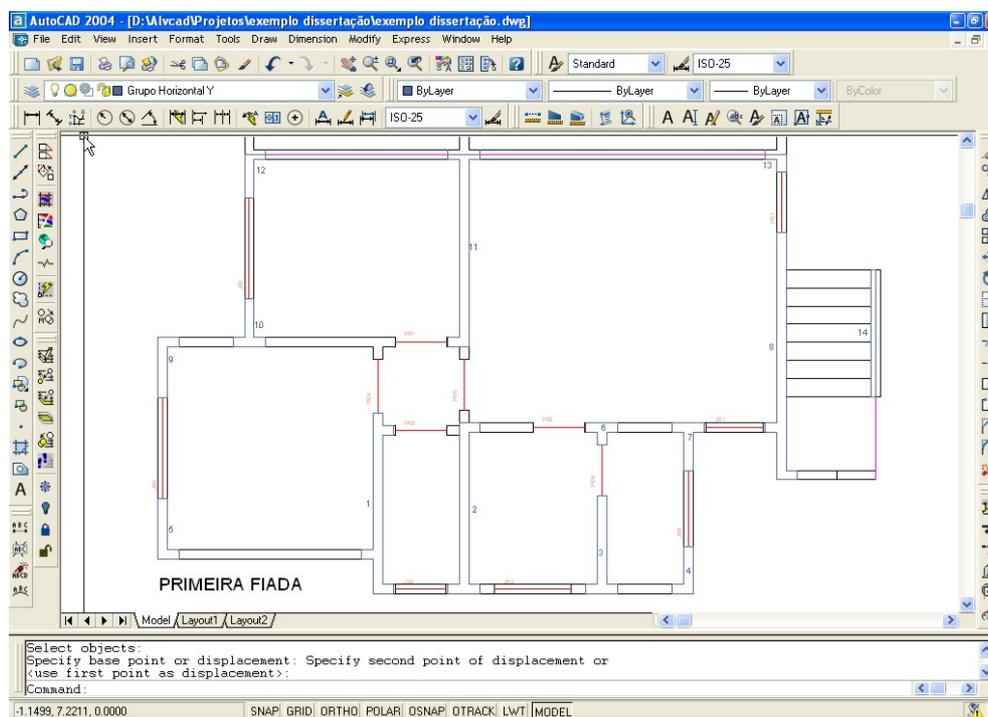


Figura 5.48 – Grupos Horizontais na direção Y.

Da mesma forma que na definição dos grupos verticais, na definição dos grupos horizontais o ALVCAD transforma em grupo a região fechada na qual o ponto de seleção está inserido.

Por isso, caso o usuário não queira utilizar as abas na definição dos grupos horizontais, devem ser desenhadas linhas “fechando” a região da alma. Quando um ponto interno à alma é selecionado, a região correspondente transforma-se em grupo horizontal.

5.3.8 Carregamentos

A próxima etapa é a definição dos carregamentos. O Menu correspondente é representado na Figura 5.49, e é composto pelos comandos: Carregamento Vertical, Carregamento Horizontal, Processar esforços verticais e horizontais e Resistência da Parede.



Figura 5.49 – Menu “Carregamentos”.

Nessa etapa são definidos os carregamentos verticais (lajes, platibanda e ático) e os carregamentos horizontais (vento e desaprumo). Não há uma ordem pré-determinada para definir os carregamentos, podendo definir primeiro o carregamento vertical e depois o carregamento horizontal, ou vice-versa.

5.3.8.1 *Carregamento Vertical*

Para esse exemplo, são definidos inicialmente, os carregamentos verticais. Como visto na Figura 5.50, esse Menu está dividido em: Lajes, Carregamentos adicionais e Processar Esforços Verticais.

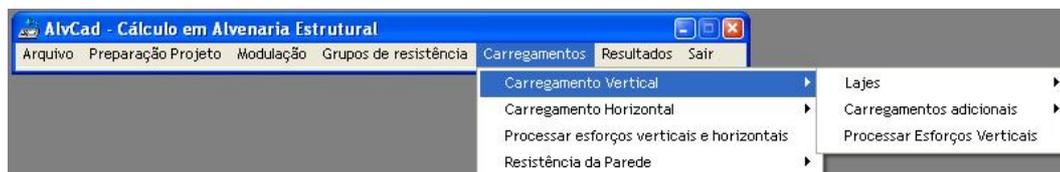


Figura 5.50 – Menu para definição do Carregamento Vertical.

Para definição das lajes têm-se, como visto em Figura 5.51, as opções: Definições e Calcular Lajes. Acionando o comando **Carregamentos > Carregamento Vertical > Lajes > Definições**, tem-se a janela representada pela Figura 5.52. Seguindo as instruções, deve-se inicialmente inserir os 4 contornos das lajes. Em seguida, deve-se indicar o número da laje e selecionar os 4 lados desenhados. Pode-se repetir esse procedimento para todas as lajes antes de definir seus apoios. Quando definidas todas as lajes, tem-se o desenho representado pela Figura 5.52.

Caso algum contorno seja inserido erroneamente, deve-se acionar o comando Excluir e selecionar a linha que representa o contorno. O desenho é apagado e as informações sobre esse contorno são retiradas do banco de dados.



Figura 5.51 – Menu para inserção e cálculo das lajes.

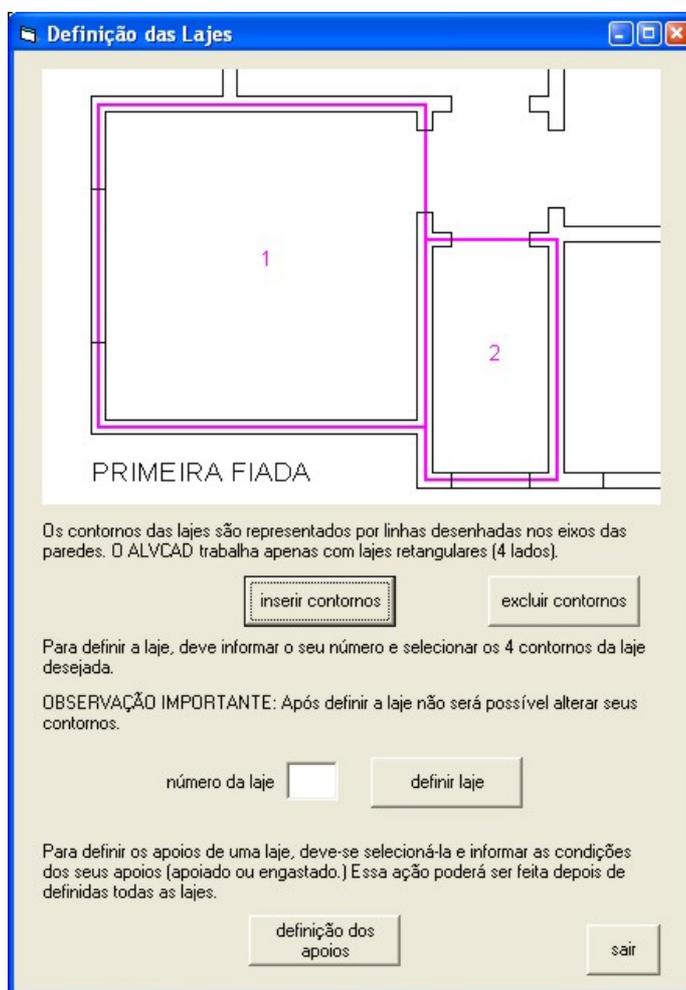


Figura 5.52 – Tela para a definição das lajes.

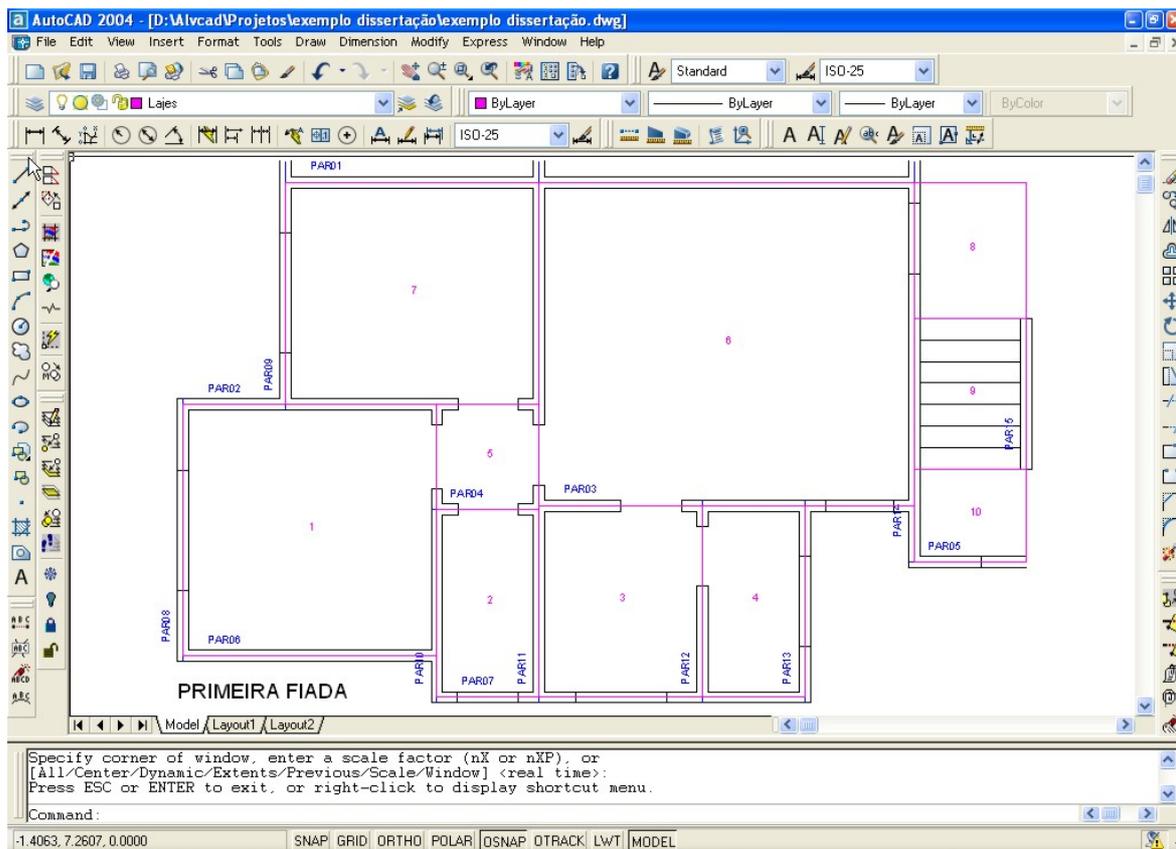


Figura 5.53 – Desenho com as lajes definidas.

Para definir os apoios, deve ser acionado o comando na tela representada pela Figura 5.52 e selecionar a laje. O aplicativo reconhece a laje selecionada e pede para o projetista selecionar as condições de apoio da laje, através da tela representada na Figura 5.54.

Neste momento o projetista deve analisar todas as lajes e determinar a condição de apoio isolado para cada uma delas. Em função dessa condição de apoio, serão calculadas as reações, com base na Teoria da Elasticidade, de acordo com Polillo (1977).

Concluída a definição dos tipos de apoios das lajes, deve-se calculá-las. Acionando o comando correspondente no Menu **Carregamentos > Carregamento Vertical > Lajes > Calcular Lajes**, tem-se a tela representada na Figura 5.55. Informando-se o número da laje, tem-se a figura que ilustra as condições de apoio determinada para a laje correspondente.

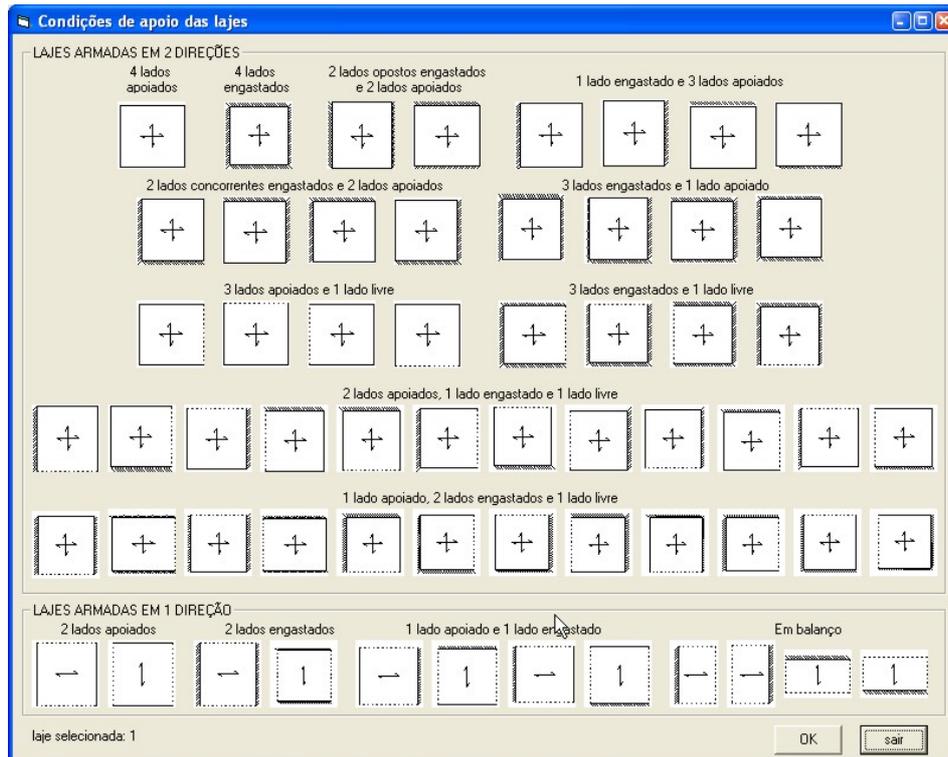


Figura 5.54 – Condições possíveis para os apoios das lajes.

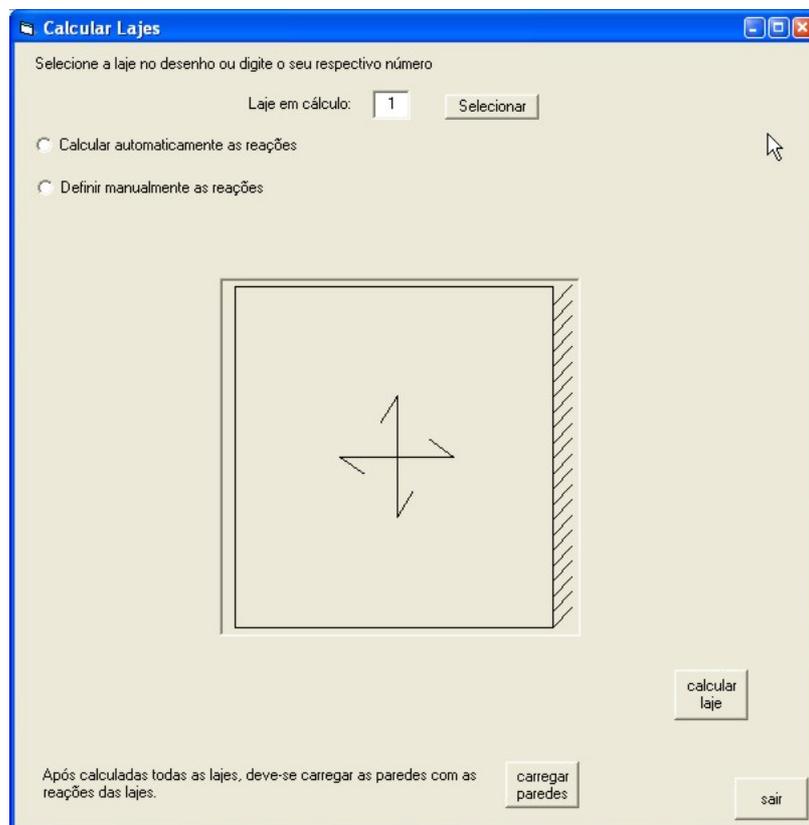


Figura 5.55 – Tela para cálculo das lajes com a informação do número da laje.

Em seguida, deve-se optar por calcular automaticamente as reações ou informá-las. Caso a opção seja calcular as reações automaticamente, deve-se informar qual a sobrecarga de utilização. Além disso, deve-se escolher qual o tipo de laje: maciça ou nervurada. Optando-se por laje maciça, deve-se informar sua espessura. Optando por laje nervurada, deve-se informar seu peso-específico, em kN/m^3 , como visto na Figura 5.56.

Calcular Reações de Apoio das Lajes

Selecione a laje no desenho ou digite o seu respectivo número

Laje em cálculo: Selecionar

Calcular automaticamente as reações

Definir manualmente as reações

sobrecarga de utilização kN/m^2

laje maciça

espessura da laje m

laje nervurada

calcular laje

Após calculadas todas as lajes, deve-se carregar as paredes com as reações das lajes. carregar paredes

sair

Figura 5.56 – Opção para cálculo de laje maciça.

Optando-se por definir diretamente as reações, estas devem ser informadas ao sistema considerando separadamente, o carregamento permanente e a sobrecarga de utilização, como visto na Figura 5.57.

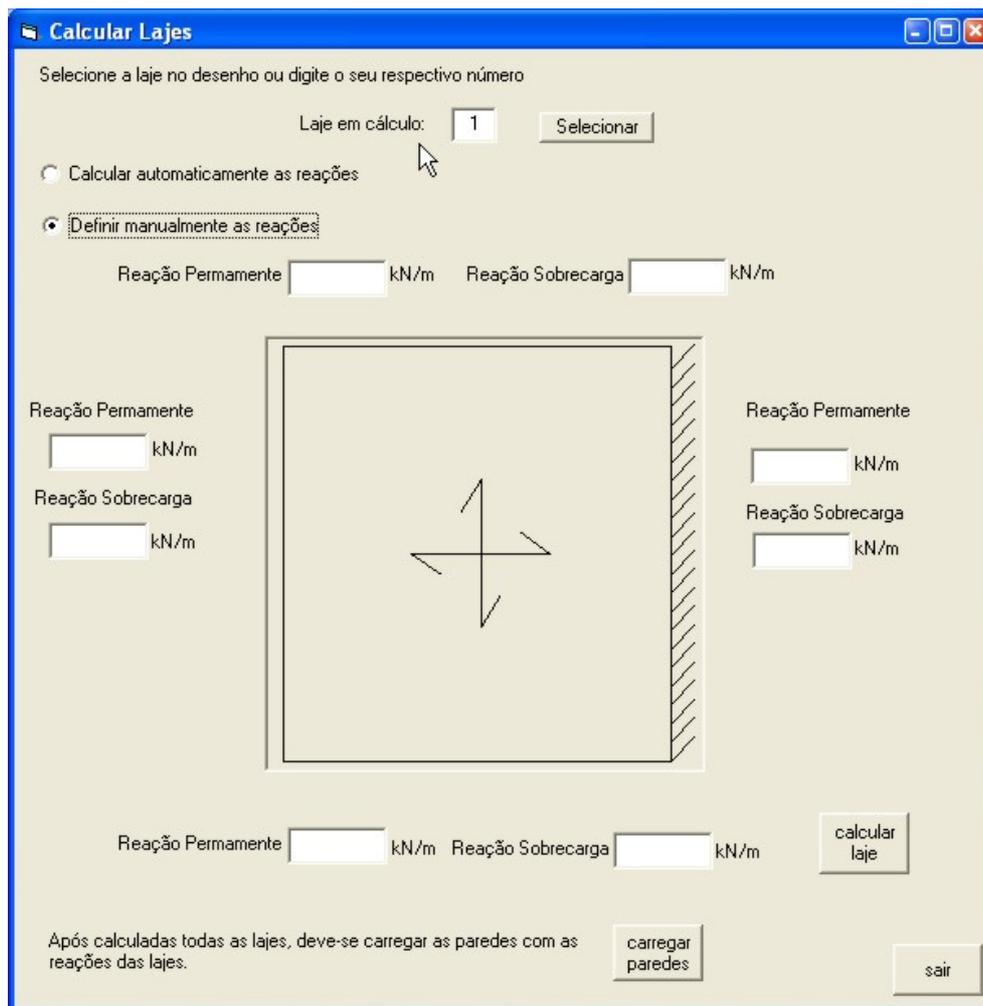


Figura 5.57 – Opção para informar as reações das lajes.

