

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
NORIE - NÚCLEO ORIENTADO PARA A INOVAÇÃO DA EDIFICAÇÃO**

**ESTUDO PARA A PADRONIZAÇÃO DAS DIMENSÕES DE
UNIDADES DE ALVENARIA ESTRUTURAL NO BRASIL
ATRAVÉS DO USO DA COORDENAÇÃO MODULAR**

Dóris Zechmeister

Porto Alegre
março 2005

DÓRIS ZECHMEISTER

**ESTUDO PARA A PADRONIZAÇÃO DAS DIMENSÕES DE
UNIDADES DE ALVENARIA ESTRUTURAL NO BRASIL
ATRAVÉS DO USO DA COORDENAÇÃO MODULAR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em
Engenharia na modalidade Acadêmico

Porto Alegre
março 2005

DÓRIS ZECHMEISTER

**ESTUDO PARA A PADRONIZAÇÃO DAS DIMENSÕES DE
UNIDADES DE ALVENARIA ESTRUTURAL NO BRASIL
ATRAVÉS DO USO DA COORDENAÇÃO MODULAR**

Porto Alegre, 04 de abril de 2005.

Prof. Ronaldo Bastos Duarte
Ph.D. pela University of Edinburgh
Orientador

Profa. Carin Maria Schmitt
Dr. pela UFRGS
Co-orientadora

Prof. Américo Campos Filho
Coordenador do PPGEC/UFRGS

BANCA EXAMINADORA

Profa. Ana Luiza Raabe Abitante (UFRGS)
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Hélio Adão Greven (UFRGS)
Dr. Ing. pela Universität Hannover

Prof. Humberto Ramos Roman (UFSC)
Ph. D. pela University of Sheffield

À Deus pelo privilégio de ter chegado até aqui.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter iluminado esta caminhada através destas pessoas que de uma forma tão especial contribuíram na evolução deste trabalho.

Ao professor Ronaldo Bastos Duarte pela orientação presente, o constante incentivo e a sabedoria no estímulo às minhas próprias descobertas, à professora Carin Maria Schmitt pela dedicação e motivação para vencer todas as etapas deste trabalho mesmo antes de se tornar minha co-orientadora e ao professor Wolfram Jäger pela tutoria na Alemanha e pela oportunidade de participar do projeto internacional de docência e pesquisa TISA - *Traditional and Innovative Structures in Architecture*.

Aos professores Humberto Ramos Roman, Hélio Adão Greven, Luís Sérgio Franco, Herr Radig e Herr Scheidig pelo encaminhamento ao tema de pesquisa escolhido e aos professores Luís Carlos Bonin, Miguel Aloysio Sattler e Odilon Pancaro Cavalheiro e aos arquitetos Adriana Dal Más, Gilfranco Alves e Marcelo de Figueiredo, ao engenheiro Marco Antônio Franzmann e ao Gabriel Viégas pela colaboração.

Aos departamentos, sindicatos, empresas e escritórios, especialmente à Alves e Trujillo, à Arco Assessoria, à Cientec, ao Dehmab, à Eder Ziegelwerk Freital, à Kalksandstein, à Pauluzzi, à Planungs- und Ingenieurbüro für Bauwesen Prof. W. Jäger, à RHB, à RKZ, à Ronaldo Rezende, ao Siocergs, à Thomas Müller Ivan Reimann Architekten pelo apoio técnico no Brasil e na Alemanha.

Aos colegas e amigos Alexandra Follmann Baldauf, Ana Paula Kirschheim, Eduardo Grala da Cunha, Juliana Reschke, Luciano Vasconcellos, Marcus F. dos Santos, Maurício Lago Magro e Max Andrade, dentre tantos outros que estiveram ao meu lado e não mediram esforços para ajudar e aos professores, colegas e alunos do NORIE/UFRGS, TU-DRESDEN, UPF e UNOCHAPECÓ, instituições das quais fiz parte durante esta jornada, pelo incentivo e apoio.

Aos meus amigos e familiares especialmente aos meus pais Eduardo e Ruth, pelo amor e pelo exemplo de vida. Às minhas irmãs e amigas Débora e Mônica, por constante auxílio, carinho e força. Ao Guilherme, que sempre demonstrou amor e paciência em todos os momentos.

Ao CNPq e ao DAAD pelo apoio financeiro através da bolsa de mestrado no Brasil e da bolsa de pesquisa na Alemanha.

Somente Deus pode te fazer sábio;
Somente Deus pode te dar conhecimento e inteligência.