Para o exemplo, define-se que as lajes de 1 à 7 serão calculadas automaticamente considerando uma espessura de 10 cm, tendo diferentes sobrecargas de utilização. Para as lajes 3 e 4 a sobrecarga de utilização é definida em $2,0 \text{ kN/m}^2$ e para as demais lajes, a sobrecarga de utilização é definida em $1,5 \text{ kN/m}^2$.

As lajes 8, 9 e 10 tem suas reações informadas manualmente ao sistema, com valores iguais à $3,6875 \text{ kN/m}$, $1,843 \text{ kN/m}$ e $3,6875 \text{ kN/m}$, respectivamente. Esses valores foram encontrados da seguinte forma:

Lajes 8 e 10 – considerando que existe a simetria exatamente no limite dessas lajes, considera-se que toda a área da laje que foi desenhada, esteja apoiada na parede 14. A largura dessas lajes é igual à $1,475 \text{ m}$ e como trata-se de área de circulação,

considera-se uma sobrecarga de utilização igual à $2,5 \text{ kN/m}^2$. Para determinar a carga ao longo da dimensão apoiada sobre a parede 14, multiplica-se o valor da carga distribuída pelo valor da largura da laje, ou seja, $1,475 \text{ m} \times 2,5 \text{ kN/m}^2 = 3,6875 \text{ kN/m}$. Para a determinação do carregamento de peso-próprio, considera-se uma espessura de 10 cm e o peso-específico do concreto armado igual à 25 kN/m^3 . Isso resulta em uma carga distribuída igual à $0,1 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3 = 2,5 \text{ kN/m}^2$. Coincidentemente, esse valor é o mesmo considerado para a sobrecarga, o que resulta no mesmo valor para a reação ao longo do apoio.

Laje 9 – A laje 9 é a laje da escada e apóia-se nas paredes 14 e 15, considerando-se metade do carregamento para cada parede. Mesmo que a reação da laje não seja na mesma altura que as reações das demais lajes, pois é uma laje inclinada, este carregamento deve ser suportado pela parede. Adotando uma sobrecarga de utilização igual a $2,5 \text{ kN/m}^2$, tem-se uma largura de influência igual à 0,74 m para cada parede. Dessa forma, o carregamento linear ao longo de cada parede (14 e 15) é igual à $2,5 \text{ kN/m}^2 \times 0,74 \text{ m} = 1,843 \text{ kN/m}$. De forma análoga às lajes 8 e 10, a reação devida ao carregamento permanente tem o mesmo valor que a reação devida à sobrecarga de utilização.

Quando acionado o comando para calcular lajes, caso seja escolhida a opção de calcular automaticamente as reações, o sistema informa as reações calculadas e espera por uma confirmação do projetista, para então armazená-las. A partir desse momento, com as reações gravadas, não é possível recalculá-las a laje no mesmo projeto (Figura 5.58).

Concluindo a etapa de cálculo das lajes, devem-se carregar as paredes com as reações calculadas. Essa ação deve ser feita após o cálculo de todas as lajes, pois não será possível calcular outra laje depois desse processo.

Acionando o comando correspondente, todas as reações serão processadas e mostradas no desenho, nas suas posições correspondentes. O primeiro valor é referente ao carregamento permanente e o segundo valor referente à sobrecarga de utilização (Figura 5.59). Esses valores são ilustrativos. Dessa forma, alterá-los ou apaga-los no desenho, não tem nenhum efeito sobre o projeto em cálculo.

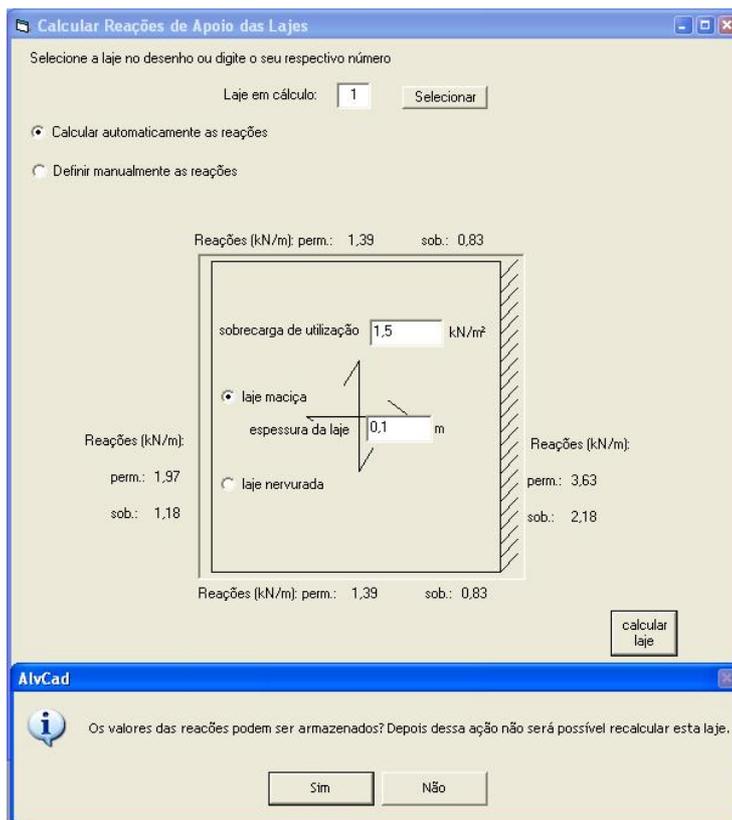


Figura 5.58 – Confirmação para armazenamento das reações.

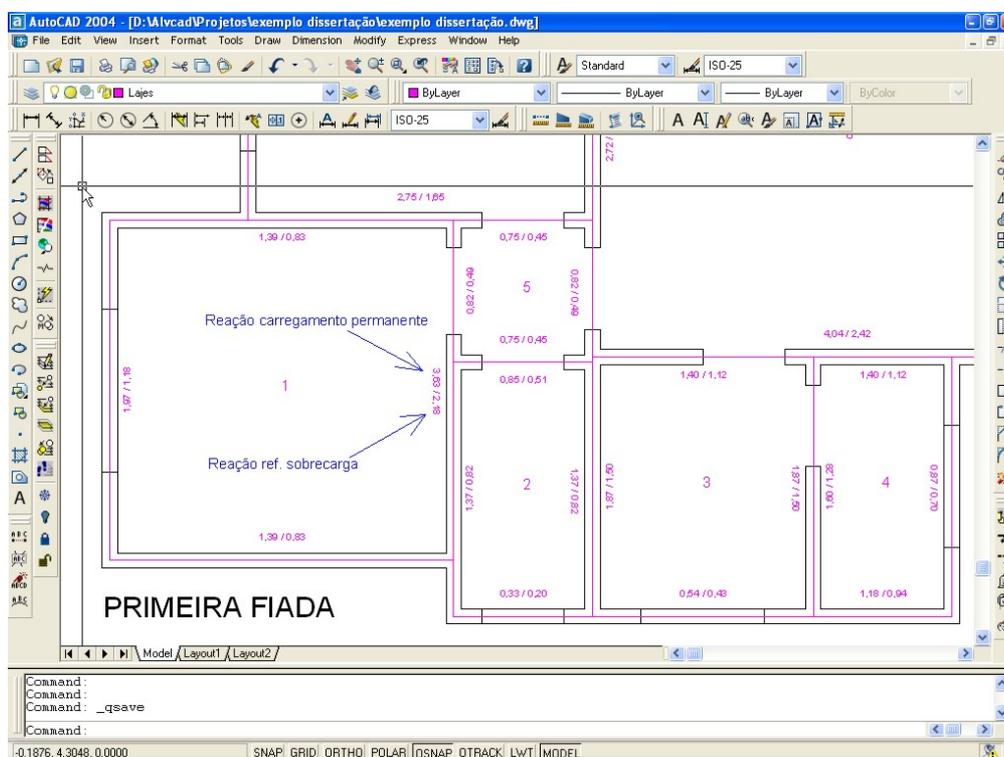


Figura 5.59 – Desenho com os valores das reações em kN/m.

Em seguida, deve-se definir as cargas adicionais, que são os carregamentos de platibanda e do ático. Acionando o comando **Carregamentos > Carregamento Vertical > Carregamentos adicionais**, tem-se a tela representada pela Figura 5.60.



Figura 5.60 – Menu “Carregamentos adicionais”.

Acionando a primeira opção, que é a definição do ático, tem-se a tela representada pela Figura 5.61. Deve ser informada a altura do ático para a consideração do efeito do vento. Em seguida deve-se indicar a carga linear e marcar a linha que representa esse carregamento no desenho.

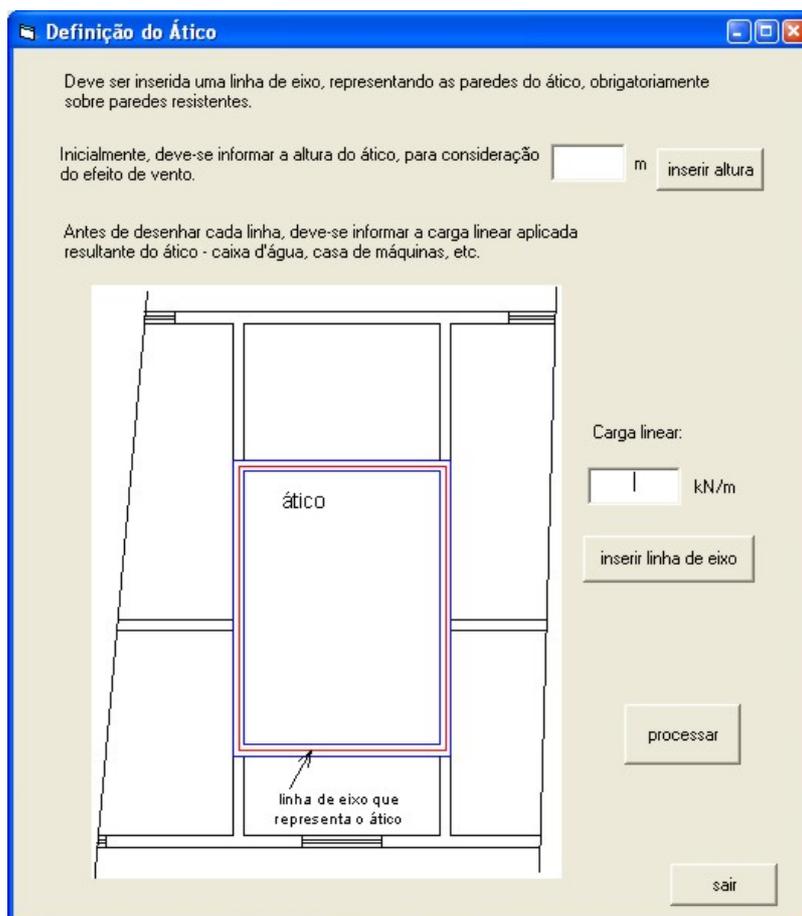


Figura 5.61 – Tela para a definição do ático.

Cada linha deve ser inserida separadamente. Após a definição de todas as linhas, deve-se processar o carregamento. Essa ação irá carregar as paredes correspondentes com o carregamento do ático e não poderá ser retroagida.

No exemplo demonstrado nesse capítulo, não foi inserido carregamento devido ao ático, mas no exemplo numérico do capítulo 6, é utilizado esse recurso.

A segunda opção do menu Carregamentos Adicionais é a inserção de carregamento proveniente da platibanda. Essa ação é conduzida a partir da tela representada pela Figura 5.62. São desenhadas linhas no eixo das paredes sobre as quais se encontra a platibanda.

Em função da altura da platibanda, o ALVCAD considera a carga vertical de peso-próprio da parede, utilizando essa altura também para o cálculo da altura da edificação, que determina o carregamento de vento.

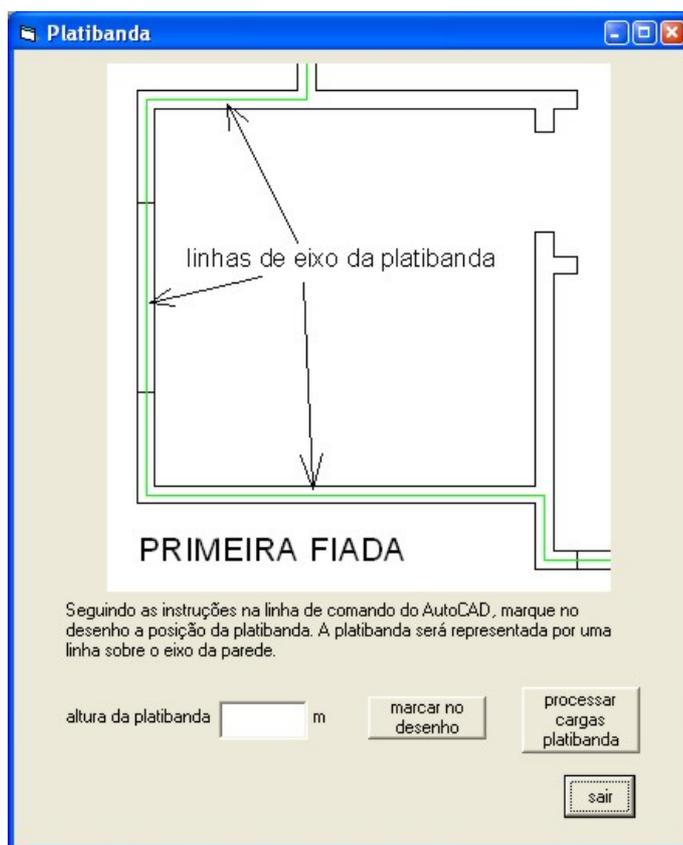


Figura 5.62 – Tela para inserção da platibanda.

Concluída a marcação da Platibanda no desenho (Figura 5.63), deve-se proceder ao processamento de sua carga. Essa ação distribui o carregamento da Platibanda nas paredes que a suporta, não podendo ser retroagida a partir de então.

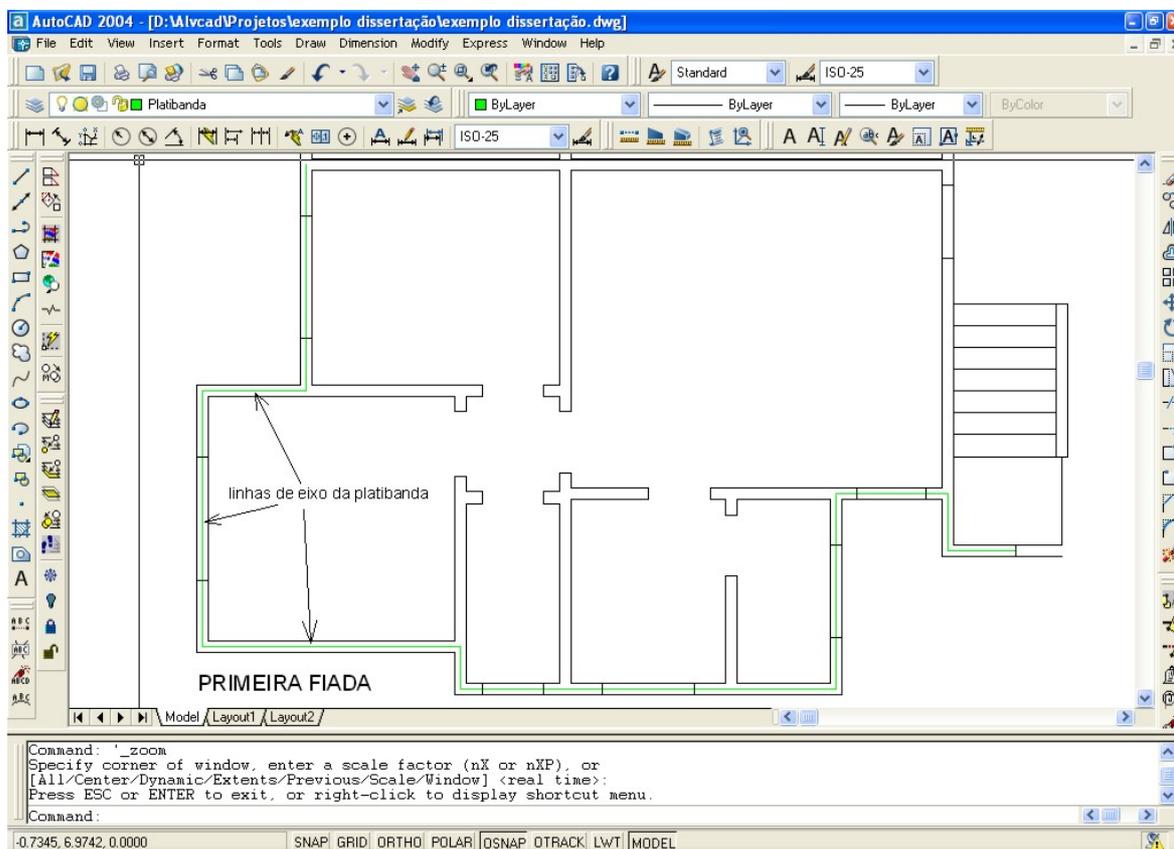


Figura 5.63 – Desenho com marcação da platibanda.

Determinadas as cargas verticais referentes às lajes, ao ático e à platibanda, agora deve-se processá-las acionando o comando **Carregamentos > Carregamento Vertical > Processar Carregamento Vertical** localizado na Barra de Menus.

Esta ação carrega as paredes considerando todas as cargas verticais. Para tanto, neste momento, deve-se definir o peso-próprio da parede, definindo o seu peso-específico.

Nesta demonstração é escolhida a opção de bloco de concreto, definindo o peso-específico da parede em 14 kN/m^3 . Acionando o botão correspondente, todos os carregamentos verticais serão processados.

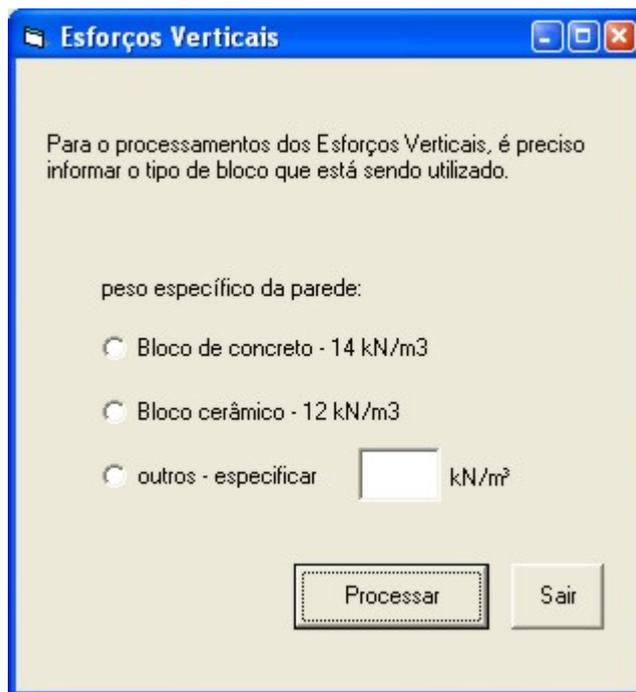


Figura 5.64 – Definição do peso-específico da parede.

5.3.8.2 Carregamento Horizontal

O próximo carregamento a ser considerando é o Carregamento Horizontal. Na Barra de Menus, esta opção divide-se em: Vento, Desaprumo e Processar Carregamento Horizontal (Figura 5.65).



Figura 5.65 – Menu “Carregamento Horizontal”.

Primeiramente, determina-se o carregamento horizontal proveniente do vento que atua sobre a edificação. Acionando o comando correspondente, tem-se a tela representada na Figura 5.66.