Provérbios 2:6

RESUMO

ZECHMEISTER, Dóris. Estudo para a padronização das dimensões de unidades de alvenaria estrutural no Brasil através do uso da coordenação modular. 2005. p. 161. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

Este estudo apresenta uma proposta para a padronização das dimensões de unidades de alvenaria estrutural no Brasil. Para isso, primeiramente são discutidos os benefícios da aplicação da teoria da coordenação modular na alvenaria estrutural, através da relação da coordenação modular com a arquitetura e da síntese dos seus princípios fundamentais. Tendo sempre o foco na padronização do componente modular e no seu uso em projetos coordenados modularmente. Em seguida, é apresentada a situação da alvenaria estrutural no Brasil e na Alemanha, observando principalmente o uso da coordenação modular, as características das unidades, do projeto e da execução nesse processo construtivo. Destacam-se os problemas enfrentados no Brasil, onde adaptações do projeto arquitetônico de edifícios em concreto armado para projetos em alvenaria estrutural aumentam os custos e problemas no processo construtivo. A principal razão para isto é que as unidades de alvenaria não são coordenadas modularmente e necessitam rigorosa padronização. Assim, finalmente, a partir dos aspectos condicionantes para as dimensões das unidades de alvenaria estrutural é possível alcançar o objetivo central deste trabalho que é a sugestão à indústria brasileira de uma série de medidas preferidas para a padronização das dimensões de unidades de alvenaria estrutural no Brasil, apresentando os possíveis arranjos de paredes e elaborando um projeto piloto coordenado modularmente, sem que haja a restrição da liberdade criativa dos arquitetos.

Palavras-chave: padronização; alvenaria estrutural; coordenação modular; unidade de alvenaria; projeto arquitetônico.

ABSTRACT

ZECHMEISTER, Dóris. Estudo para a padronização das dimensões de unidades de alvenaria estrutural no Brasil através do uso da coordenação modular. 2005. p. 161. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

Study for standardization of structural masonry units in Brazil using modular coordination.

This study presents a proposal for standardization of the dimensions of structural masonry units in Brazil. For this, first the benefits of applying the theory of modular coordination in structural masonry are discussed, through the relationship of modular coordination with architecture and the synthesis of its basic principles, always focusing on the standardization of the modular component and its use in modularly coordinated projects. Next, the situation of structural masonry in Brazil and Germany is presented, observing mainly the use of modular coordination, the characteristics of the units, the design and the execution in this construction system. The problems faced in Brazil are highlighted, where adaptations of architectural designs of framed buildings to designs in structural masonry increase costs and problems in the construction process. The main reason for this is that the masonry units are not coordinated modularly and need strict standardization. Thus, finally, from the conditioning aspects for the dimensions of the units of structural masonry, the central objective of this study can be reached that is the suggestion to Brazilian industry of a series of preferred dimensions to standardize the dimensions of structural masonry units in Brazil, presenting the possible arrangements of walls and elaborating a modularly coordinated pilot design, without restricting the creative freedom of the architects.

Key words: standardization; structural masonry; modular coordination; masonry unit; architectural design.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	11
ABREVIATURAS	14
SIGLAS	15
1 INTRODUÇÃO	16
2 METODOLOGIA	19
2.1 OBJETIVO PRINCIPAL	19
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
2.3 PRESSUPOSTOS	19
2.4 LIMITAÇÕES DA PESQUISA	20
2.5 ETAPAS DA PESQUISA	20
2.5.1 Pesquisa bibliográfica	21
2.5.1.1 Estudo da teoria da coordenação modular	21
2.5.1.2 Estudo do processo em alvenaria estrutural	21
2.5.1.3 Estudo dos sistemas modulares e identificação das unidades de alvenaria em outros países	21
2.5.2 Comparação entre normas da ABNT para a definição das dimensões das unidades de alvenaria e as sobre coordenação modular	21
2.5.3 Visita técnica à Alemanha	22
2.5.4 Determinação das dimensões máximas e mínimas das unidades de alvenaria	22
2.5.5 Sugestão das dimensões a serem padronizadas	22
2.5.5.1 Análise dos possíveis arranjos de paredes	22
2.5.5.2 Elaboração do projeto piloto	22
3 APLICAÇÃO DA TEORIA DA COORDENAÇÃO MODULAR NA ALVENARIA ESTRUTURAL	23
3.1 DEFINIÇÕES	24
3.1.1 Coordenação dimensional	24
3.1.2 Módulo	24
3.1.3 Coordenação modular	25
3.2 A COORDENAÇÃO MODULAR E A ARQUITETURA	25
3.3 PRINCÍPIOS FUNDAMENTAIS DA COORDENAÇÃO MODULAR	27
3.3.1 Sistema de referência	27
3.3.1.1 Reticulado modular espacial de referência	27
3.3.1.2 Quadriculado modular de referência	27
3.3.2 Módulo	28
3.3.2.1 Medida modular	28
3.3.2.2 Medida de projeto	28
3.3.2.3 Medida real	29
3.3.3 Ajuste modular	29
3.3.3.1 Ajuste positivo	29
3.3.3.2 Ajuste negativo	30
3.3.3.3 Ajuste nulo	30
3.4 COMPONENTE MODULAR	31