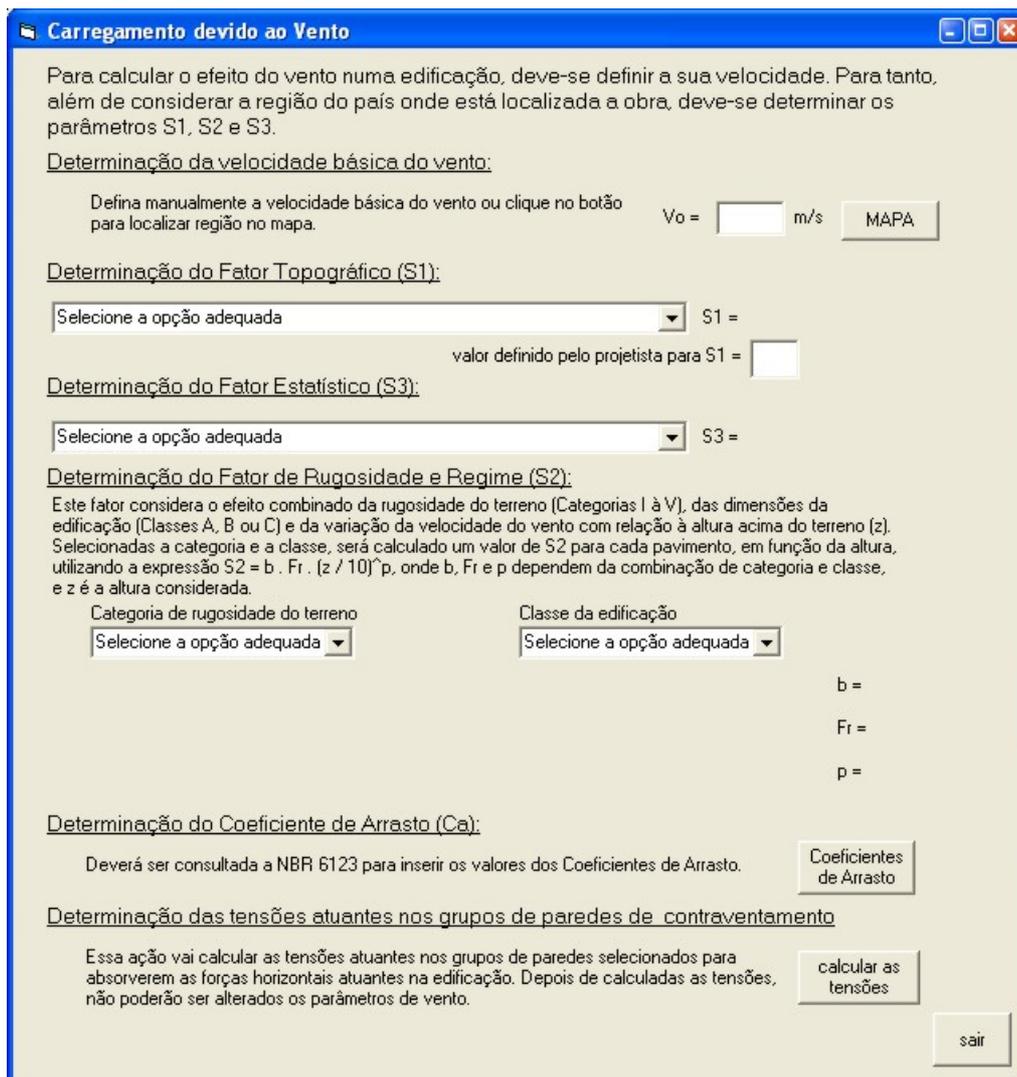


Figura 5.66 – Tela para definição do carregamento de vento.

Na determinação da força do vento devem ser considerados vários fatores. A NBR 6123 (ABNT,1988) estima a Força de Arrasto do Vento sobre uma edificação, como sendo o resultado da expressão:

$$F_a = C_a \cdot q \cdot A_e \tag{5.1}$$

- onde: F_a = força de arrasto;
- C_a = coeficiente de arrasto;
- q = pressão dinâmica do vento;
- A_e = área efetiva de atuação.

A pressão dinâmica do vento q , por sua vez, é calculada em função da velocidade característica do vento (V_k), como mostra a Equação 5.2:

$$q = 0,613 \cdot V_k^2 \quad 5.2$$

O valor do Coeficiente de Arrasto C_a é determinado em função das dimensões da edificação, como indicado no item 6.3 da NBR 6123 (ABNT, 1988) e deve ser determinado para duas direções perpendiculares.

Finalmente, o valor da Área Efetiva A_e , é calculado de acordo com a área de atuação do vento, dividindo a edificação em faixas horizontais (Figura 5.67).

No caso de edificações em alvenaria estrutural, pode ser considerado que essa faixa de altura tem valor igual ao pé-direito. Todo o carregamento de vento incidente sobre essa faixa é absorvido pelas paredes da fachada, transmitido à laje, e a laje por sua vez, trabalhando como um diafragma rígido, distribui o carregamento para as demais paredes da edificação.

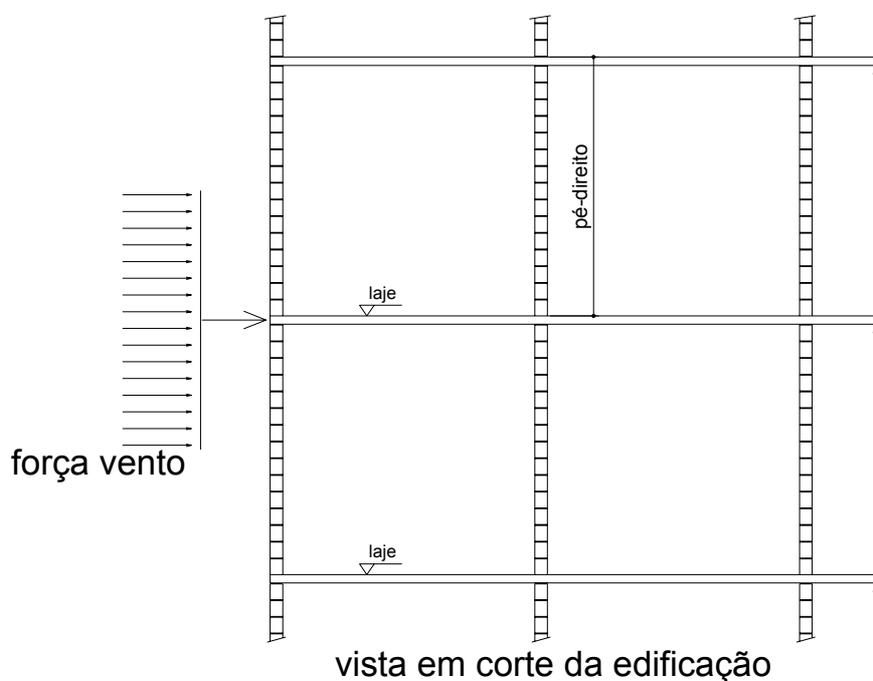


Figura 5.67 – Distribuição da força do vento na fachada da edificação.

O cálculo da velocidade característica do vento depende de quatro fatores (Equação 5.3):

$$V_k = V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \quad 5.3$$

O primeiro fator a ser definido é a Velocidade Básica do Vento - V_0 . No ALVCAD, este valor pode ser digitado diretamente na tela (Figura 5.66), ou, para orientar melhor o projetista, aciona-se o botão “Mapa”. Será mostrado o Mapa do Brasil com as Isopletas da velocidade básica do vento V_0 , conforme a NBR 6123 (ABNT, 1988), representado abaixo pela Figura 5.68.

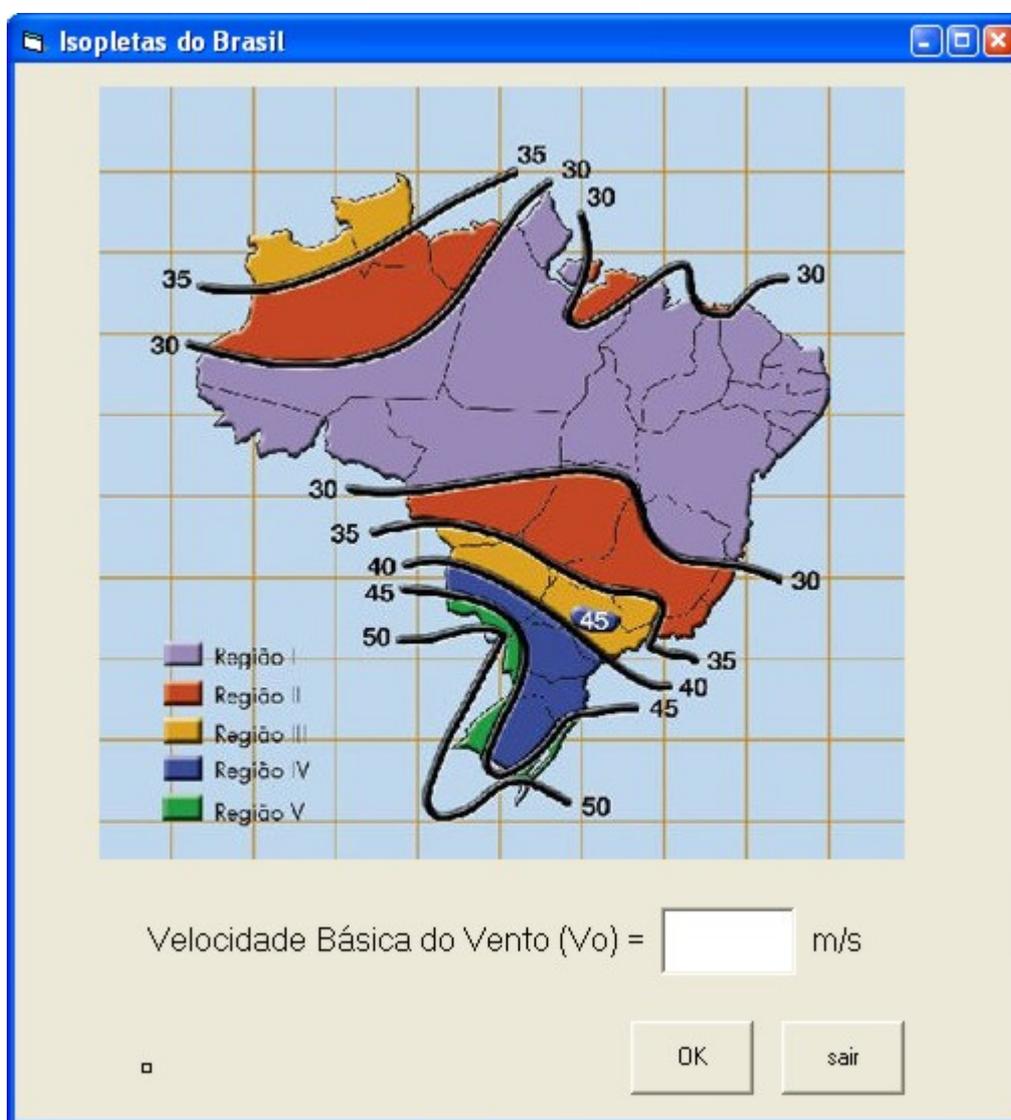


Figura 5.68 – Mapa do Brasil com as Isopletas da velocidade básica do vento V_0 (m/s).

Baseando-se neste mapa, ou de posse de informações mais precisas, o projetista informa a velocidade básica do vento que será considerada no projeto. Nesta demonstração é usado o valor de 34 m/s.

O próximo fator a ser definido é o valor de S_1 , conforme definido pela NBR 6123 (ABNT, 1988). Duas hipóteses citadas pela norma para a determinação de S_1 estão previstas no ALVCAD (5.2.a e 5.2.c). Caso o projetista opte por um outro valor, ou a edificação enquadre-se no item 5.2.b da NBR 6123 (ABNT, 1988), o valor deverá ser informado.

Em seguida, deve-se definir o valor do fator S_3 , também definido pela NBR 6123 (ABNT, 1988). As cinco hipóteses citada pela norma estão previstas no ALVCAD e basta que o usuário escolha uma delas na lista.

Para a determinação do valor do fator S_2 , a NBR 6123 (ABNT, 1988) indica a aplicação da fórmula representada pela Equação 5.4:

$$S_2 = b \cdot F_r \cdot \left(\frac{z}{10} \right)^p \quad 5.4$$

Os valores dos parâmetros b e F_r estão indicados na Tabela 1 da NBR 6123 (ABNT, 1988) e estão cadastrados no Banco de Dados do ALVCAD. Dessa forma, em função da Classe e da Categoria informada pelo projetista, o aplicativo busca os valores dos parâmetros da Equação 5.4. O valor de z corresponde à altura da edificação e é considerada à cada pavimento, portanto em cada pavimento é considerado um valor diferente de S_2 . Dessa forma, em cada pavimento será considerada uma força de vento diferente, tendo seu maior valor no último pavimento.

Determinada a Velocidade Característica do Vento – V_k , finalmente deve-se definir o Coeficiente de Arrasto - C_a . Acionando o comando correspondente, tem-se a tela representada pela Figura 5.69. Para esta demonstração, têm-se os parâmetros indicados nesta figura. Consultando as Figuras 4 e 5 da NBR 6123 (ABNT, 1988), verificam-se os coeficientes de arrasto $C_a = 1,15$ para o vento a 0° e $C_a = 0,82$ para vento a 90° .

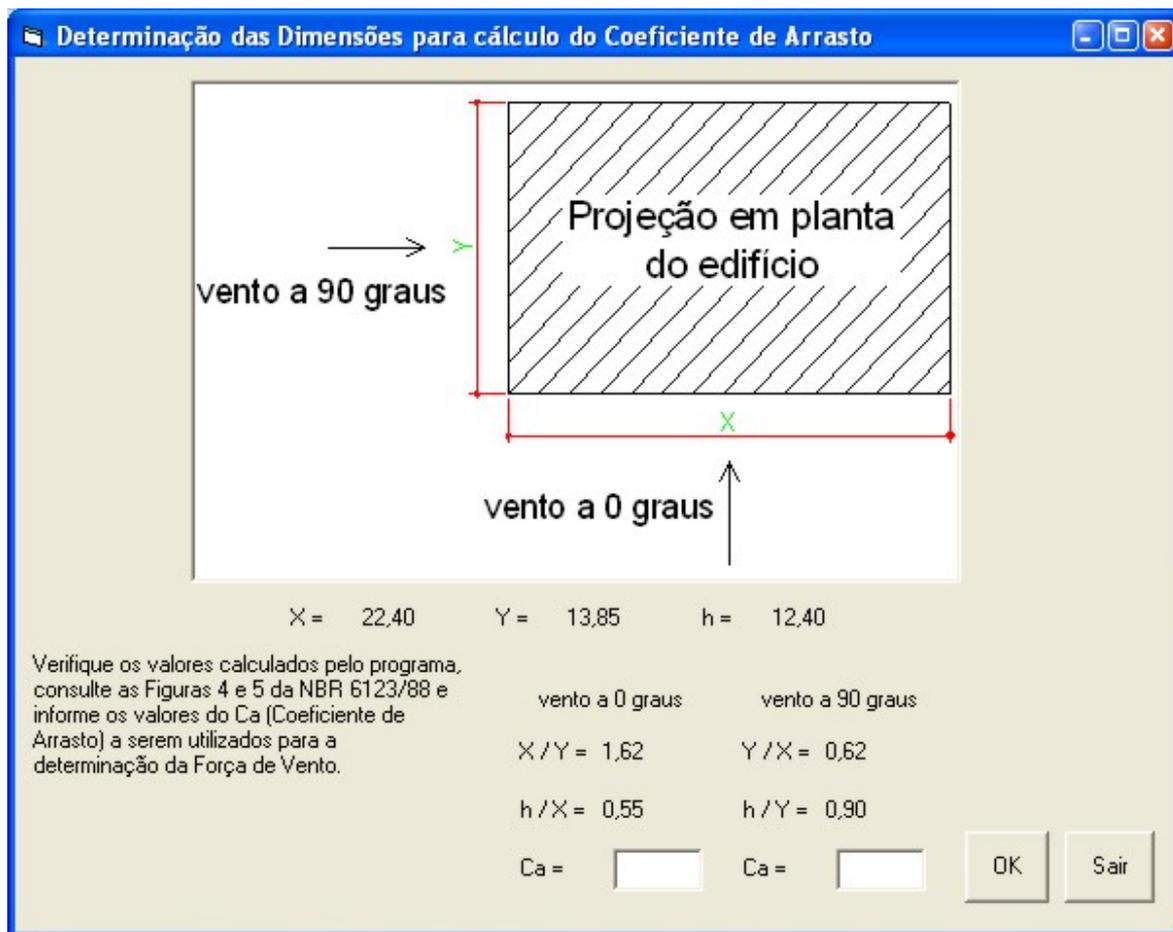


Figura 5.69 – Informação do valor do Coeficiente de Arrasto.

Esses valores devem ser consultados pelo projetista e informados ao aplicativo, pois a Norma não fornece uma equação, em função das dimensões do edifício, para que sejam diretamente calculados.

Informando os valores indicados, basta agora calcular as tensões atuantes devido ao carregamento de vento. Para isso, deve-se apenas acionar o comando indicado.

O próximo passo é calcular o carregamento horizontal proveniente do efeito de desaprumo. Para tanto, deve-se acionar o comando **Carregamentos > Carregamento Horizontal > Desaprumo** na Barra de Menus. A tela representada pela Figura 5.70 orienta o projetista a respeito do cálculo do efeito do desaprumo. Acionando o comando correspondente, as forças horizontais provenientes do desaprumo serão calculadas em função do peso do pavimento e do ângulo φ , conforme visto no Capítulo 4.

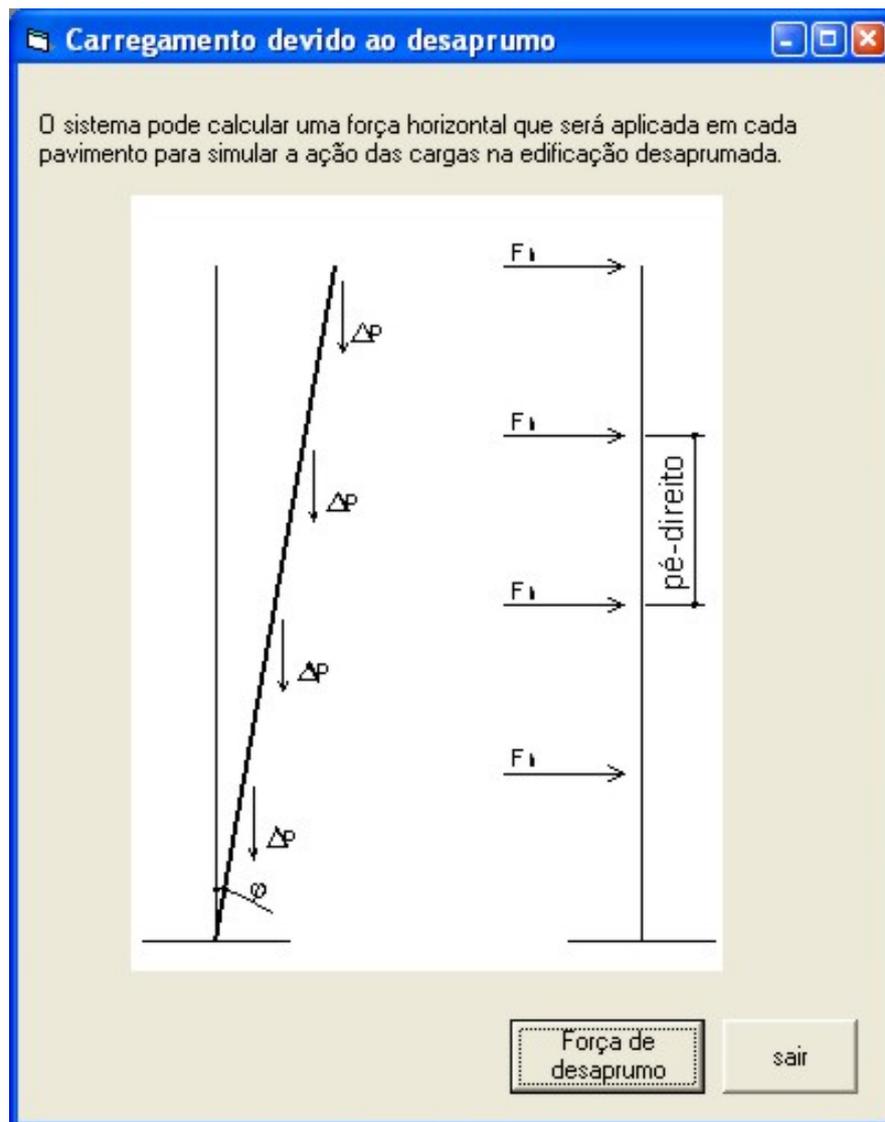


Figura 5.70 – Tela para cálculo da força horizontal de desaprumo.

De forma análoga ao carregamento vertical, deve-se agora processar o carregamento horizontal. Essa ação combina os efeitos do carregamento de vento e desaprumo, gerando um carregamento horizontal único.

Acionando o comando **Carregamentos > Carregamento Horizontal > Processar Esforços Horizontais**, tem-se a tela representada pela Figura 5.71. Como visto nesta figura, ainda é possível considerar apenas um dos esforços, escolhendo a opção correspondente.

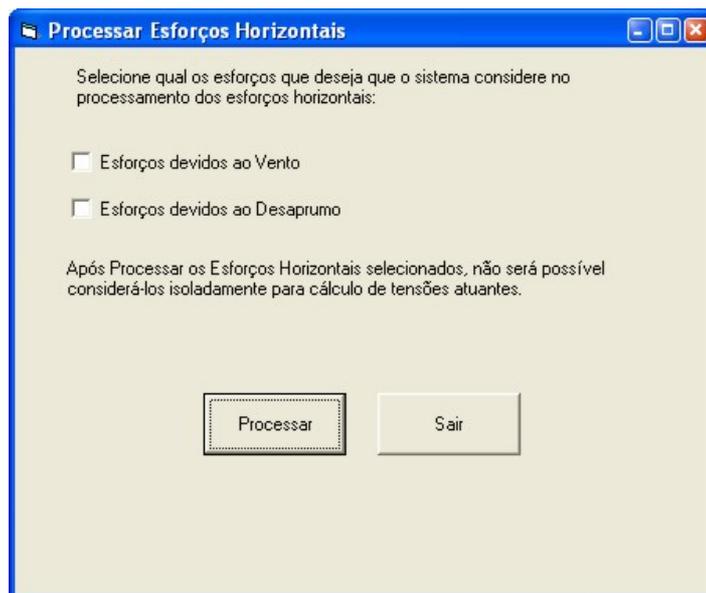


Figura 5.71 – Tela para processamento dos esforços horizontais.

5.3.8.3 *Combinação dos carregamentos Verticais e Horizontais*

Com o processamento dos Esforços Horizontais, encerra-se a etapa de Carregamentos. Para prosseguir, é necessário combinar os esforços verticais com os esforços horizontais. Essa ação é feita através do comando **Carregamentos > Processar Esforços Verticais e Horizontais**. Uma tela do ALVCAD explica ao projetista a ação que será realizada, pedindo uma confirmação (Figura 5.72).

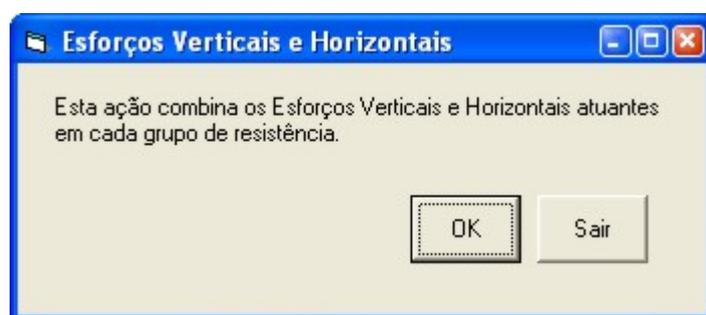


Figura 5.72 – Confirmação para combinação dos Esforços Verticais e Horizontais.

Concluindo essa etapa, todos os esforços atuantes nos grupos de paredes estão calculados e processados.

5.3.9 Determinação da Resistência do Bloco

A última etapa do dimensionamento é a determinação das resistências dos blocos em cada pavimento. Para realizar esse dimensionamento, deve-se acionar o comando **Carregamentos > Resistência da Parede > Norma Brasileira**. Como visto na Figura 5.73, o ALVCAD pede que seja informada a eficiência bloco-prisma e a faixa de resistência da argamassa.

Resistência da Parede

Resistência do Bloco

Sistema pode determinar o bloco a ser utilizado em cada pavimento de duas formas:

Uma das maneiras, é estimando a eficiência do bloco-prisma, de acordo com a tabela abaixo:

Bloco de concreto - $f_p = 0,80 \times f_b$

Bloco cerâmico - $f_p = 0,50 \times f_b$

A outra maneira é utilizando uma eficiência informada pelo usuário.

Neste caso, informe a seguir a eficiência adotada para o bloco-prisma:

$f_p =$ $\times f_b$

Resistência da argamassa

entre 12,0 MPa e 17,0 MPa entre 5,0 MPa e 12,0 MPa

Determinação dos blocos Sair

Figura 5.73 – Determinação da eficiência bloco-prisma.

Quando acionado o comando “Determinação dos blocos”, o ALVCAD já calcula a resistência de bloco necessária para cada grupo e para cada pavimento. Esses valores são informados na tela, pavimento por pavimento, para verificação do projetista (Figura 5.74).

A determinação do valor da resistência do bloco envolve uma série de cálculos e verificações indicadas pela NBR 10837 (ABNT, 1989). Como esta norma especifica a resistência do prisma, é fundamental a informação da eficiência do prisma neste momento.

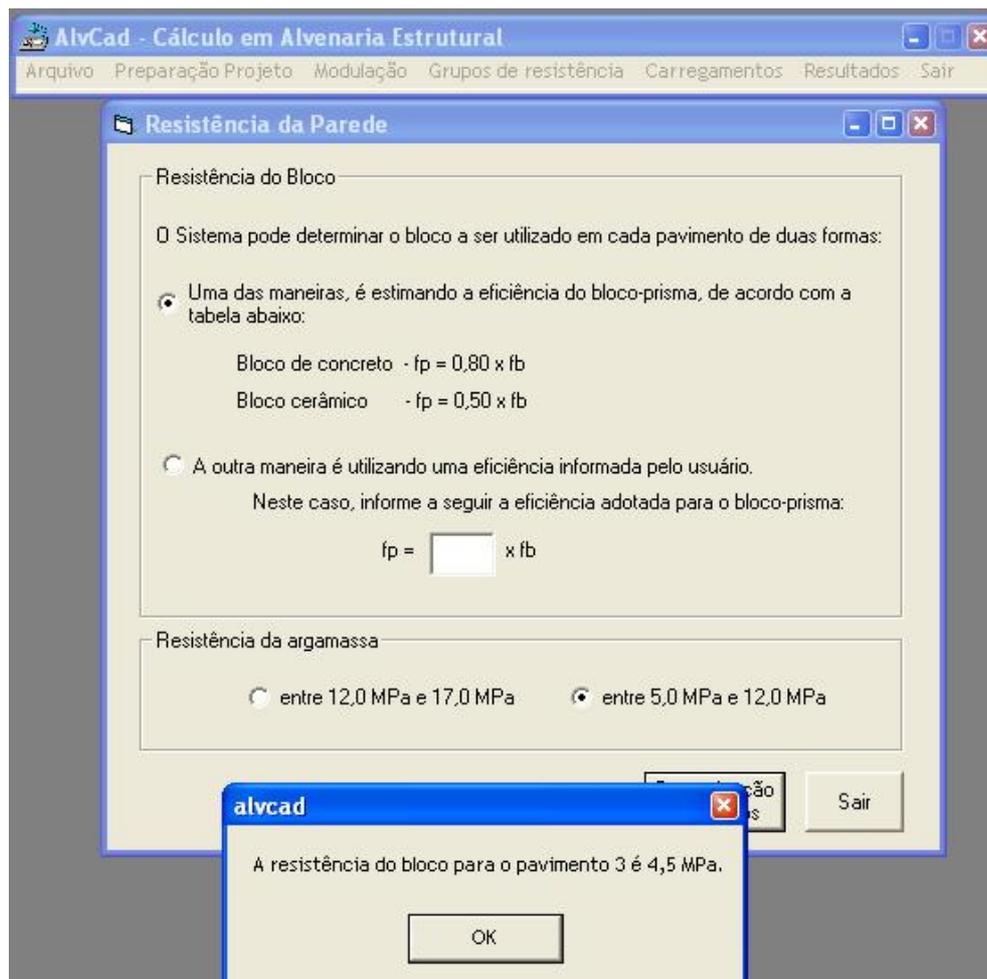


Figura 5.74 – Resultado do dimensionamento da resistência do bloco.

O valor dessa eficiência é função de características peculiares a cada obra e o projetista deve tê-lo em mãos. Caso contrário, sua estimativa deve ser informada à obra e o valor de eficiência adotado deve ser garantido na execução.

Considerando a eficiência do prisma e apenas o carregamento gerado pelas ações verticais, o ALVCAD determina a mínima resistência do prisma para atender ao valor máximo permitido para tensão de compressão simples.

Em seguida, considerando a compressão proveniente do carregamento horizontal, somada à compressão proveniente do carregamento vertical, o ALVCAD determina a mínima resistência do prisma para atender ao valor máximo permitido para a tensão de compressão na flexão.

Adotando o maior valor da resistência do prisma, o ALVCAD realiza a verificação de flexão-composta, conforme indicado na Equação 4.16, sendo geralmente a verificação mais crítica. Caso a resistência do prisma não atenda a essa verificação, adota-se o valor mínimo necessário para que a flexão-composta seja verificada.

Finalmente, utilizando da resistência do prisma que atende todas as verificações descritas anteriormente, verifica-se a tensão de cisalhamento. Para calcular essa tensão, considera-se apenas a área da alma dos grupos horizontais. A tensão máxima permitida depende da resistência da argamassa e também é indicada pela NBR 10837 (ABNT, 1989).

Já está previsto na Barra de Menus do ALVCAD, o comando para calcular a resistência das paredes seguindo as especificações da BS 5628:Part 1 (BSI, 1978). A implementação dessa metodologia no ALVCAD é uma das sugestões para o prosseguimento deste trabalho.

5.3.10 Verificação da Estabilidade Global

Neste momento, todos os relatórios já podem ser emitidos, pois o dimensionamento já está concluído. No entanto, o ALVCAD propicia a Verificação da Estabilidade Global de edificação.

Na Barra de Menus, existe um comando específico para essa ação, como vista na Figura 5.75. Acionando este comando, surge uma tela explicativa a respeito do método de verificação da Estabilidade Global (Figura 5.76).



Figura 5.75 – Menu “Estabilidade Global”.

Como explicado na tela, o ALVCAD considera o método do γ_z . Trata-se de uma forma aproximada de estimar os esforços de segunda ordem, a partir dos deslocamentos gerados

pelos esforços de primeira ordem. O valor do parâmetro aparece na tela, para ambas as direções. Para o exemplo em demonstração, os valores de γ_z são muito próximos de 1, ou seja, o edifício pode ser considerado indeslocável, como visto na Figura 5.77.

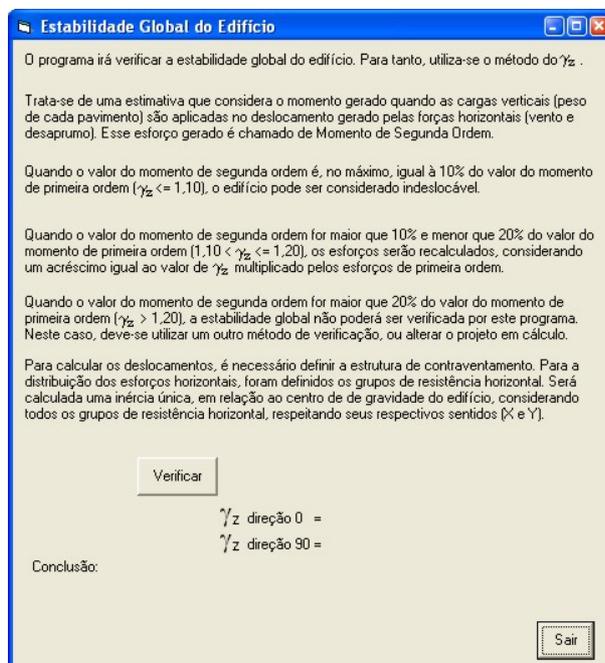


Figura 5.76 – Tela explicativa sobre a Verificação da Estabilidade Global.

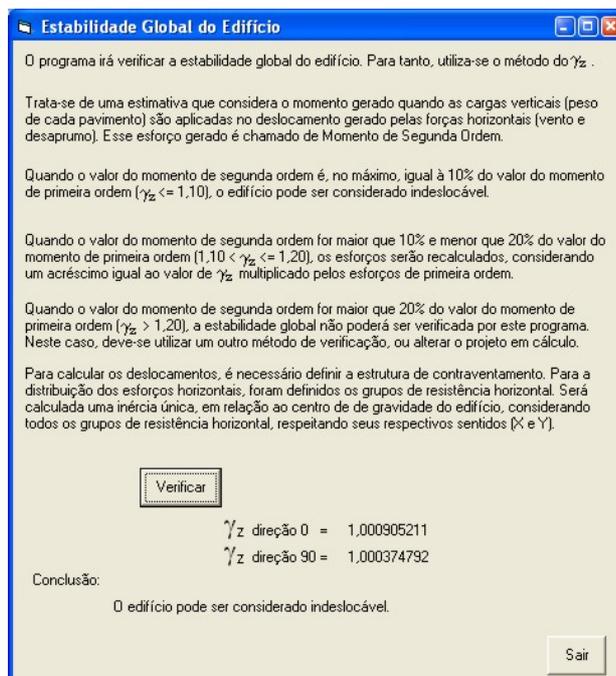


Figura 5.77 – Resultado da verificação da Estabilidade Global para o exemplo.

5.3.11 Resultados

Finalizada toda a etapa de dimensionamento e verificações, o ALVCAD apresenta, para o projetista, os resultados obtidos. Os resultados são apresentados de duas formas: através dos desenhos de elevação das paredes e através de relatórios (Figura 5.78).

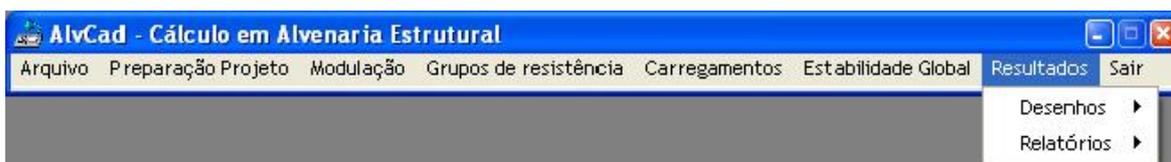


Figura 5.78 – Menu “Resultados”.

5.3.11.1 *Desenhos em elevação*

Os desenhos apresentados são as elevações das paredes, que são inseridas no desenho do AutoCAD e o projetista pode prepará-las como quiser para serem impressas e encaminhadas para a obra.

Vale ressaltar que é preciso que todas as elevações sejam inseridas para então gerar os relatórios de quantidade de blocos, pois este relatório é gerado a partir dos desenhos de elevação.

Porém, antes de desenhar as elevações, o projetista deve definir algumas características construtivas, como visto na Figura 5.79. Deve ser desenhada parede por parede, informando seu número no campo correspondente.

É opcional ao projetista criar, ou não, a canaleta de respaldo da parede, informando a armação que deseja que seja colocada dentro desse cintamento. Também é opcional a existência da contraverga, que terá sua armadura informada pelo projetista.

O ALVCAD deixa a critério do projetista a informação a respeito da armação das vergas. Quando calculada a armação necessária para vencer o vão das vergas, geralmente seu valor

é muito pequeno e é sempre adotado um valor maior pelo projetista. Por isso, o ALVCAD não calcula essa armadura e determina que o projetista a informe.

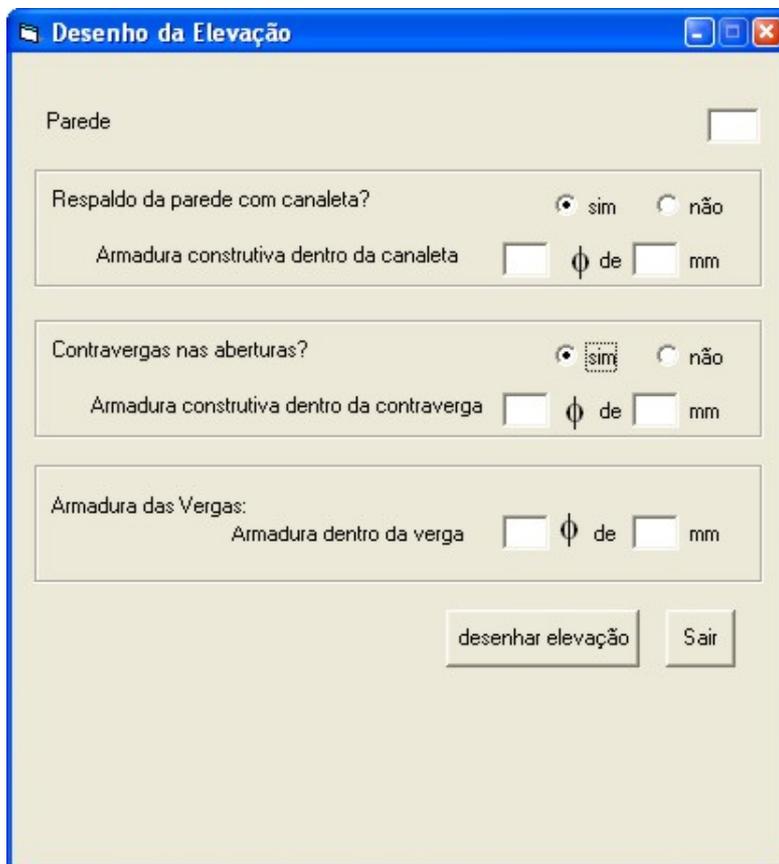


Figura 5.79 – Tela para inserção da elevação.

Abaixo segue o desenho da parede 7, inserido pelo ALVCAD diretamente no AutoCAD, representado pela Figura 5.80.

No desenho de elevação, o ALVCAD informa:

- ✓ desenho em elevação da parede, identificando cada tipo de bloco;
- ✓ numeração das fiadas;
- ✓ quantidade de blocos por fiada, separados por tipo;
- ✓ resumo da quantidade de blocos por parede, separados por tipo;
- ✓ detalhamento da armação das vergas, contravergas e canaletas de respaldo;
- ✓ resumo da quantidade de aço e concreto utilizado para construir a parede;
- ✓ a resistência mínima do bloco em cada pavimento.