3.4.1 Tolerância	31
3.4.1.1 Tolerância de fabricação	32
3.4.1.2 Tolerância de posição	32
3.4.2 Junta	32
3.4.2.1 Junta de projeto	32
3.4.2.2 Junta real	32
3.4.3 Série modular de medidas	33
3.4.3.1 Medidas preferíveis	33
3.4.3.2 Série modular	34
3.4.3.3 Medidas preferidas	34
3.4.3.4 Série modular específica	34
3.5 SISTEMAS DE MEDIDAS	34
3.5.1 Sistema métrico	35
3.5.1.1 Sistema decimétrico	36
3.5.1.2 Sistema octamétrico	36
3.5.2 Sistema pé-polegada	36
3.6 PROJETO MODULAR	37
3.6.1 Quadriculado multimodular de referência	37
3.6.2 Multimódulo	38
3.6.3 Submódulos	39
3.6.4 Posição do componente modular	40
3.6.4.1 Posição simétrica	40
3.6.4.2 Posição assimétrica	40
3.6.4.3 Posição lateral	41
3.6.5 Zona neutra	41
3.7 BENEFÍCIOS DO USO DA COORDENAÇÃO MODULAR	42
4 A ALVENARIA ESTRUTURAL NO BRASIL	44
4.1 NORMAS BRASILEIRAS DE COORDENAÇÃO MODULAR E PARA A DEFINIÇÃO DAS DIMENSÕES DAS UNIDADES DE ALVENARIA	46
4.1.1 Normas brasileiras sobre coordenação modular	48
4.1.2 Normas brasileiras para a definição das dimensões das unidades de alvenaria	49
4.1.3 Comparação entre as normas sobre coordenação modular e as para a definição das dimensões das unidades de alvenaria	50
4.2 A UNIDADE DE ALVENARIA ESTRUTURAL NO BRASIL	57
4.2.1 Dimensões dos tijolos	60
4.2.2 Dimensões dos blocos	62
4.3 O PROJETO E A EXECUÇÃO EM ALVENARIA ESTRUTURAL NO BRASIL	64
5 A ALVENARIA ESTRUTURAL NA ALEMANHA	69
5.1 NORMAS ALEMÃS DE COORDENAÇÃO MODULAR E PARA A DEFINIÇÃO DAS DIMENSÕES DAS UNIDADES DE ALVENARIA	71
5.1.1 Normas alemãs sobre coordenação modular	72
5.1.2 Normas alemãs sobre dimensões das unidades de alvenaria	76
6 PROPOSTA DE PADRONIZAÇÃO DAS DIMENSÕES DAS UNIDADES DE ALVENARIA ESTRUTURAL NO BRASIL	79

6.1 ASPECTOS CONDICIONANTES PARA AS DIMENSÕES DAS UNIDADES DE ALVENARIA ESTRUTURAL	79
6.1.1 Requisitos de coordenação modular	79
6.1.2 Requisitos estruturais	81
6.1.3 Requisitos culturais	84
6.1.4 Requisitos de conforto ambiental	85
6.1.4.1 Requisitos de conforto térmico	86
6.1.4.2 Requisitos de conforto acústico	90
6.1.5 Exemplo da Alemanha para composição das dimensões das unidades de alvenaria estrutural no Brasil	92
6.1.6 Requisitos legais	92
6.1.7 Requisitos de trabalhabilidade	93
6.1.8 Requisitos de intercambiabilidade	94
6.2 UNIDADES DE ALVENARIA ESTRUTURAL PROPOSTAS	95
6.3 ARRANJO DAS PAREDES COM AS UNIDADES DE ALVENARIA ESTRUTURAL PROPOSTAS	105
6.4 PROJETO PILOTO COM AS UNIDADES DE ALVENARIA ESTRUTURAL PROPOSTAS	115
7 CONCLUSÕES	122
REFERÊNCIAS	129
APÊNDICE 1 - CONSIDERAÇÕES SOBRE A ALVENARIA ESTRUTURAL NA ALEMANHA	136
1.1 A UNIDADE DE ALVENARIA ESTRUTURAL NA ALEMANHA	137
1.2 O PROJETO E A EXECUÇÃO EM ALVENARIA ESTRUTURAL NA ALEMANHA	142
1.2.1 A alvenaria estrutural na Alemanha sob o ponto de vista dos profissionais	142
1.2.1.1 A coordenação modular e a alvenaria estrutural na Alemanha	143
1.2.2 Amarrações das paredes em alvenaria estrutural na Alemanha	146
1.2.3 Visitas técnicas a obras com unidades de alvenaria na Alemanha	147
1.2.3.1 Casa geminada de dois pavimentos com unidades cerâmicas	147
1.2.3.2 Protótipo de uma indústria de unidades cerâmicas	150
1.2.3.3 Conjunto habitacional com utilização de unidades sílico-calcárias	152
APÊNDICE 2 - ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE PAREDES COM UNIDADES DE ALVENARIA ESTRUTURAL	157
2.1 EXEMPLO DE CÁLCULO DA PAREDE 1, SEGUNDO O PROJETO NBR 02:135.07-002	158
2.1.1 Resistência térmica da parede	159
2.1.2 Resistência térmica total	159
2.1.3 Transmitância térmica	159
2.1.4 Capacidade térmica da parede	159
2.1.5 Atraso térmico	160
2.1.6 Fator de calor solar	160
2.2 ESPECIFICAÇÃO DAS PAREDES ANALISADAS	161