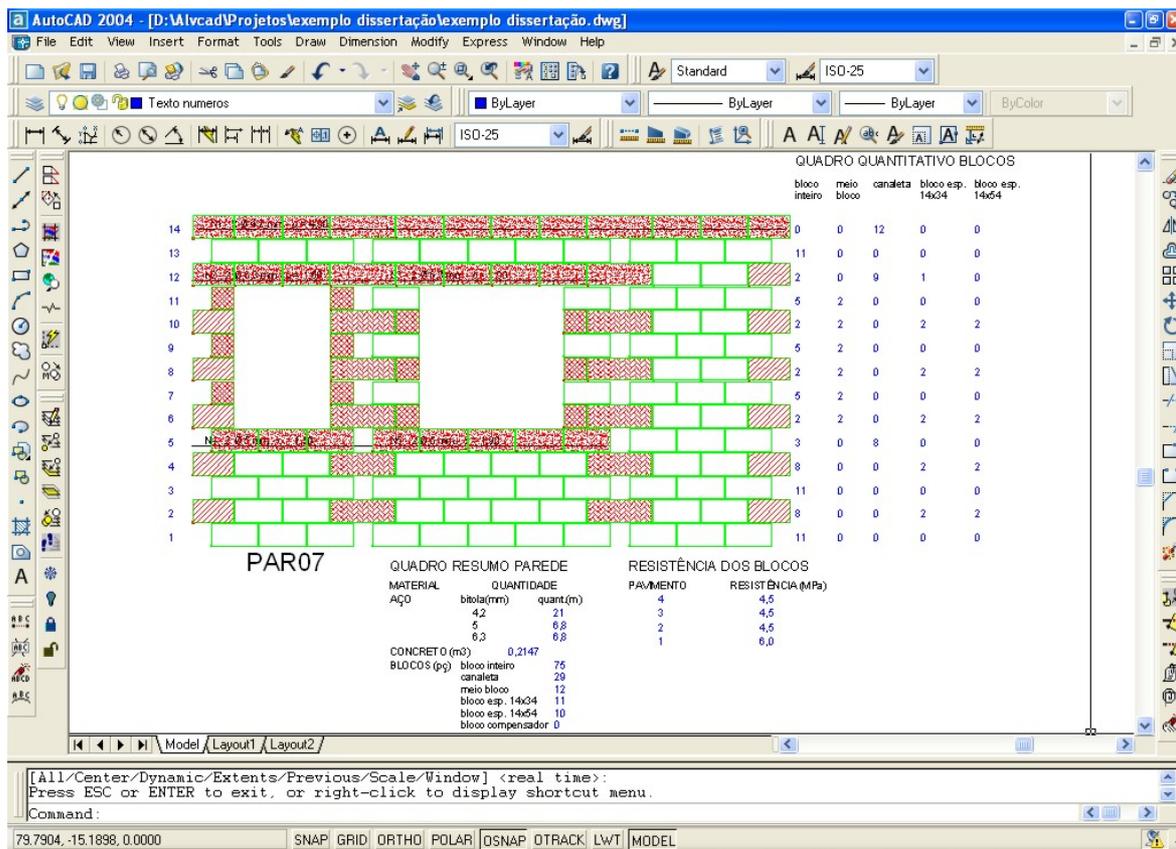


Figura 5.80 – Desenho de elevação da parede 7 inserido diretamente no AutoCAD.

5.3.11.2 Relatórios

A última etapa na utilização do ALVCAD é a emissão dos relatórios. O ALVCAD fornece dois relatórios: Relatório Geral e Relatório de Tensões Atuantes (Figura 5.81).

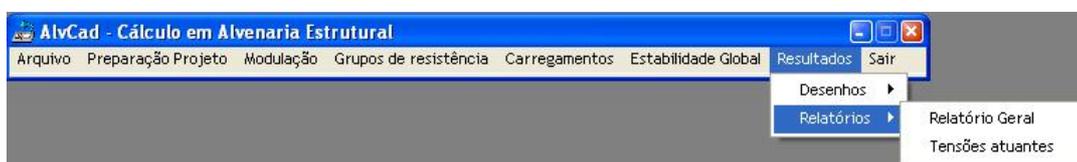


Figura 5.81 – Menu “Relatórios”.

Os relatórios são gerados em planilhas do *Excel*, que podem ser gravados pelo projetista em local apropriado. Apesar de serem gerados em uma formatação pré-definida, o usuário pode alterar essa formatação, e inclusive trabalhar com os valores em outras planilhas.

Quando acionado o comando para a geração do Relatório Geral, o aplicativo pede que o projetista informe o nome do Responsável e o valor da resistência do concreto que será utilizado.

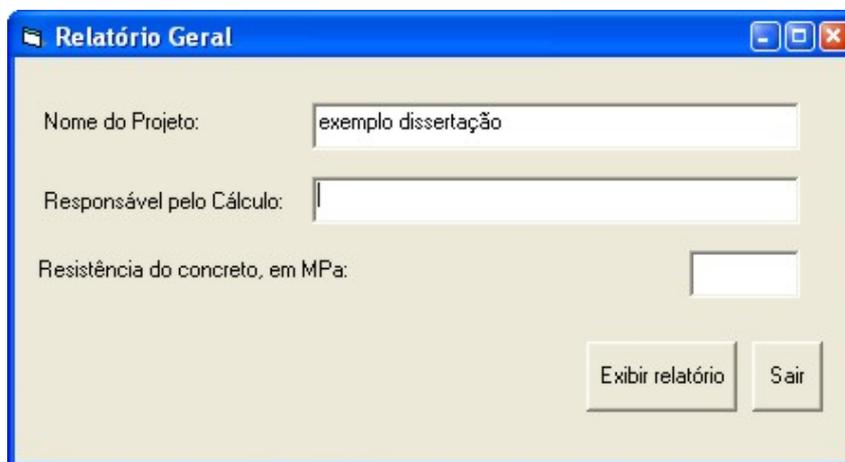


Figura 5.82 – Tela “Relatório Geral”.

No Relatório Geral são fornecidas informações globais do projeto, como visto na Figura 5.83.

Por fim, o Relatório das Tensões Atuantes, que também é gerado no *Excel*, informa as tensões atuantes nos grupos de paredes em função do número de pavimentos e da direção considerada para o carregamento do vento. Esses parâmetros são informados pelo projetista, como visto na Figura 5.84. Um exemplo do relatório gerado pode ser visto na Figura 5.85.

ALVCAD - Cálculo de Estruturas em alvenaria estrutural	
RESULTADO GERAL DO PROJETO	
Nome Projeto:	exemplo dissertação
Data	30/1/2005
Responsável pelo cálculo:	Eng. Alexander Souza Grama
<i>Características da Obra:</i>	
pavimentos	4
pé-direito por pavimento (m)	2,80
tipo de bloco estrutural a ser utilizado	concreto
<i>Resultados Gerais</i>	
Resistência Característica do Bloco Estrutural	
	pavimento resistencia (MPa)
	4 4,5
	3 4,5
	2 4,5
	1 6
Blocos Estruturais	
tipo bloco	resistência/quantidade (MPa)
	4,5 6,0 8,0 10,0 12,0
bloco inteiro 14x19x39	11412 3804
canaleta 14x19x39	2412 804
meio bloco 14x19x19	1716 572
bloco especial 14x19x34	1680 560
bloco especial 14x19x54	1032 344
canaleta 14x19x5	168 56
canaleta 14x19x34	168 56
bloco compensador 14x19x5	168 56
canaleta 14x19x54	144 48
Concreto	
	resistência (MPa) volume (m3)
	20 7,25
Aço	
	bitola (mm) quantidade (m)
	4,2 752,40
	5,0 92,00
	6,3 177,60

Figura 5.83 – Relatório Geral gerado pelo ALVCAD no “Excel”.

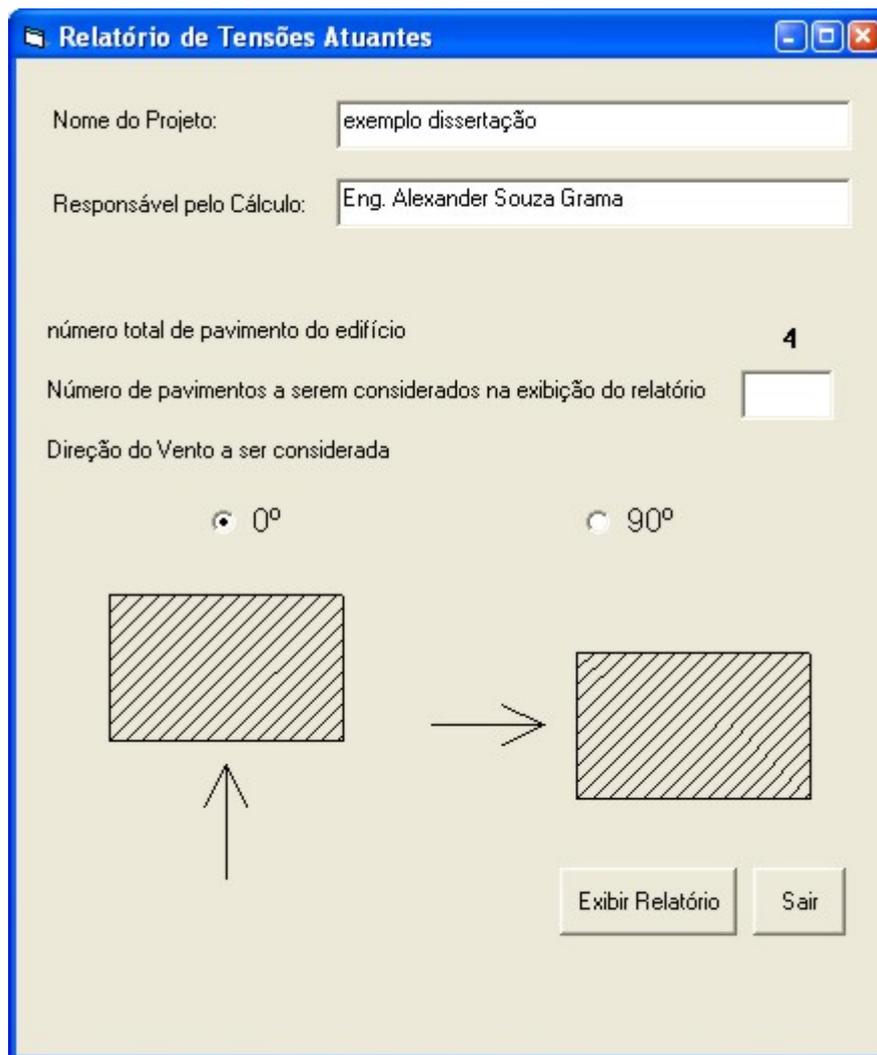


Figura 5.84 – Tela para geração do Relatório de Tensões Atuantes.

ALVCAD - Cálculo de Estruturas em alvenaria estrutural						
RESUMO DAS COMBINAÇÕES DE TENSÕES ATUANTES						
Nome Projeto:		<u>exemplo dissertação</u>				
Data:		<u>30/1/2005</u>				
Responsável pelo cálculo:		_____				
número de pavimentos considerados		<u>4</u>				
direção do vento		<u>0 graus</u>				
Grupo Resistente Vertical	ações verticais (kN/m ²)			ações horizontais (kN/m ²)		combinações (kN/m ²)
	permanente (G)	variável (Q)	(G + Q)	vento + desaprumo (W)	(G - W)	(G + Q + W)
1	249,494	47,206	296,700	51,028	198,466	347,728
2	274,536	73,195	347,731	49,036	225,500	396,767
3	257,464	50,550	308,014	31,233	226,231	339,247
4	350,613	110,460	461,073	16,255	334,358	477,328
5	356,325	132,923	489,248	71,645	284,680	560,892
6	353,387	196,587	549,973	34,552	318,835	584,525
7	341,820	64,970	406,790	18,607	323,213	425,397
8	425,556	160,024	585,579	104,520	321,036	690,100

Figura 5.85 – Relatório de Tensões Atuantes.

CAPÍTULO 6

EXEMPLO NUMÉRICO

Neste capítulo é apresentada a resolução de um exemplo numérico. Tal resolução tem a finalidade de validar os resultados obtidos com o ALVCAD. Para isso utilizou-se um exemplo resolvido por Ramalho e Corrêa (2003), sendo possível comparar os resultados.

É reproduzida na Figura 6.1 e na Figura 6.2, a planta de paredes do pavimento tipo e do ático, além do esquema vertical do edifício utilizado como exemplo.

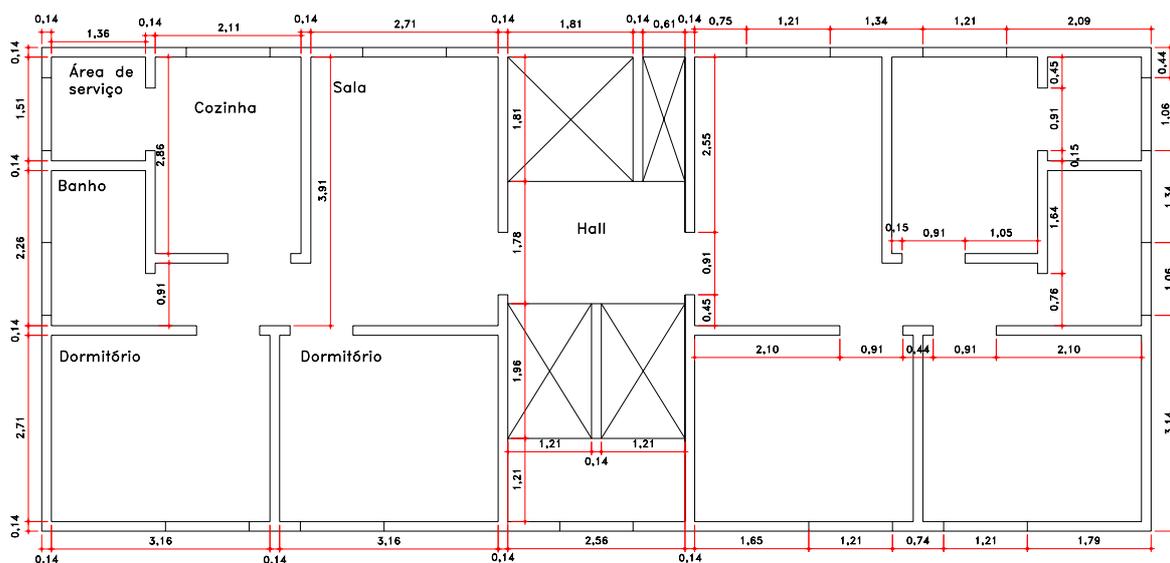


Figura 6.1 – Planta de paredes do pavimento tipo do edifício (RAMALHO E CORRÊA, 2003).

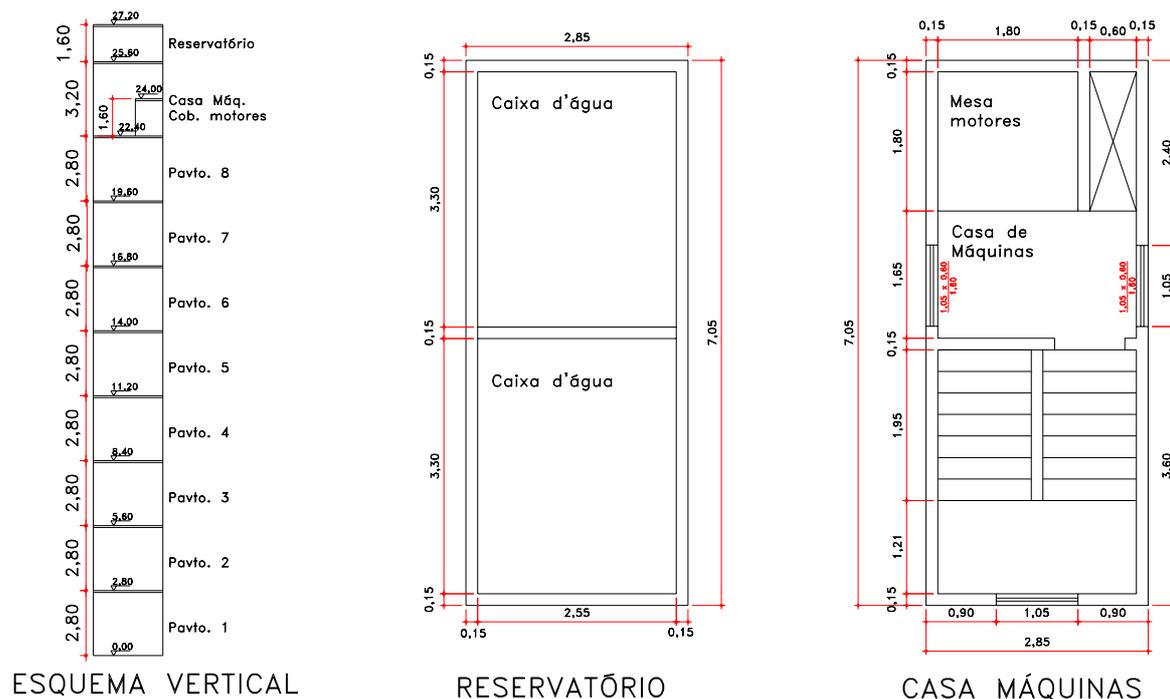


Figura 6.2 – Planta de paredes do reservatório e casa de máquinas e esquema vertical do edifício (RAMALHO E CORRÊA, 2003).

Na Tabela 6.1 resume-se as informações básicas a respeito do projeto, utilizadas por Ramalho e Corrêa (2003) e que também são adotadas neste trabalho.

Tabela 6.1 – Resumo das especificações de projeto.

<i>Característica</i>	<i>Valores adotados</i>
Módulo horizontal	15 cm
Eficiência prisma/bloco	0,8
Peso-específico da parede	15 kN/m ³
Sobrecarga de utilização	1,5 kN/m ³
Carregamento revestimento lajes	1,0 kN/m ³
Carregamento escada	3,5 kN/m ³
Peso-específico do concreto	25 kN/m ³
Espessura das lajes	8 cm
Resistência característica da argamassa	5 MPa
Velocidade básica do vento	38 m/s
Categoria de rugosidade do terreno	Categoria IV
Turbulência do vento	Baixa
Carregamento devido ao ático	Ver Figura 6.3

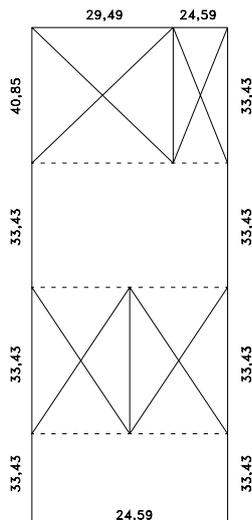


Figura 6.3 – Carregamento total devido ao ático - kN/m (RAMALHO E CORRÊA, 2003).

Como explicado no capítulo anterior, no ALVCAD trabalha-se com dois desenhos do pavimento: o projeto arquitetônico e o desenho das paredes. No exemplo demonstrado por Ramalho e Corrêa (2003), os autores apresentaram apenas o desenho de paredes.

Dessa forma, é necessário criar, baseando-se no desenho de paredes, o projeto arquitetônico, onde a medida da largura das paredes deve ser 15 cm. Este projeto está reproduzido na Figura 6.4. Como a modulação horizontal é de 15 cm, as dimensões de paredes e aberturas devem também ser múltiplas dessa medida.

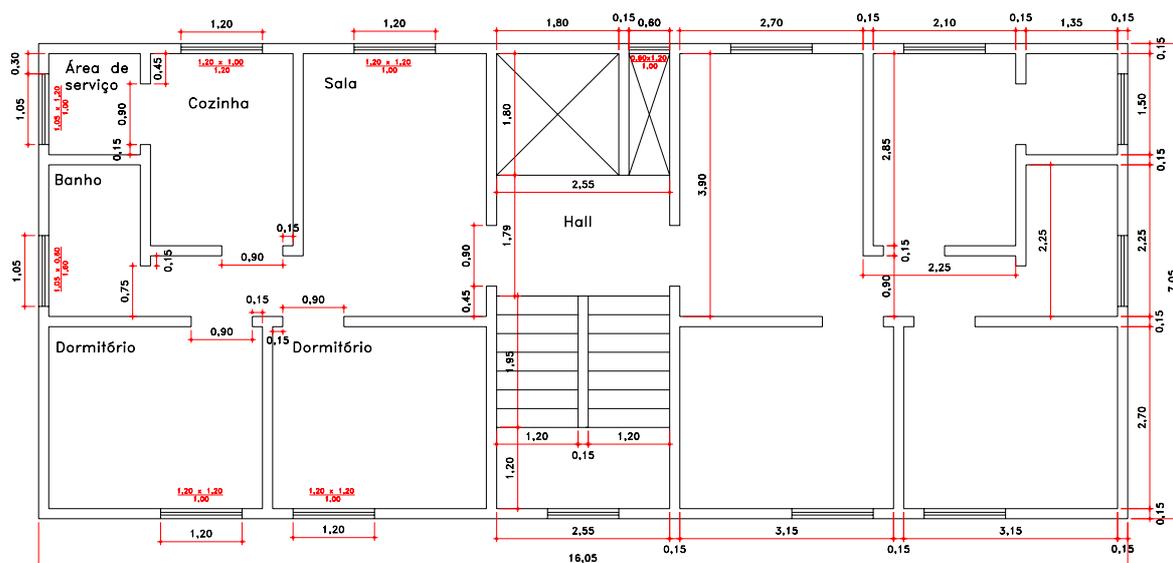


Figura 6.4 – Projeto arquitetônico utilizado no ALVCAD.

No exemplo resolvido por Ramalho e Corrêa (2003), não é apresentada a planta de modulação com desenhos da primeira e segunda fiada. Diante do objetivo deste capítulo, que é validar os resultados de dimensionamento, os desenhos criados pelo ALVCAD também não serão apresentados.

6.1 DEFINIÇÃO DOS GRUPOS RESISTENTES

Depois da modulação, o próximo passo é a definição dos grupos resistentes. A Figura 6.5 mostra os grupos de paredes que suportam o carregamento vertical, definidos no ALVCAD de maneira semelhante à definição feita por Ramalho e Corrêa (2003). A numeração adotada é a mesma que foi adotada por esses autores.

Como pode ser observada nessa figura, a arquitetura utilizada não permite a definição de nenhuma direção de simetria. Portanto, o ALVCAD define e numera 15 grupos para suportarem o carregamento vertical.

Depois de definidos os grupos de paredes para a solicitação vertical, são definidos os grupos de paredes que suportam a solicitação horizontal. Como já demonstrado no capítulo anterior, esses grupos são definidos em duas direções: X e Y.

Na Figura 6.6 são apresentados os grupos para solicitação horizontal definidos na direção X e na Figura 6.7 são apresentados os grupos na direção Y.

Ressalta-se com atenção o encontro entre os grupos 7 e 9 e 8 e 12 na Figura 6.6, assim como para o encontro entre os grupos 2 e 4, 3 e 5, 16 e 19 e 17 e 20 na Figura 6.7.

Com a inserção automática de abas nesses grupos, há uma sobreposição, pois a distância entre as almas é menor que o comprimento de duas abas. Nesses casos, foi desenhada uma linha no ponto médio entre as almas, definindo uma aba com comprimento menor do que o máximo sugerido.

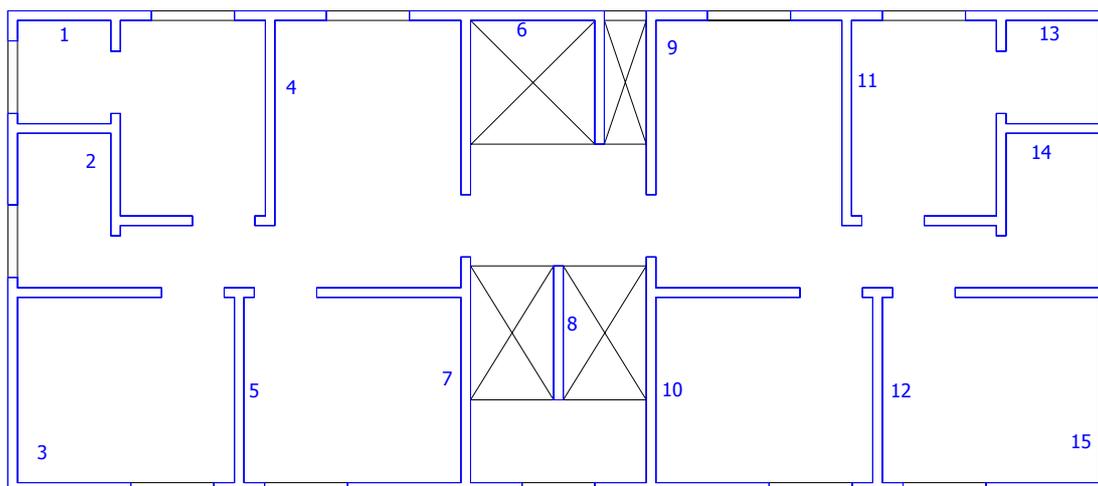


Figura 6.5 – Grupos de paredes que resistem ao carregamento vertical.

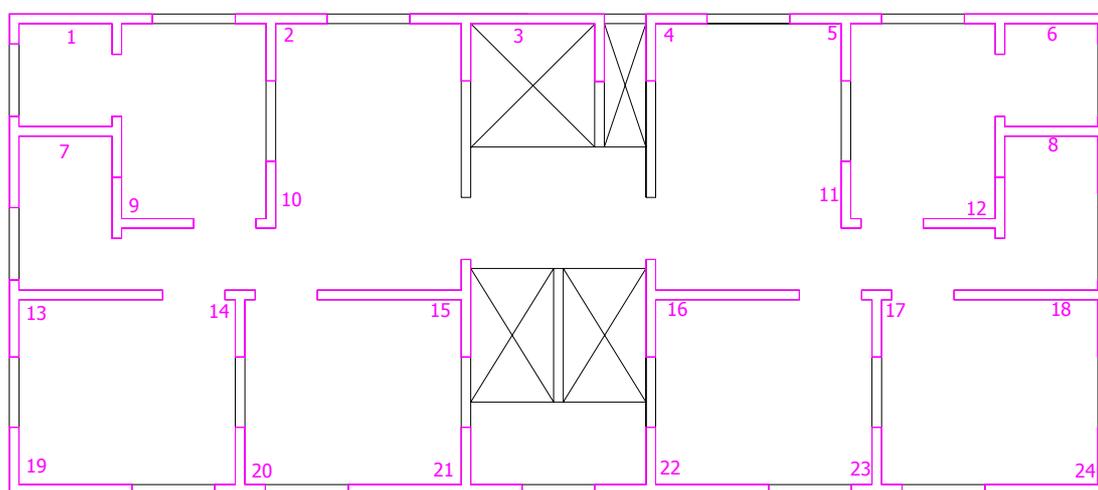


Figura 6.6 – Grupos de paredes que resistem ao carregamento horizontal na direção X.

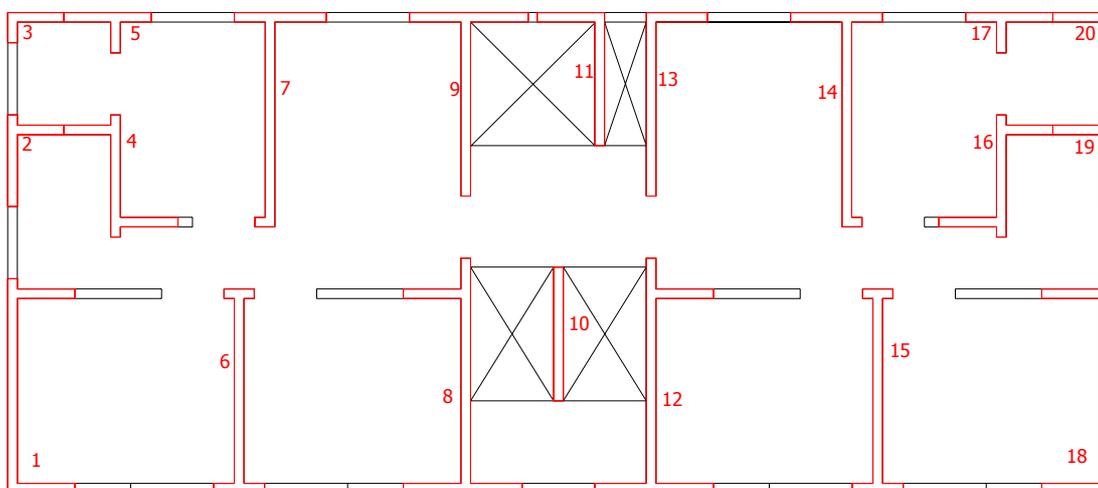


Figura 6.7 - Grupos de paredes que resistem ao carregamento horizontal na direção Y.

6.2 DEFINIÇÃO DOS CARREGAMENTOS

6.2.1 Carregamento vertical

6.2.1.1 Cálculo das lajes

Definidos os grupos resistentes para os carregamentos vertical e horizontal, a próxima etapa é definir os carregamentos. Defini-se primeiramente o carregamento vertical. Para tanto, o primeiro passo é criar e calcular as lajes.

As lajes utilizadas pelo ALVCAD, bem como as suas condições e reações de apoio, são apresentadas na Figura 6.8. Os valores apresentados por Ramalho e Corrêa (2003), para as reações das lajes, são reproduzidos na Figura 6.9.

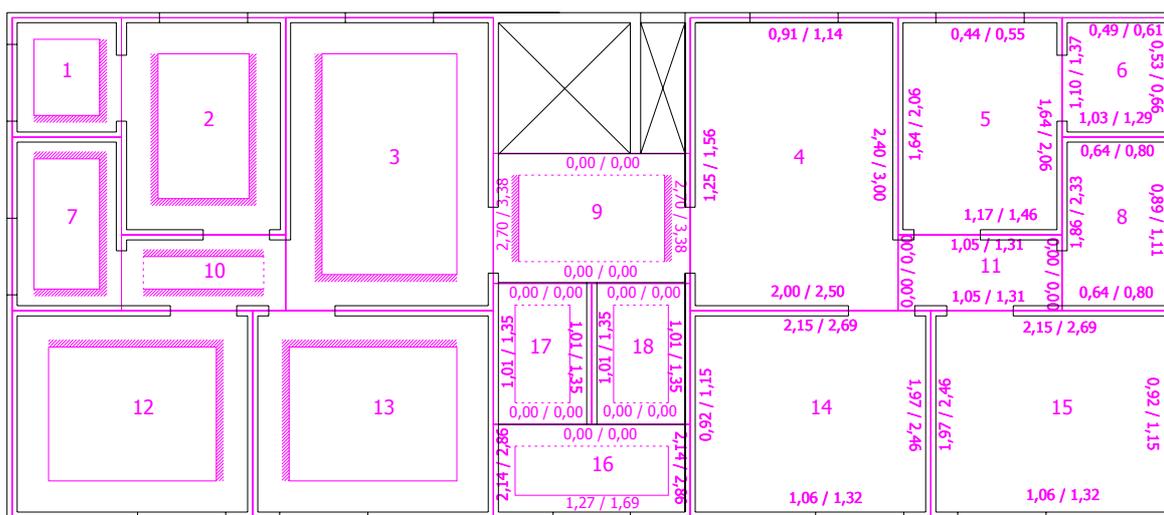


Figura 6.8 – Lajes consideradas no ALVCAD, com as reações de apoio (kN/m).

Analisando os valores da Figura 6.9, conclui-se que no exemplo apresentado, Ramalho e Corrêa (2003) calculam as reações de apoios das lajes utilizando o método das linhas de ruptura, mantendo todas as bordas das lajes apoiadas.

Como no ALVCAD, o trabalho de definição das condições de apoio das lajes é o mesmo, quaisquer que sejam essas condições, optou-se pelas condições apresentadas na Figura 6.8. As reações de apoio são calculadas automaticamente pelo ALVCAD através da Teoria da Elasticidade, considerando a condição de apoio definida para cada laje.

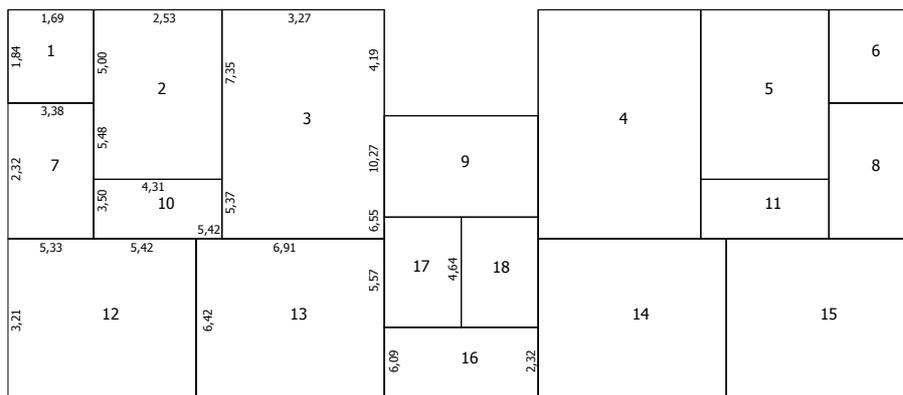


Figura 6.9 – Reações das lajes (kN/m) apresentadas por Ramalho e Corrêa (2003).

Em função da diferente consideração para o cálculo das reações de apoio das lajes, os valores do carregamento vertical apresentados por Ramalho e Corrêa (2003) são diferentes dos valores obtidos pelo ALVCAD. No entanto, essa diferença é pequena, como é mostrado adiante.

Da mesma maneira que considerado por Ramalho e Corrêa (2003), no exemplo resolvido pelo ALVCAD foi considerado que a laje de cobertura tem o mesmo carregamento da laje do pavimento tipo.

6.2.1.2 Carregamento do ático

Processadas as reações de apoio das lajes, deve-se definir o carregamento vertical proveniente do ático. Para isso, foram inseridos os carregamentos indicados por Ramalho e Corrêa (2003), conforme Figura 6.3.

6.2.1.3 Processamento dos esforços verticais

Como nesse exemplo não há carregamento vertical proveniente da platibanda, o próximo passo é processar os esforços verticais. Nesse momento o ALVCAD pede a definição do peso-específico da parede.

Os valores cadastrados no ALVCAD são 14 kN/m^3 para bloco de concreto e 12 kN/m^3 para bloco cerâmico. No entanto, o valor utilizado no exemplo foi de 15 kN/m^3 , pois este é

o valor utilizado por Ramalho e Corrêa (2003). Assim, o peso-específico utilizado deve ser informado no campo “outros” da tela correspondente no ALVCAD.

Com o processamento dos esforços verticais, o ALVCAD distribui as cargas das lajes, do peso-próprio das paredes e do ático nos grupos resistentes. Os resultados do ALVCAD para o carregamento vertical são apresentados na Tabela 6.2.

Os resultados apresentados por Ramalho e Corrêa (2003) estão reproduzidos na Tabela 6.3. Comparando essas tabelas, inicialmente observa-se que Ramalho e Corrêa (2003) expressaram os resultados apenas dos nove primeiros grupos verticais, pois os demais grupos são semelhantes.

Comparando os valores da Tabela 6.2, com os valores da Tabela 6.3, observa-se uma pequena divergência nos resultados de área e comprimento dos grupos. O ALVCAD considera a área real do grupo, calculada graficamente pelo AutoCAD. No entanto Ramalho e Corrêa (2003) calculam a área multiplicando a linha de eixo da parede por sua largura.

Tabela 6.2 – Resultado do ALVCAD para carregamento vertical.

<i>Grupo</i>	<i>área (m²)</i>	<i>comprimento (m)</i>	<i>peso-próprio das lajes (kN)</i>	<i>sobrecarga utilização (kN)</i>	<i>peso-próprio paredes (kN)</i>	<i>carregamento tipo (kN)</i>	<i>Carregamento ático (kN)</i>
1	0,3976	2,84	4,027	5,033	16,699	25,759	0,000
2	0,7756	5,54	14,719	18,398	32,575	65,692	0,000
3	0,9646	6,89	13,743	17,179	40,513	71,435	0,000
4	0,6286	4,49	15,013	18,767	26,401	60,181	0,000
5	0,5446	3,89	16,871	21,089	22,873	60,833	0,000
6	1,008	7,2	8,207	10,259	42,336	60,802	193,122
7	1,1116	7,94	25,609	32,640	46,687	104,936	158,436
8	0,2744	1,96	3,949	5,265	11,525	20,739	0,000
9	0,4816	3,44	8,207	10,259	20,227	38,694	104,351
10	1,1116	7,94	25,609	32,640	46,687	104,936	158,436
11	0,6286	4,49	15,013	18,767	26,401	60,181	0,000
12	0,5446	3,89	16,871	21,089	22,873	60,833	0,000
13	0,3976	2,84	4,027	5,033	16,699	25,759	0,000
14	0,7756	5,54	14,719	18,398	32,575	65,692	0,000
15	0,9646	6,89	13,743	17,179	40,513	71,435	0,000

Tabela 6.3 – Resultado de Ramalho e Corrêa (2003) para carregamento vertical.

<i>Grupo</i>	<i>área (m²)</i>	<i>comprimento (m)</i>	<i>carregamento tipo (kN)</i>	<i>Carregamento ático (kN)</i>
1	0,407	2,91	33,73	0,000
2	0,805	5,75	69,47	0,000
3	0,974	6,96	80,63	0,000
4	0,638	4,56	66,90	0,000
5	0,564	4,03	65,63	0,000
6	1,018	7,27	70,94	203,74
7	1,131	8,08	107,54	191,80
8	0,274	1,96	20,49	0,000
9	0,482	3,44	49,06	214,82

Como o cálculo da área através da linha de eixo acarreta uma pequena sobreposição de áreas nos encontros de paredes, os valores apresentados por Ramalho e Corrêa (2003) são ligeiramente maiores.

O carregamento vertical de cada grupo é diferente. Isso já era esperado em função do cálculo das reações das lajes. A Tabela 6.4 compara os resultados obtidos, mostrando que apenas no grupo 8 o valor obtido pelo ALVCAD é maior.

Tabela 6.4 – Comparação dos resultados da carga total vertical

<i>grupo</i>	<i>Carregamento tipo/cobertura</i>		<i>diferença</i>	
	<i>Ramalho e Corrêa (2003)</i>	<i>ALVCAD</i>	<i>kN</i>	<i>(%)</i>
1	33,73	25,76	7,97	23,63%
2	69,47	65,69	3,78	5,44%
3	80,63	71,44	9,19	11,40%
4	66,9	60,18	6,72	10,04%
5	65,63	60,83	4,80	7,31%
6	70,94	60,80	10,14	14,29%
7	107,54	104,94	2,60	2,42%
8	20,49	20,74	-0,25	-1,21%
9	49,06	38,69	10,37	21,13%

Apesar dos resultados dos grupos 1 e 9, por exemplo, apresentarem uma diferença acima de 20%, a soma de todas as cargas do pavimento apresenta uma diferença de apenas 9,15%: o ALVCAD chegou a um carregamento total de 897,10 kN e Ramalho e Corrêa (2003) apresentaram um resultado de 988,29 kN.

No entanto, um resultado que apresenta uma diferença significativa é o carregamento do ático. Considerando as cargas lineares indicadas por Ramalho e Corrêa (2003) que se encontram reproduzidas na Figura 6.3, conclui-se que os valores apresentados pelo ALVCAD estão corretos, após verificação manual.

Não foi possível concluir qual a razão dessa diferença. Porém, verificou-se que o carregamento de 214,82 kN proveniente do ático, aplicado sobre o grupo 9, foi decisivo para o dimensionamento da resistência característica do bloco nesse grupo. Verificou-se também que os autores utilizam, na determinação da carga horizontal proveniente do desaprumo, a carga total de 638 kN proveniente do ático.

Considerando as cargas do ático, apresentadas pelos autores, separadas por grupo (ver Tabela 6.5), o carregamento total do ático é 802,16 kN.

Vale ressaltar que o valor de 638 kN é apenas 3,71% maior que o valor obtido pelo ALVCAD.

Tabela 6.5 – Comparação dos resultados da carga do ático.

<i>grupo</i>	<i>Carregamento ático</i>		<i>diferença</i>	
	<i>Ramalho e Corrêa (2003)</i>	<i>ALVCAD</i>	<i>kN</i>	<i>(%)</i>
6	203,74	193,122	10,618	5,21%
7 e 10	191,80	158,436	33,364	17,40%
9	214,82	104,351	110,469	51,42%

6.2.2 Carregamento horizontal

6.2.2.1 Carregamento do vento

Com o carregamento vertical processado, deve-se iniciar a inserção do carregamento horizontal. Como demonstrado no capítulo 5, o primeiro carregamento a ser inserido é o vento.

Os parâmetros de norma utilizados estão indicados na Tabela 6.1. Em função das dimensões do edifício, o prédio foi enquadrado na classe B. Os resultados obtidos pelo ALVCAD estão expressos na Tabela 6.6 e os resultados obtidos por Ramalho e Corrêa (2003) estão expressos na Tabela 6.7.

Tabela 6.6 – Forças horizontais devidas ao vento obtidas pelo ALVCAD.

<i>pavto.</i>	<i>altura (m)</i>	<i>S2</i>	<i>V_k (m/s)</i>	<i>Pressão dinâmica (kN/m²)</i>	<i>F_y (kN)</i>	<i>F_x (kN)</i>
1	2,80	0,7104602	26,99749	0,4468	27,28	8,36
2	5,60	0,7747624	29,44097	0,5313	32,44	9,94
3	8,40	0,8150419	30,97159	0,5880	35,90	11,00
4	11,20	0,8448844	32,10561	0,6319	38,58	11,82
5	14,00	0,8687825	33,01373	0,6681	40,80	12,50
6	16,80	0,8888095	33,77476	0,6993	42,70	13,09
7	19,60	0,9061019	34,43187	0,7267	44,38	13,60
8	22,40	0,9213530	35,01141	0,7514	36,87	31,15

Tabela 6.7 - Forças horizontais devidas ao vento obtidas por Ramalho e Corrêa (2003).