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: desenho da pesquisa	20
Figura 02: proporção de um ângulo do frontão de um templo dórico, baseado na relação harmônica e <i>Modulor</i> de Le Corbusier.....	26
Figura 03: triedro axonométrico, reticulado espacial de referência e quadriculado modular de referência	28
Figura 04: relação entre medida modular, medida de projeto e ajuste modular e junta modular	29
Figura 05: ajuste positivo	30
Figura 06: ajuste negativo	30
Figura 07: ajuste nulo	30
Figura 08: variações de medida do componente modular adaptado da DIN 18201 – tolerâncias na construção civil – terminologia, princípios, aplicações e testes	31
Figura 09: junta de projeto e junta real	33
Figura 10: apresentação da série numérica, base do sistema octamétrico..	36
Figura 11: exemplos de quadriculados multimodulares M, 3M e 24M e 48M	38
Figura 12: posição simétrica	40
Figura 13: posição assimétrica	41
Figura 14: posição lateral	41
Figura 15: zonas modular, neutra e de sobreposição das malhas modulares em blocos não ortogonais	41
Figura 16: normas de coordenação modular	47
Figura 17: normas sobre dimensões das unidades de alvenaria para diversos materiais..	48
Figura 18: avaliação da NBR 5711	51
Figura 19: avaliação da NBR 5712	52
Figura 20: avaliação das NBR 7170 e NBR 8041	53
Figura 21: avaliação das NBR 7171 e NBR 8042	54
Figura 22: avaliação da NBR 7173	55
Figura 23: avaliação da NBR 6136	55
Figura 24: avaliação do Projeto NBR 02:101.01-002/2	56
Figura 25: relação percentual dos aspectos de modularidade e de não modularidade encontrados nas normas analisadas	57
Figura 26: relação percentual dos aspectos de não modularidade encontrados nas normas analisadas	57
Figura 27: exemplos de arranjos com tijolos aparentes de proporção 4:2:1	59
Figura 28: relação entre dois tijolos a perpianho e um a cutelo	60
Figura 29: relação entre o consumo de mão-de-obra e o tamanho equivalente dos tijolos	62
Figura 30: Igreja de Atlântida e construção da Igreja San Juan de Avila de Eládio Dieste	67
Figura 31: o papel do projeto arquitetônico em relação aos demais projetos	67
Figura 32: distribuição do mercado de construções no setor habitacional na Alemanha referente aos vistos de aprovação concedidos em 2000	70
Figura 33: distribuição do mercado entre as indústrias de unidades de alvenaria na Alemanha em 2001	71
Figura 34: normas alemãs de coordenação na construção	72
Figura 35: números normalizados para construção segundo a DIN 4172	73
Figura 36: série de números preferidos da DIN 18000	75

Figura 37: normas alemãs que definem dimensões para unidades de alvenaria apontadas pela DIN 1053-1	76
Figura 38: formatos gerados pela combinação do formato básico DF	77
Figura 39: medidas modulares das unidades de alvenaria segundo a DIN V 105-1	78
Figura 40: formatos fracionados das unidades de alvenaria	78
Figura 41: altura efetiva (h_{ef}) segundo a NBR 10837 e a BS 5628	82
Figura 42: zoneamento bioclimático brasileiro	87
Figura 43: transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar admissíveis para cada tipo de vedação externa	88
Figura 44: espessuras mínimas de septos e de paredes externas para blocos cerâmico e de concreto	88
Figura 45: densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ) e calor específico (c) de materiais	89
Figura 46: dados obtidos através do método de cálculo do Projeto NBR 02:135.07-002	89
Figura 47: qualificação do isolamento	91
Figura 48: algumas medidas modulares padronizadas a partir das unidades de alvenaria estrutural propostas	95
Figura 49: dimensões dos formatos das unidades de alvenaria estrutural propostas a partir da composição da unidade básica ($UB = 15 \times 7,5 \times 30$ cm)	96
Figura 50: geometria cúbica básica dos formatos das unidades de alvenaria estrutural propostas	97
Figura 51: exemplo de unidades de alvenaria estrutural a partir da proposta deste estudo	99
Figura 52: composição da unidade básica para formar todas as demais unidades e ilustração das unidades de alvenaria estrutural propostas para o Brasil em escala 1:5.....	100
Figura 53: formatos fracionados usados para composição das unidades a partir da unidade básica	100
Figura 54: sugestão para as dimensões dos formatos da unidade básica e da unidade grande	100
Figura 55: sugestão para as dimensões dos formatos das unidades de alvenaria estrutural para a família $15 \times 15 \times 30$	101
Figura 56: sugestão para as dimensões dos formatos das unidades de alvenaria estrutural para a família $22,5 \times 15 \times 30$	102
Figura 57: sugestão para as dimensões dos formatos das unidades de alvenaria estrutural para a família $15 \times 30 \times 30$	103
Figura 58: sugestão para as dimensões dos formatos das unidades de alvenaria estrutural para a família $22,5 \times 30 \times 30$	104
Figura 59: relação entre as alturas modulares das diversas unidades com o módulo 3M	105
Figura 60: amarrações de parede em I, L, T e X da família $15 \times 15 \times 30$	106
Figura 61: amarrações de parede em I, L, T e X da família $15 \times 30 \times 30$	107
Figura 62: amarrações de parede em I, L, T e X da família $22,5 \times 15 \times 30$	108
Figura 63: amarrações de parede em I, L, T e X da família $22,5 \times 30 \times 30$	109
Figura 64: amarrações de parede em L, T e X entre as famílias $15 \times 15 \times 30$ cm e $22,5 \times 15 \times 30$ cm	110
Figura 65: amarrações de parede em L, T e X entre as famílias $15 \times 30 \times 30$ cm e $22,5 \times 30 \times 30$ cm	111
Figura 66: amarrações de parede em ângulo da família $15 \times 15 \times 30$	112
Figura 67: amarrações de parede em ângulo da família $15 \times 30 \times 30$	113
Figura 68: amarrações de parede em ângulo da família $22,5 \times 15 \times 30$	114
Figura 69: amarrações de parede em ângulo da família $22,5 \times 30 \times 30$	115

Figura 70: medidas externa (mE), medida de saliência (mS) e medida de abertura (mA) de 1.(3M) à 20.(3M), para M = 10 cm	116
Figura 71: medidas externa (mE), medida de saliência (mS) e medida de abertura (mA)	117
Figura 72: paginação da primeira fiada do pavimento tipo de um projeto de edifício multifamiliar adaptado de um projeto arquitetônico de um edifício em concreto armado para um projeto em alvenaria estrutural	118
Figura 73: planta baixa do pavimento tipo do projeto piloto, segundo o quadriculado multimodular de referência 3M, com base no projeto da figura 97	119
Figura 74: paginação da primeira fiada do pavimento tipo do projeto piloto com as unidades de alvenaria estrutural propostas	120
Figura 75: formatos especiais das unidades: unidades de forma com canto arredondado, para ângulos, para curvas, com terminação curva, de ajuste, acústica e para batente de portas e janelas	138
Figura 76: formatos especiais das unidades: unidades em U, para verga, em L, para persiana, com duto e vazada	139
Figura 77: facilidades desenvolvidas para facilitar o trabalho com unidades maiores	141
Figura 78: exemplo de medidas para a racionalização do processo construtivo em alvenaria estrutural	141
Figura 79: diferença de preço (Euros) entre esquadrias de dimensões modulares padronizadas, modulares e sob medida de uma indústria de esquadrias da Alemanha	145
Figura 80: regra de transpasse (t ou T) para contrafiamento da alvenaria	147
Figura 81: ilustração das regras de transpasse para contrafiamento da alvenaria	147
Figura 82: unidade externa com encaixe macho-fêmea e equipamento utilizado para cortar as unidades.....	148
Figura 83: unidade cortada para preencher o espaço que faltava e completar a medida da parede em 1 cm	149
Figura 84: execução da parede divisória entre as residências com unidade especial para isolamento acústico	149
Figura 85: formatos especiais identificados na obra	150
Figura 86: gravatas para amarração entre paredes internas e externas	150
Figura 87: formatos de unidades cerâmicas identificados na edificação modelo	151
Figura 88: unidade para verga	151
Figura 89: unidade para embutir persiana	151
Figura 90: unidade para embutir a fita da persiana	152
Figura 91: instalações elétricas aparentes	152
Figura 92: implantação e imagens dos edifícios do conjunto habitacional	153
Figura 93: imagens das casas em fita do conjunto habitacional	153
Figura 94: assentamento das unidades de grande dimensão com auxílio de uma grua pequena	153
Figura 95: espessura da junta e carrinho dosador	154
Figura 96: equipamento utilizado para cortar as unidades e unidade em forma de verga	154
Figura 97: execução do projeto de paginação	155
Figura 98: projeto de paginação da parede	155
Figura 99: rasgos nas paredes para embutir a instalação elétrica	156
Figura 100: recomendação do fabricante para embutir instalações elétricas	156
Figura 101: <i>shafts</i> hidráulicos do banheiro e da cozinha	156
Figura 102: desenhos da parede 1	158
Figura 103: especificação das paredes analisadas	161

ABREVIATURAS

A: altura
C: comprimento
c: calor específico
DF: *Dünnformat*
FCS: fator de calor solar
h: altura
h_{ef}: altura efetiva
h x h: homem x hora
L: largura
M: módulo
mA: medida de abertura
mE: medida externa
mM: medida modular
mP: medida de projeto
mS: medida de saliência
Mz: *Mauerziegel*
n: número positivo inteiro qualquer
NF: *Normalformat*
PT: perda de transmissão sonora
R: índice de redução acústica
T ou t: transpasse
t: espessura
t_{ef}: espessura efetiva
U: transmitância térmica
UB: unidade básica
UG: unidade grande
λ: índice de esbeltez
λ: condutividade térmica
ρ: densidade de massa aparente
φ: atraso térmico

SIGLAS

ABCP: Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANICER: Associação Nacional da Indústria Cerâmica
ANTAC: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
ASHRAE:
BIA: *Brick Institute of America*
BIPM: *Bureau* Internacional de Pesos e Medidas
BNH: Banco Nacional da Habitação
BSI: *British Standards Institution*
BS: *British Standard*
CEI: Centro de Estatística e Informações
CGPM: Conferência Geral de Pesos e Medidas
DDR: *Deutsche Demokratische Republik*
DEMHAB: Departamento Municipal de Habitação
DIN: *Deutsches Institut für Normung*
DGfM: *Deutsche Gesellschaft für Mauerwerksbau*
EUROCODE: *Building codes for Europe*
FAUUSP: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo
FJP: Fundação João Pinheiro
IDEG: Instituto de Desenvolvimento Econômico e Gerencial
IQN: *International Quality Network*
INMETRO: Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
IPT: Instituto de Pesquisas Tecnológicas
ISO: *International Organisation for Standardization*
NBR: Norma Brasileira
PPGEC: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
SI: Sistema Internacional de Unidades
UNISINOS: Universidade do Vale do Rio dos Sinos
UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFSC: Universidade Federal de Santa Catarina