<i>pavto.</i>	<i>altura (m)</i>	<i>S2</i>	<i>Pressão dinâmica (kN/m²)</i>	<i>F_y (kN)</i>	<i>F_x (kN)</i>
1	2,80	0,71	0,4455	27,82	8,53
2	5,60	0,78	0,5417	33,09	10,14
3	8,40	0,82	0,5995	36,62	11,23
4	11,20	0,85	0,6442	39,35	12,06
5	14,00	0,87	0,6812	41,61	12,76
6	16,80	0,89	0,7130	43,55	13,35
7	19,60	0,91	0,7410	45,26	13,88
8	22,40	0,92	0,7661	38,03	32,51

Percebe-se uma pequena diferença nos valores de F_x e F_y . Essa diferença é devida à aplicação do coeficiente S2 com várias casas decimais. Como o ALVCAD calcula o valor de S2 a partir da Equação 5.4, este valor é utilizado com todas as casas decimais suportadas pelo banco de dados.

6.2.2.2 Carregamento do desaprumo

Depois de processado o carregamento horizontal proveniente do vento, deve-se introduzir o carregamento horizontal proveniente do desaprumo. Esse processamento no ALVCAD é muito simples, dependendo do acionamento de apenas um botão. Todas as informações necessárias, tais como altura e peso do pavimento são obtidas diretamente no banco de dados do exemplo.

6.2.2.3 Processamento dos esforços horizontais

Após o processamento das cargas horizontais, somando-se a força do vento com a força do desaprumo, tem-se o resultado obtido pelo ALVCAD, expresso na Tabela 6.8. Nesta mesma tabela, para fins de comparação, são reproduzidos os valores obtidos por Ramalho e Corrêa (2003). Como pode ser observado, os valores são bem próximos.

Tabela 6.8 – Resultados da força horizontal atuante no edifício.

<i>pavto.</i>	<i>Força horizontal direção X (kN)</i>		<i>Força horizontal direção Y (kN)</i>	
	<i>ALVCAD</i>	<i>Ramalho e Corrêa (2003)</i>	<i>ALVCAD</i>	<i>Ramalho e Corrêa (2003)</i>
8	34,17	33,86	39,89	39,38
7	15,32	15,97	46,10	47,35
6	14,81	15,44	44,42	45,64
5	14,22	14,85	42,52	43,70
4	13,55	14,15	40,30	41,44
3	12,73	13,32	37,63	38,71
2	11,66	12,23	34,17	35,18
1	10,08	10,62	29,00	29,91

6.2.3 Combinação dos carregamentos vertical e horizontal

Finalizando a etapa de carregamento, devem ser processados os esforços verticais e horizontais. De maneira simples, o usuário deve acionar um botão para que todo o carregamento seja combinado.

O carregamento é combinado a cada pavimento, de duas maneiras, determinando a maior e a menor tensão de compressão nos grupos de paredes:

- ✓ *a primeira situação gera a tensão máxima de compressão: soma-se a tensão de compressão gerada por todo o carregamento vertical (peso-próprio e sobrecarga de utilização) com a tensão de compressão proveniente do carregamento horizontal;*
- ✓ *a segunda situação gera a tensão mínima de compressão e em alguns casos, resulta em tensão de tração: soma-se o carregamento vertical proveniente apenas do peso-próprio e com a tensão de tração proveniente do carregamento horizontal.*

A seguir, na Tabela 6.9 e na Tabela 6.10 respectivamente, apresenta-se o resultado da combinação de carregamento para o Grupo 3 e para o Grupo 9. Esses grupos foram escolhidos para esse exemplo, pois são os mesmos grupos apresentados por Ramalho e Corrêa (2003).

Tabela 6.9 – Resultado obtido pelo ALVCAD para as combinações de carregamento no grupo vertical 3.

Pavto.	carregamento vertical (kN/m ²)			carregamento horizontal (kN/m ²)		primeira combinação: maior compressão (kN/m ²)		segunda combinação: menor compressão (kN/m ²)	
	tensão peso-próprio	tensão sobrecarga utilização	tensão pp + sob	tensão na direção Y	tensão na direção X	tensão pp + sob + direção Y	tensão pp + sob + direção X	tensão pp menos direção Y	tensão pp menos direção X
8	56,248	17,809	74,057	22,061	45,247	96,118	119,304	34,187	11,001
7	112,495	35,619	148,114	69,617	110,783	217,731	258,897	42,878	1,712
6	168,743	53,428	222,171	141,742	195,927	363,913	418,098	27,001	-27,184
5	224,990	71,238	296,228	237,382	299,908	533,610	596,136	-12,391	-74,917
4	281,238	89,047	370,285	355,313	421,826	725,598	792,112	-74,075	-140,588
3	337,486	106,857	444,343	494,055	560,596	938,397	1004,939	-156,569	-223,111
2	393,733	124,666	518,400	651,693	714,813	1170,092	1233,213	-257,960	-321,080
1	449,981	142,476	592,457	825,372	882,381	1417,829	1474,838	-375,391	-432,401

Tabela 6.10 - Resultado obtido pelo ALVCAD para as combinações de carregamento no grupo vertical 9.

Pavto.	carregamento vertical (kN/m ²)			carregamento horizontal (kN/m ²)		primeira combinação: maior compressão (kN/m ²)		segunda combinação: menor compressão (kN/m ²)	
	tensão peso-próprio	tensão sobrecarga utilização	tensão pp + sob	tensão na direção Y	tensão na direção X	tensão pp + sob + direção Y	tensão pp + sob + direção X	tensão pp menos direção Y	tensão pp menos direção X
8	275,718	21,302	297,020	22,432	19,679	319,452	316,699	253,286	256,039
7	334,760	42,604	377,364	70,788	48,182	448,152	425,546	263,972	286,578
6	393,802	63,906	457,708	144,125	85,213	601,833	542,921	249,677	308,589
5	452,843	85,208	538,052	241,373	130,436	779,425	668,488	211,470	322,407
4	511,885	106,511	618,395	361,287	183,461	979,683	801,857	150,598	328,424
3	570,927	127,813	698,739	502,362	243,815	1201,101	942,554	68,564	327,111
2	629,968	149,115	779,083	662,651	310,887	1441,734	1089,970	-32,683	319,081
1	689,010	170,417	859,427	839,250	383,766	1698,677	1243,193	-150,241	305,244

6.2.4 Análise da tensão tração atuante

6.2.4.1 Carregamento horizontal

O valor da tensão de tração atuante depende do carregamento horizontal. A Tabela 6.11 compara os resultados deste carregamento obtidos pelo ALVCAD e os resultados apresentados por Ramalho e Corrêa (2003).

Tabela 6.11 – Valores da tensão proveniente do carregamento horizontal.

Grupo Pavto.	Tensão direção Y (MPa)				Tensão direção X (MPa)			
	ALVCAD		Ramalho e Corrêa (2003)		ALVCAD		Ramalho e Corrêa (2003)	
	3	9	3	9	3	9	3	9
8	0,02	0,02	0,02	0,02	0,05	0,02	0,02	0,01
7	0,07	0,07	0,07	0,07	0,11	0,05	0,06	0,04
6	0,14	0,14	0,14	0,14	0,20	0,09	0,13	0,09
5	0,24	0,24	0,24	0,24	0,30	0,13	0,22	0,15
4	0,36	0,36	0,35	0,36	0,42	0,18	0,34	0,22
3	0,49	0,50	0,49	0,51	0,56	0,24	0,47	0,31
2	0,65	0,66	0,65	0,67	0,71	0,31	0,62	0,41
1	0,83	0,84	0,82	0,85	0,88	0,38	0,78	0,52

Nessa tabela verifica-se que os valores das tensões na direção Y são praticamente iguais. No entanto, os valores na direção X apresentam significativas diferenças.

A partir dos valores das forças horizontais apresentados na Tabela 6.8, calculou-se manualmente os valores das tensões para os dois grupos citados. Os valores apresentados pelo ALVCAD foram confirmados.

Como o valor da tensão depende do momento atuante e do módulo de resistência, todos esses valores foram verificados e estão corretos. Inclusive, os valores dos momentos de inércia dos grupos, obtidos graficamente pelo ALVCAD, são praticamente idênticos aos valores apresentados por Ramalho e Corrêa (2003).

6.2.4.2 Cálculo da tensão de tração

Verificados os valores do carregamento horizontal, pode-se determinar a tensão de tração de duas maneiras, como será visto a seguir.

A primeira maneira é utilizada quando o carregamento vertical é processado em conjunto, sem a distinção do peso-próprio e sobrecarga de utilização. Nesse caso, utiliza-se a Equação 6.1, prescrita na NBR 10837 (ABNT,1989).

$$f_{alv,f} - 0,75 \cdot f_{alv,c} \leq \bar{f}_{alv,t} \quad 6.1$$

onde: $f_{alv,f}$ = tensão atuante devido à flexão;
 $f_{alv,c}$ = tensão de compressão atuante devido ao carregamento vertical;
 $\bar{f}_{alv,t}$ = tensão de tração admissível na alvenaria não-armada.

É interessante observar que na equação acima, a NBR 10837 (ABNT, 1989) está implicitamente admitindo que 75% das cargas verticais são permanentes. Tal consideração é, em muitos casos, conservadora. Para edifícios residenciais essa parcela varia de 80% a 85%. Pode-se considerar que é razoável verificar em cada caso qual a parcela de carga permanente e utilizá-la na verificação da tração (RAMALHO E CORRÊA, 2003).

Uma segunda maneira de verificar a tensão de tração pode ser utilizada quando existe a distinção entre peso-próprio e sobrecarga de utilização. Nessa situação, combinam-se os esforços de tração proveniente do carregamento horizontal, com os esforços de compressão proveniente apenas do peso-próprio.

O ALVCAD utiliza essa segunda maneira, pois processa separadamente os carregamentos provenientes do peso-próprio e da sobrecarga de utilização, dispensando a verificação da Equação 6.1. Dessa forma, nas combinações mostradas na Tabela 6.9 e na Tabela 6.10, a menor tensão de compressão foi calculada combinando a atuação apenas do peso-próprio com a tração provocada pelo carregamento horizontal.

Observando a Tabela 6.9, verifica-se que no exemplo calculado, a parcela do peso-próprio corresponde a 75,95% do carregamento vertical total, valor bem próximo ao estimado pela norma. Fazendo a mesma análise com os resultados da Tabela 6.10, verifica-se que 84,65% do carregamento vertical correspondem ao peso-próprio.

6.2.4.3 Pavimentos tracionados

Analisando a Tabela 6.9 e a Tabela 6.10 conclui-se que existe tensão de tração nos seis primeiros pavimentos do grupo vertical 3 e nos dois primeiros pavimentos do grupo vertical 9.

O valor máximo permitido por norma para a tração em alvenaria não-armada, sem a necessidade de armadura, depende da resistência da argamassa. Neste exemplo, a tensão máxima de tração é 100 kN/m^2 . Portanto, a região tracionada do grupo vertical 3 deve ser reforçada com armadura nos quatro primeiros pavimentos e a região tracionada do grupo vertical 9 deve ser reforçada apenas no primeiro pavimento.

O ALVCAD obtém a tensão de tração atuante em todos os grupos, porém ainda não está preparado para calcular a armadura necessária para combater tal esforço. Assim, o projetista, com o valor da tensão, deve efetuar o cálculo da armadura.

Comparando os valores das tensões de tração obtidos pelo ALVCAD com os valores apresentados por Ramalho e Corrêa (2003), tem-se a Tabela 6.12. Vale lembrar que Ramalho e Corrêa (2003) calculam os esforços de tração utilizando a Equação 6.1.

As tensões de tração apresentadas pelo ALVCAD são justificáveis. O grupo vertical 3 é o grupo que está na extremidade do edifício e possui considerável inércia, absorvendo significativa parcela do carregamento de vento em ambas direções.

Além disso, a área do ático contribui para a grande sollicitação de vento nessa direção: a força horizontal incidente no sétimo pavimento vale 15,32 kN, enquanto que no oitavo pavimento, em função do ático, a força vale 34,17 kN. Como esta força está aplicada no ponto mais alto do edifício, o momento gerado nos primeiros pavimentos sofre grande acréscimo.

Tabela 6.12 – Tensão de tração nos grupos verticais.

		<i>Tensão de tração nos grupos (MPa)</i>			
		<i>ALVCAD</i>		<i>Ramalho e Corrêa (2003)</i>	
<i>Grupo Pavto.</i>	<i>3</i>	<i>9</i>	<i>3</i>	<i>9</i>	
6	-0,03	-	-	-	
5	-0,07	-	-	-	
4	-0,14	-	-0,04	-	
3	-0,22	-	-0,12	-	
2	-0,32	-0,03	-0,21	-	
1	-0,43	-0,15	-0,32	-	

A tração incidente no grupo vertical 9 foi, em grande parte, combatida com o carregamento proveniente do ático. Porém esse grupo possui uma inércia significativa na direção Y, absorvendo grande parcela da força horizontal. Como nesta direção o edifício tem menor rigidez, a tração persistiu nos dois primeiros pavimentos.

A diferença dos valores na tensão de tração é incrementada pelo fato de Ramalho e Corrêa (2003) apresentarem um maior carregamento vertical. Tal carregamento é maior no grupo vertical 9, onde foi considerado uma carga de 214,82 kN, enquanto que o ALVCAD obteve 104,351 kN para o mesmo carregamento (ver Tabela 6.5).

6.3 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DO BLOCO

O último passo para concluir o dimensionamento é calcular a resistência característica do bloco em cada pavimento. Para isso, deve-se adotar um valor para a eficiência prisma-bloco.

Neste exemplo utilizou-se um valor de peso-específico de parede diferente do valor cadastrado para bloco cerâmico. Por isso, o valor da eficiência deve ser informado na tela de definição da resistência de parede (Figura 5.73).

A partir dos resultados de máxima compressão, o ALVCAD calcula o valor da resistência característica do bloco. Nesta demonstração, as tensões de compressão para os grupos verticais 3 e 9 estão expressas na Tabela 6.9 e na Tabela 6.10, respectivamente.

6.3.1 Determinação de f_b mínimo

Para o dimensionamento da resistência do bloco, duas situações devem ser atendidas inicialmente. Igualando as tensões admissíveis às tensões atuantes, calcula-se o valor de f_p mínimo para cada situação:

$$1^{\text{a}} \text{ situação : } \quad \bar{f}_{av,c} = 0,20 \cdot f_p \cdot \left[1 - \left(\frac{h_{ef}}{40 \cdot t_{ef}} \right)^3 \right]$$

$$2^{\text{a}} \text{ situação: } \quad \bar{f}_{av,v} = 0,30 \cdot f_p$$

onde: $\bar{f}_{av,v}$ = tensão de compressão admissível na flexão;

$\bar{f}_{av,c}$ = tensão admissível quando atua apenas o carregamento vertical;

f_p = resistência do prisma;

h_{ef} = altura efetiva da parede;

t_{ef} = espessura efetiva da parede.

A determinação da resistência do bloco para o grupo vertical 3 é descrito na Tabela 6.13 e para o grupo vertical 9 é descrito na Tabela 6.14.

Tabela 6.13 – Determinação da resistência do bloco para o grupo vertical 3.

<i>pavimento</i>	<i>tensao pp + sob (kN/m²)</i>	<i>f_p mínimo 1^a situação (kN/m²)</i>	<i>tensao pp + sob + direção X (kN/m²)</i>	<i>f_p mínimo 2^a situação (kN/m²)</i>	<i>f_{bk} (MPa)</i>
8	74,057	423,2	119,304	397,7	4,5
7	148,114	846,4	258,897	863,0	4,5
6	222,171	1269,6	418,098	1393,7	4,5
5	296,228	1692,7	596,136	1987,1	4,5
4	370,285	2115,9	792,112	2640,4	4,5
3	444,343	2539,1	1004,939	3349,8	4,5
2	518,400	2962,3	1233,213	4110,7	6,0
1	592,457	3385,5	1474,838	4916,1	8,0

Obs.: 1 MPa = 1.000 kN/m²; f_{bk} = resistência característica do bloco.

Tabela 6.14 – Determinação da resistência do bloco para o grupo vertical 9.

<i>pavimento</i>	<i>tensao pp + sob (kN/m²)</i>	<i>f_p mínimo 1^a situação (kN/m²)</i>	<i>tensao pp + sob + direção X (kN/m²)</i>	<i>f_p mínimo 2^a situação (kN/m²)</i>	<i>f_{bk} (MPa)</i>
8	297,020	1697,3	319,452	1064,8	4,5
7	377,364	2156,4	448,152	1493,8	4,5
6	457,708	2615,5	601,833	2006,1	4,5
5	538,052	3074,6	779,425	2598,1	4,5
4	618,395	3533,7	979,683	3265,6	4,5
3	698,739	3992,8	1201,101	4003,7	6,0
2	779,083	4451,9	1441,734	4805,8	8,0
1	859,427	4911,0	1698,677	5662,3	8,0

6.3.2 Verificação da flexão composta e do cisalhamento

Determinados os valores mínimos de f_{bk}, o ALVCAD faz duas verificações, também prescritas em norma: *flexão composta* e *cisalhamento*.

Na verificação da flexão composta, a Equação 4.16 deve ser atendida. Para o segundo pavimento do grupo vertical 3, por exemplo, tem-se:

$$\frac{f_{alc,c}}{f_{avc,c}} + \frac{f_{alc,f}}{f_{avc,f}} \leq 1,33 \rightarrow \frac{518,40}{840} + \frac{1233,21}{1440} \leq 1,33 \rightarrow 0,617 + 0,856 \leq 1,33 \rightarrow 1,473 \leq 1,33 \rightarrow \textit{falso}$$

Neste caso, a expressão somente é verificada alterando-se o valor da resistência do bloco para 8,0 MPa.

Para o segundo pavimento do grupo vertical 9, por exemplo, tem-se:

$$\frac{f_{alc,c}}{f_{avc,c}} + \frac{f_{alc,f}}{f_{avc,f}} \leq 1,33 \rightarrow \frac{779,08}{1120} + \frac{1441,73}{1920} \leq 1,33 \rightarrow 0,696 + 0,751 \leq 1,33 \rightarrow 1,447 \leq 1,33 \rightarrow \textit{falso}$$

Neste caso, a expressão somente é verificada alterando-se o valor da resistência do bloco para 10,0 MPa.

Como acontece nos dois casos acima demonstrados, geralmente essa verificação sempre determina o valor da resistência do bloco.

Por fim, o ALVCAD verifica a tensão cisalhante atuante nos grupos horizontais. Como a NBR 10837 (ABNT, 1989) não prevê o carregamento horizontal proveniente do desaprumo, o esforço cortante considerado engloba apenas a força horizontal proveniente do vento.

Para a verificação da tensão cisalhante, considera apenas a alma do grupo horizontal como seção resistente, desprezando-se as abas. A tensão máxima permitida varia de acordo com a resistência da argamassa utilizada e, nesse exemplo, o seu valor é 0,15 MPa. Não houve problema com cisalhamento, confirmando o que já havia sido afirmado por Ramalho e Corrêa (2003).

6.3.3 Resultado do dimensionamento

O ALVCAD processa automaticamente todo o dimensionamento demonstrado acima, bem como todas as verificações e apresenta para o usuário o valor da resistência característica

do bloco. O resultado final para a resistência dos blocos no edifício é apresentado na Tabela 6.15.

Tabela 6.15 – Resistência dos blocos por pavimento.

<i>pavimento</i>	<i>resistência bloco (MPa)</i>
1	12,0
2	10,0
3	8,0
4	8,0
5	6,0
6	4,5
7	4,5
8	4,5

Analisando os resultados apresentados por Ramalho e Corrêa (2003), verifica-se que não é demonstrada verificação da flexão composta nos dois casos.