1 INTRODUÇÃO

Uma das expressões da questão social preocupante para países em desenvolvimento é o déficit habitacional. O desafio de suprir esta demanda, que em 2000 era superior a 6,5 milhões de habitações (FJP/CEI, 2001), requer da indústria da construção civil a habilidade para maximizar a construtibilidade e minimizar o tempo e o custo de execução, sem deixar de garantir o desempenho desejável à edificação. Esse esperado aumento de eficiência dos processos de produção tem sido impulsionado, também, pelas novas tendências do mercado, como o aumento da competitividade e a maior exigência dos consumidores. Uma importante consequência deste conjunto de fatores é o aumento da preocupação com a qualidade da habitação por parte dos clientes desse setor.

Assim, para levar à indústria da construção as mesmas vantagens que os processos industrializados apresentam nos demais setores industriais, é necessário um sistema capaz de ordenar a construção, desde o projeto e fabricação dos componentes, até a execução da obra. Nesse sentido, a coordenação modular, que tem como objetivo a racionalização do processo construtivo mediante a melhoria da qualidade, o aumento da produtividade e a redução dos custos de produção, é uma alternativa a ser considerada.

No Brasil, nos anos 70, foram realizados diversos estudos sobre a normatização e racionalização da construção como por exemplo: ROSSO, 1976; BNH/IDEG, 1976; ABNT, 1977; etc. Alguns desses estudos destacavam, como ferramenta importante para a racionalização, a implementação da coordenação modular na construção. Porém, a partir dos anos 80, tais pesquisas foram abandonadas, criando um vazio que contribuiu para a dificuldade de aceleração da implantação do conceito de qualidade na construção civil.

O primeiro passo para a coordenação das dimensões consiste no emprego de componentes industrializados e na transformação da construção num processo de montagem das partes da edificação tal, que dispense a atividade de preparação dos componentes. Mas, para essa componentização, é necessário que as partes da construção estejam corretamente dimensionadas e padronizadas de modo a haver uma compatibilização das medidas de todos os componentes com as medidas do projeto.

Desse modo, foi escolhido como tema de pesquisa a padronização das unidades de alvenaria¹ por ser esse o componente básico não apenas para habitações de interesse social como para as mais diversas tipologias de construção. Essa estratégia permite um expressivo impacto tecnológico, pois incentiva a padronização dos demais componentes de construção. Dentre os diversos processos construtivos que utilizam a unidade de alvenaria, o estudo teve como foco a alvenaria estrutural. Essa escolha se deve à importância que a unidade de alvenaria padronizada representa para a efetiva racionalização construtiva que esse processo se propõe.

A alvenaria estrutural deve ser entendida como uma estrutura em alvenaria dimensionada por cálculo racional. A principal característica desse processo construtivo é a utilização das paredes da habitação para resistirem às cargas, em substituição a pilares e vigas utilizados nos sistemas em concreto armado, aço ou madeira. Dessa forma, as paredes têm concomitantemente a função estrutural e a função de vedação. Essa multifuncionalidade dá origem a facilidades construtivas como: técnica de execução simplificada, menor diversidade de materiais empregados e eliminação de interferências no cronograma executivo entre os sub-sistemas.

O desenvolvimento de projetos em alvenaria estrutural exige procedimentos diferentes dos tomados ao conceber projetos com outros processos construtivos. O arranjo arquitetônico deve estar em conformidade com o sistema estrutural, sendo necessária uma intensa integração entre os projetistas de arquitetura e de estrutura, de forma a garantir o equilíbrio funcional e técnico necessários ao projeto da edificação. É o projeto arquitetônico que estabelece o partido geral do edifício, e assim condiciona o desenvolvimento de todos os demais projetos.

De um modo geral, a etapa de projeto tem sido identificada como uma das grandes responsáveis por problemas ocorridos durante e após o término da obra (OHASHI, 2001). Atualmente, é comum encontrar projetos em alvenaria estrutural com baixo nível de detalhamento e de coerência entre suas partes. Procedimentos incorretos em relação ao desenvolvimento de projetos arquitetônicos são observados quando, por exemplo, se procura adaptar um projeto, desenvolvido para estrutura em concreto, a outro em alvenaria estrutural. Dentre os problemas identificados para a baixa qualidade dos projetos em alvenaria estrutural os mais evidentes são:

- a) o arquiteto geralmente não recebe a informação sobre o processo construtivo a ser utilizado para lançar o partido, precisando adaptar o projeto inicial (MACHADO, 1999);

¹ Entende-se por unidade de alvenaria tanto as unidades menores, ou tijolos, como as unidades maiores, ou blocos.

- b) os projetistas desconhecem os requisitos técnicos porque na sua formação não existe uma base que dê respaldo para este conhecimento específico (CARVALHO, 2000);
- c) a maioria dos elementos utilizados nesse processo construtivo não é coordenada modularmente e necessita de rigorosa padronização (ANDRADE, 2000).

Este último ponto engloba o foco deste estudo, ou seja, a falta de padronização das unidades de alvenaria estrutural no Brasil. Esse problema ocasiona perdas não somente no seu uso, mas também na compatibilização desses componentes com os demais. Destaca-se nesse momento uma das principais vantagens da padronização, a intercambiabilidade, que além de reduzir custos, agrega valor às unidades. Para a indústria, a otimização e a padronização do tamanho dos componentes podem gerar uma melhoria da produção, mediante o aperfeiçoamento tecnológico. Com essa melhoria é possível incrementar a qualidade da unidade de alvenaria e, conseqüentemente, torná-la mais competitiva.

A unidade de alvenaria tem formato paralelepipedal e é definida por três dimensões: largura (L), altura (A) e comprimento (C). No Brasil, atualmente, não existe uma norma geral para padronizar as dimensões das unidades de alvenaria. As normas que existem são específicas para cada material, e, na maioria dos casos, permitem que cada fabricante produza as unidades na dimensão que lhe convém. Uma das decorrências desse fato é, por exemplo, a dificuldade da troca de fornecedor no decorrer de uma obra.

Assim, o objetivo desse estudo é sugerir à indústria brasileira uma série de medidas preferidas² para a padronização das unidades de alvenaria. Para a melhor compreensão, foram utilizadas dimensões modulares, que são a medida de projeto da unidade mais o tamanho da junta (ajuste modular). Assim, foram considerados os parâmetros de coordenação modular, de estabilidade estrutural, de normatização, bem como a experiência de outros países. O sistema modular adotado para a definição das dimensões das unidades de alvenaria, desde a unidade mais simples, o tijolo, até as unidades maiores, foi o decimétrico. A aplicação do sistema modular foi orientada por estudo desenvolvido na Alemanha, um dos países onde a coordenação modular é largamente utilizada. Finalmente, foi proposta uma regra de projeto que faz uso da coordenação modular e que leva a racionalização aos processos de projeto e construção sem que haja a restrição da liberdade criativa do arquiteto.

² Medidas preferidas: aquelas que foram escolhidas dentro de uma série modular de medidas a fim de reduzir a variedade dimensional das unidades de alvenaria.

2 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta o delineamento da pesquisa e da metodologia utilizada para alcançar os objetivos propostos.

2.1 OBJETIVO PRINCIPAL

O objetivo principal da pesquisa é a elaboração de sugestão à indústria brasileira de uma série de medidas preferidas para a padronização das dimensões de unidades de alvenaria estrutural no Brasil, apresentando os possíveis arranjos de paredes e elaborando um projeto piloto coordenado modularmente.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos da pesquisa são:

- a) síntese dos conceitos de alvenaria estrutural e coordenação modular;
- b) análise da concordância entre normas da ABNT para a definição das dimensões das unidades de alvenaria e as sobre coordenação modular;
- c) detalhamento do sistema modular a ser utilizado a partir do estudo dos sistemas métrico (decimétrico e octamétrico) e sua relação com o sistema pé-polegada;
- d) visita técnica à Alemanha como exemplo na experiência do uso da coordenação modular para o processo de alvenaria estrutural e identificação da padronização das unidades de alvenaria daquele País;
- e) estudo das dimensões máximas e mínimas para as unidades de alvenaria de acordo com requisitos técnicos e funcionais.

2.3 PRESSUPOSTOS

Os pressupostos adotados para a pesquisa foram os seguintes:

- a) o modelo alemão, baseado no sistema octamétrico, possui dois formatos básicos que dão origem a todos os demais formatos das unidades de alvenaria, sendo facilmente combinados entre si;

- b) a maioria das unidades de alvenaria produzidas no Brasil não atende às normas da Associação Brasileira de Normas e Técnicas - ABNT com relação às dimensões.

2.4 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Constituem-se limitações desta pesquisa que as sugestões de medidas preferidas destinam-se:

- a) às unidades de alvenaria utilizadas para função estrutural;
b) aos formatos das unidades de alvenaria, independentemente de seu material constituinte.

2.5 ETAPAS DA PESQUISA

O desenho da pesquisa é apresentado na figura 1 e será detalhado nos itens seguintes.