Os autores apresentam uma tabela de resultados para a resistência característica do bloco, reproduzida na Tabela 6.16:

Tabela 6.16 – Resistência dos blocos (RAMALHO E CORRÊA, 2003).

<i>pavimento</i>	<i>Bloco (MPa)</i>
1-2	8,0
3-4-5	6,0
Demais	4,5

Essa tabela é apresentada logo depois do dimensionamento dos blocos para o grupo vertical 3. Porém fica a dúvida se essa tabela apresenta o resultado para todo o edifício. Tal dúvida é reforçada quando se verifica que a partir do quarto pavimento a resistência necessária para o grupo vertical 3 é de 4,5 MPa. Além disso, após o dimensionamento do grupo vertical 9, não é apresentado nenhum resumo com os valores da resistência dos blocos.

Quando Ramalho e Corrêa (2003) dimensionam a resistência do bloco para o grupo vertical 9, sugerem o grauteamento desse grupo nos dois primeiros pavimentos. Essa sugestão é feita porque a resistência mínima exigida para esse grupo é apenas 17% maior que a resistência atingida com o bloco de 8,0 MPa.

Dessa forma, o grauteamento é uma solução para não utilizar um bloco de maior resistência em todo o pavimento em função, apenas, da solicitação do grupo vertical 9.

Ressalta-se que, mesmo com o grauteamento sugerido, a flexão composta não é verificada, sendo necessário a utilização do bloco de 10,0 MPa nos 2 primeiros pavimentos. Além disso, como apresentado na Tabela 6.15, a resistência mínima para o primeiro pavimento é de 12,0 MPa em função da solicitação de outros grupos.

6.4 VERIFICAÇÃO DA ESTABILIDADE GLOBAL

Concluída toda a etapa de dimensionamento e conhecendo o valor da resistência característica do bloco em cada pavimento, deve-se proceder a verificação da estabilidade global.

6.4.1 Deslocamentos horizontais

Para calcular os deslocamentos horizontais, o ALVCAD utiliza a Equação 6.2. Esse deslocamento é ilustrado na Figura 6.10.

$$\Delta = \frac{F \cdot h^3}{3 \cdot E \cdot I} \quad 6.2$$

onde: Δ = deslocamento horizontal;

F = força horizontal;

E = módulo de elasticidade da seção;

I = inércia da seção.

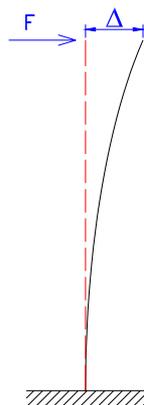


Figura 6.10 – Deslocamento da estrutura sob a ação de uma força horizontal.

6.4.2 Inércia do edifício

O valor da força horizontal é conhecido, restando a determinação das outras variáveis apresentada na Equação 6.2. Para calcular a inércia do edifício, o ALVCAD, considerando a disposição dos grupos horizontais, calcula o seu centro de gravidade. Conhecendo-se esse ponto, calcula-se a inércia de cada grupo horizontal em relação a essa coordenada. Por fim, soma-se o valor das inércias de todos os grupos, pois estão calculadas em relação à mesma referência.

A inércia do edifício na direção X resulta em $I_x = 53,39 \text{ m}^4$ e na direção Y resulta em $I_y = 242,24 \text{ m}^4$. Como a direção das forças é perpendicular ao eixo de inércia, quando considerada a força na direção X, deve-se utilizar I_y e vice-versa.

6.4.3 Módulo de elasticidade do edifício

O valor do módulo de elasticidade é calculado conforme recomendação de Ramalho e Corrêa (2003). Esses autores consideram que os valores apresentados pela NBR 10837 (ABNT, 1989) são discrepantes quando comparados com valores divulgados por diversos autores. Sendo assim, sugerem que o módulo de deformação longitudinal para o bloco de concreto seja igual à $E_{alv} = 800 f_p$, sendo no máximo igual à 16.000 MPa.

Como, geralmente, o valor de f_p varia de acordo com o pavimento, o ALVCAD adota o valor médio. Neste exemplo o valor adotado é $E_{alv} = 4.600$ MPa.

6.4.4 Valores de γ_z

Todos os cálculos são feitos automaticamente pelo ALVCAD, que informa ao projetista o valor do γ_z em cada direção, definindo se a estrutura pode ser considerada indeslocável.

Nesse exemplo, os valores calculados pelo ALVCAD foram:

$$\gamma_{z-x} = 1,00056$$

$$\gamma_{z-y} = 1,00232$$

Baseando-se nesse resultado, conclui-se que o edifício pode ser considerado indeslocável, com uma grande margem de segurança.

Os resultados apresentados por Ramalho e Corrêa (2003) são diferentes, mas a conclusão sobre a deslocabilidade é a mesma. Os valores apresentados pelos autores são:

$$\gamma_{z-x} = 1,04$$

$$\gamma_{z-y} = 1,02$$

Não foi possível encontrar a razão exata dessa divergência, mas acredita-se que ela tenha sido causada por uma série de fatores. Recorrendo a outros exemplos divulgados pelos autores na mesma publicação, presume-se que os deslocamentos horizontais são calculados pelo método dos elementos finitos, diferentemente da forma calculada pelo ALVCAD. Também não está definido o valor adotado para o módulo de elasticidade, uma vez que tal valor varia de acordo com o pavimento.

Finalmente, conclui-se que os valores apresentados pelo ALVCAD são mais coerentes, uma vez que o γ_z foi maior na direção de menor inércia.

6.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O exemplo resolvido trata-se de um edifício de médio porte, com 8 pavimentos e mais um ático equivalente a quase dois pavimentos. Avaliando os resultados, percebe-se que o projeto é inadequado para utilização em alvenaria estrutural não armada.

A seção transversal do edifício é fortemente retangular (7,04 m x 16,04 m), o que causa grande solicitação de tração, obrigando a utilização de armadura para combater esse esforço.

Em todas as situações em que os valores calculados pelo ALVCAD foram muito divergentes, o cálculo foi conferido manualmente. Dessa forma, comprovou-se a eficiência e a coerência dos resultados.

O cálculo da armadura para combater a tração não é ainda realizado pelo ALVCAD, mas tal implementação fica registrada como sugestão para próximos trabalhos. Fica igualmente registrada como sugestão, a implementação da utilização de grauteamento para aumentar a resistência à compressão da parede em algumas situações.

CAPÍTULO 7

CONCLUSÕES

O objetivo proposto no trabalho foi atingido com o ALVCAD. Este aplicativo é capaz de automatizar as principais tarefas do usuário, no trabalho de projetar e calcular uma edificação em alvenaria estrutural não-armada.

Utilizando o ALVCAD, o projetista trabalha com o AutoCAD, um poderoso *software* gráfico, com o qual a maioria dos profissionais da área já está familiarizado, proporcionando velocidade e eficiência no trabalho.

Esse aplicativo foi desenvolvido utilizando a linguagem de programação chamada de *Visual Basic*, criada pela *Microsoft*. O ALVCAD é instalado independentemente de qualquer outro *software*, da mesma forma que se faz com a maioria dos programas computacionais. Além disso, é compatível com qualquer versão do AutoCAD que esteja preparada para a conexão com o *Visual Basic* (a partir da versão 2000).

O ALVCAD limita-se ao cálculo de lajes retangulares e os deslocamentos calculados para a verificação da estabilidade global prevêm apenas a hipótese de translação (edifícios simétricos). No dimensionamento, consideram-se as prescrições da NBR 10837 (ABNT, 1989). Apesar de não dimensionar as armaduras, os esforços de tração são fornecidos.

Na demonstração do ALVCAD, feita no capítulo 5, verifica-se que o ALVCAD permite uma fácil iteração com o usuário com telas auto-explicativas. O projeto e o

dimensionamento ganham agilidade e confiabilidade, através de desenhos e cálculos automatizados.

Nesta mesma demonstração, apesar da NBR 10837 (ABNT, 1989) prescrever que não haveria necessidade de verificar a ação do vento, estes esforços foram considerados. Essas ações foram determinantes para haver um aumento significativo nas tensões atuantes em alguns grupos, exigindo um bloco com resistência característica de 6 MPa no primeiro pavimento.

Esse fato se justifica pela disposição arquitetônica do edifício. A arquitetura considerada não é a ideal para a utilização da alvenaria estrutural, havendo uma concentração de tensões geradas pelo carregamento horizontal a 0°.

No Capítulo 6 foi demonstrada a resolução de um exemplo proposto e resolvido por Ramalho e Correa (2003). Com isso, buscou-se a validação dos cálculos efetuados pelo ALVCAD no dimensionamento da alvenaria estrutural.

O ALVCAD foi utilizado nesse exemplo, da mesma forma que demonstrado no capítulo 5: foram definidos os grupos de resistências e os carregamentos; os esforços foram processados e a resistência característica do bloco foi calculada seguindo as restrições e verificações impostas pela NBR 10.873 (ABNT, 1989).

Todos os resultados foram comparados com os resultados apresentados por Ramalho e Corrêa (2003). As divergências existentes foram verificadas através de cálculo manual e os valores obtidos pelo ALVCAD foram ratificados. Dessa forma, considera-se que o ALVCAD atingiu perfeitamente o objetivo proposto.

Mesmo considerando condições diferentes para os apoios e cálculo das reações das lajes, a diferença entre o carregamento vertical apresentado por Ramalho e Corrêa (2003) e o valor obtido pelo ALVCAD, foi de apenas 9,15%.

É válido ressaltar que o exemplo utilizado nesse último capítulo não é adequado para a utilização em alvenaria estrutural não-armada. Isso acontece devido à sua forma fortemente

retangular. Por causa de uma seção transversal de 7,04 m x 16,04 m e 27,20 m de altura, o carregamento horizontal atuante foi decisivo nos resultados.

Em função desse carregamento, exigiu-se blocos com resistência de 12 MPa e 10 MPa, no primeiro e segundo pavimento, respectivamente. Além disso, verificaram-se tensões de tração até o sexto pavimento, em alguns grupos.

Finalizando, faz-se algumas sugestões para o prosseguimento desse trabalho:

O ALVCAD determina as reações somente de lajes retangulares. Seria válida a implementação do cálculo das reações das lajes em forma de “L”, muito comuns nas edificações residenciais.

O ALVCAD utiliza o procedimento dos grupos isolados de paredes para a distribuição dos esforços verticais nas paredes. Um trabalho interessante seria implementar essa distribuição de esforços através do procedimento de grupos de paredes com interação.

O ALVCAD trabalha com 3 tipos de famílias de blocos: 14x29, 14x39 e 19x39. Visto a grande diversidade de fabricantes e as diferenças regionais encontradas no Brasil, torna-se interessante a definição de outros tipos de blocos que poderão ser utilizados, tais como os blocos sílico-calcários e solo-cimento (“tijolo ecológico”).

Nessa primeira versão do ALVCAD utilizam-se as prescrições da NBR 10837 (ABNT, 1989) para cálculo da resistência da alvenaria. Aplicando-se as prescrições da BS 5628:Part 1 (BSI, 1978) no cálculo de uma edificação em alvenaria estrutural, seriam obtidos resultados interessantes para comparação técnica e econômica. Inclusive já foi deixado no menu de comando do ALVCAD, um local reservado, ainda desabilitado, para processar esse cálculo.

Na verificação da estabilidade, os deslocamentos horizontais são calculados considerando a hipótese da simetria da edificação. Sugere-se a implementação do cálculo de deslocamentos para edifícios não-simétricos, quando deverá ser considerada a rotação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACCETTI, K.M. Contribuições ao projeto estrutural de edifícios em alvenaria. 247p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 1998.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 530-02. Building Code Requirements for Masonry Structures. Detroit, 2002.

_____. ACI 530.1-03. Specification for masonry structures. Detroit, 2002.

AMRHEIN, J.E. Reinforced masonry engineering handbook. 3.ed. Los Angeles: Masonry Institute of America, 1978.

ANDOLFATO, R.P.; CAMACHO, J.S.; MAURÍCIO, R.M. Estudo de blocos e prismas de concreto para alvenaria estrutural variando a quantidade de cimento e grau de compactação. In: V SIMPÓSIO EPUSP SOBRE ESTRUTURAS DE CONCRETO, São Paulo. PEF/PCC EPUSP, 2003, v.1, p.1-17.

ANDRADE, A.A. Estabilidade das paredes de alvenaria estrutural (Novo Modelo de Verificação da Segurança). 133p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto e execução de obras de concreto armado. Rio de Janeiro, 1978.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6120: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 1988.

_____. NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988.

_____. NBR 6136: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural. Rio de Janeiro, 1994.

_____. NBR 10837: Cálculo de alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto. Rio de Janeiro, 1989.

AUTODESK, INC. AutoCAD 2004 Help: User Documentation. *ActiveX and VBA Developer's Guide*. versão 2004.0.0.

_____. AutoCAD 2004 Help: User Documentation. *ActiveX and VBA Reference*. versão 2004.0.0.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. BS 5628:Part 1. Code of practice for structural use of masonry, Londres, 1978.

DEUTSCH INDUSTRIE NORMEN. DIN 1053 (1974) – Alvenaria: cálculo e execução. Tradução de Hans Jurgen Okorn. São Paulo, 1976.

BARBOSA, M.T.G. (2002). Metodologia de dosagem de argamassas mistas. *alvenaria estrutural – Novas tendências técnicas e de mercado*, p.11-18.

COÊLHO, R.S.A. Alvenaria estrutural. 1.ed. São Luiz: UEMA, 1998.

DUARTE, R.B. Recomendações para o projeto e execução de edifícios de alvenaria estrutural. 78 p. Porto Alegre, 1999.

FINKELSTEIN E. AutoCAD 2000 a Bíblia. 1.ed. Rio de Janeiro: Editora Ciência e Moderna, 2000.

FRANCO, L.S. Parâmetros utilizados nos projetos de alvenaria estrutural. Departamento de Engenharia de Construção Civil, Texto técnico da Escola Politécnica da USP, São Paulo. 1993.

GAIOFATTO, R. (2002). Alvenaria armada – Argamassas de grouteamento. *Alvenaria estrutural – Novas tendências técnicas e de mercado*, p.19-25.

MEDEIROS, J.S. Alvenaria estrutural não-armada de blocos de concreto: produção de componentes e parâmetros de projeto. 449p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1993.

MACORATTI, J.C. Homepage disponível em <<http://www.macoratti.net>>. Acesso em 2003, 2004 e 2005.

MEDEIROS, J.S.; SABBATINI, F.H. Alvenaria estrutural não-armada de blocos de concreto: produção de componentes e parâmetros de projeto. Departamento de Engenharia de Construção Civil, Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, São Paulo. 1993.

MICROSOFT CORP. Microsoft Visual Basic 6.0. *MSDN Library Visual Studio 6.0 – Visual basic documentation*.

PARSEKIAN, G.A.; FRANCO, L.S. Método para distribuição de esforços verticais entre paredes de edifícios de alvenaria estrutural. *téchne*, n.61, p.48-53, abr. 2002.

POLILLO, A.(1977) Dimensionamento de concreto armado – volume II. 3 ed. Rio de Janeiro: Científica.

RACANICCHI, R. Automatização gráfica e de procedimentos básicos para projetos de edifícios de alvenaria estrutural de blocos. 176p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira. 2001.

RAMALHO, M.A.; CORRÊA, M.R.S. Projetos de edifícios de alvenaria estrutural. 1.ed. São Paulo: Pini, 2003.

SABBATINI, F.H. Argamassas de assentamento para paredes de alvenaria resistente. Departamento de Engenharia de Construção Civil, Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, São Paulo. 1986.

_____. O processo construtivo de edifícios de alvenaria estrutural sílica-calcária, 298 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da USP – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1984.

SILVA, W.J. Estudo experimental de ligações entre paredes de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos sujeitas a ações verticais. 144p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira. 2003.

SOLÓRZANO, M.G.P; SABBATINI, F.H. Características e desempenho de juntas de argamassa na alvenaria estrutural de blocos de concreto. Departamento de Engenharia de Construção Civil, Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, São Paulo. 1995.

THOMAZ, E.; HELENE, P. Qualidade no projeto e na execução de alvenaria estrutural e de alvenarias de vedação em edifícios. Departamento de Engenharia de Construção Civil, Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, São Paulo. 2000.

VILATÓ, R.R. Estudo da metodologia do projeto para edifícios em alvenaria estrutural não-armada. 175p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1998.

WENDLER, A. Curso sobre projeto de alvenaria estrutural com blocos vazados de concreto. *Associação Brasileira de Cimento Portland*. São Paulo. 1999.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ALY, V.L.C; SABBATINI, F.H. Determinação da capacidade resistente do elemento parede de alvenaria armada de blocos de concreto submetido a esforços de compressão. Departamento de Engenharia de Construção Civil, Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, São Paulo. 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6460: Tijolo maciço cerâmico para alvenaria – Verificação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1983.

_____. NBR 6461: Bloco cerâmico para alvenaria – verificação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1983.

_____. NBR 7170: Tijolo maciço cerâmico para alvenaria - especificação. Rio de Janeiro, 1983.

_____. NBR 7171: Bloco cerâmico para alvenaria. Rio de Janeiro, 1992.

_____. NBR 7173: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria sem função estrutural. Rio de Janeiro, 1982.

_____. NBR 7184: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1982.

_____. NBR 7186: Bloco vazado de concreto simples para alvenaria estrutural. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8041: Tijolo maciço cerâmico para alvenaria – Forma e dimensões. Rio de Janeiro, 1983.

_____. NBR 8042: Bloco cerâmico para alvenaria – formas e dimensões. Rio de Janeiro, 1992.

_____. NBR 8043: Bloco cerâmico portante para alvenaria – determinação da área líquida. Rio de Janeiro, 1983.

_____. NBR 8215: Prisma de blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural – preparo e ensaio. Rio de Janeiro, 1983.

_____. NBR 8490: Argamassas endurecidas para alvenaria estrutural – retração por secagem. Rio de Janeiro, 1984.

_____. NBR 8798: Execução e controle de obras em alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto. Rio de Janeiro, 1985.

_____. NBR 8949: Paredes de alvenaria estrutural – ensaio à compressão simples. Rio de Janeiro, 1985.

_____. NBR 9287: Argamassa de assentamento para alvenaria de blocos de concreto – determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 1986.

_____. NBR 12117: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – retração por secagem. Rio de Janeiro, 1991.

_____. NBR 12118: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – determinação da absorção de água, do teor de umidade e da área líquida. Rio de Janeiro, 1991.

_____. NBR 14322: Paredes de alvenaria estrutural – verificação da resistência à flexão simples ou à flexo-compressão. Rio de Janeiro, 1982.

CANDIA, M.C.; FRANCO, L.S. Resistência de aderência ao cisalhamento da alvenaria estrutural não-armada de blocos cerâmicos. Departamento de Engenharia de Construção Civil, Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, São Paulo. 1995.

HODGE, J.C. Brickwork. 3.ed. Londres: Edward Arnold, 1971.

MAMEDE, F.C. Utilização de pré-moldados em edifícios de alvenaria estrutural. 187p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2001.

MEDEIROS, J. S.; FRANCO, L.S. Prevenção de trincas em alvenarias através do emprego de telas soldadas como armadura e ancoragem. Departamento de Engenharia de Construção Civil, Texto Técnico da Escola Politécnica da USP, São Paulo. 1999.

OHASHI, E.A.M.; FRANCO, L.S. Fluxo de informação no processo de projeto em alvenaria estrutural. Departamento de Engenharia de Construção Civil, Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, São Paulo. 2001.

PARSEKIAN, G.A. Tecnologia de produção de alvenaria estrutural protendida. 263p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2002.

RAMALHO, M.A.; CORRÊA, M.R.S. alvenaria estrutural – notas de Aula. Departamento de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 1999.

SÁNCHEZ, E. alvenaria estrutural – novas tendências técnicas e de mercado. 1.ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2002.

TAUIL, C.A.; RACCA, C.L. Alvenaria armada. 3.ed. São Paulo: projeto. 1981.

VILATÓ, R.R.; FRANCO, L.S. As juntas de movimentação na alvenaria estrutural. Departamento de Engenharia de Construção Civil, Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, São Paulo. 1998.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)