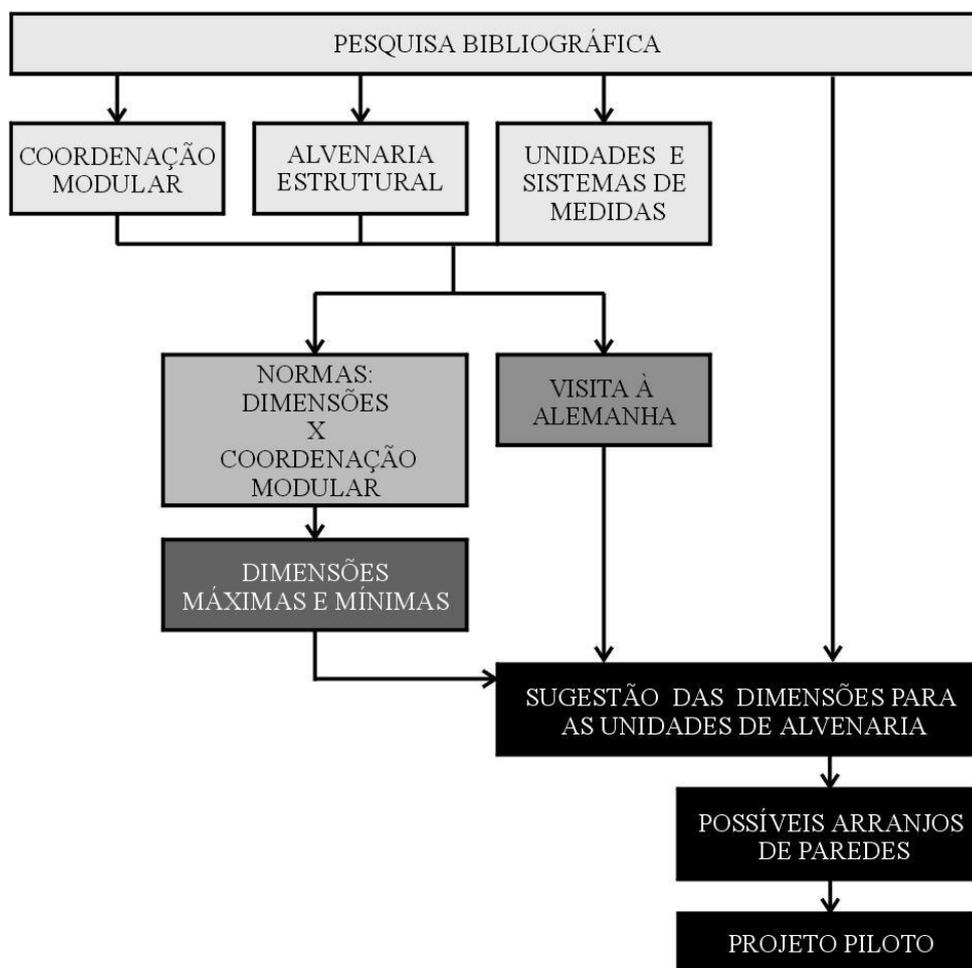


Figura 1: desenho da pesquisa

2.5.1 Pesquisa bibliográfica

Para que fosse possível sugerir dimensões para unidades de alvenaria no Brasil foi feita uma pesquisa bibliográfica focada nos temas que envolvem a padronização desses componentes. Essa pesquisa foi uma das etapas mais importantes do trabalho porque nela foram consolidados os aspectos investigados para alcançar o objetivo proposto. A pesquisa bibliográfica esteve presente do início ao fim do trabalho e foi baseada em literatura científica sobre o tema. Nos itens abaixo são destacados os principais tópicos pesquisados.

2.5.1.1 Estudo da teoria da coordenação modular

A teoria da coordenação modular foi utilizada como base para a definição das dimensões das unidades de alvenaria. Esse estudo verificou os conceitos básicos e sua aplicação para a padronização de componentes construtivos.

2.5.1.2 Estudo do processo em alvenaria estrutural

O estudo do processo construtivo em alvenaria estrutural possibilitou melhor compreensão para o uso da teoria da coordenação modular. A sugestão das dimensões para as unidades de alvenaria obedeceu aos critérios estabelecidos por este processo construtivo.

2.5.1.3 Estudo dos sistemas modulares e identificação das unidades de alvenaria

O detalhamento do sistema modular utilizado foi feito a partir do estudo dos sistemas métrico (octamétrico e decimétrico) e sua relação com o sistema pé-polegada. Complementando essa análise foram estudadas as normas internacionais e a prática adotada com relação à dimensão das unidades de alvenaria.

2.5.2 Comparação entre normas da ABNT para a definição das dimensões das unidades de alvenaria e as sobre coordenação modular

Logo após as atividades acima descritas foi analisada a concordância entre as normas da ABNT sobre coordenação modular e as que indicam dimensões recomendadas para as unidades de alvenaria. Essa análise serviu como base para sugestão de dimensões padronizadas para as unidades de alvenaria.

2.5.3 Visita técnica à Alemanha

Foi realizada uma viagem de estudos à Alemanha para identificar a experiência daquele País no uso da coordenação modular para o processo de alvenaria estrutural. Foram feitas visitas a obras, feiras de construção e a indústrias responsáveis pela produção de unidades de alvenaria. Além disso, foram realizadas entrevistas, levantamentos bibliográficos e cursos com especialistas da área sobre o uso da coordenação modular na alvenaria estrutural naquele País.

2.5.4 Determinação das dimensões máximas e mínimas das unidades de alvenaria

Com base nos estudos para alvenaria estrutural e a teoria da coordenação modular foram estudadas as dimensões máximas e mínimas das unidades de alvenaria. Para a determinação dessas dimensões foi feito um estudo dos aspectos condicionantes para as dimensões das unidades de alvenaria estrutural. Foram analisados parâmetros que pudessem indicar recomendações para as dimensões dessas unidades.

2.5.5 Sugestão das dimensões a serem padronizadas

Tomando como suporte todos os estudos e análises realizados até essa fase da pesquisa foram selecionadas dimensões para as unidades de alvenaria a serem padronizadas. Para demonstração da aplicação das dimensões definidas foi feita a análise dos possíveis arranjos de paredes e a elaboração do projeto piloto. Esses itens são detalhados a seguir.

2.5.5.1 Análise dos possíveis arranjos de paredes

A partir da seleção das unidades de alvenaria padronizadas foram produzidas amostras em madeira em escala reduzida (1:5). Essas amostras foram utilizadas para o estudo tridimensional das combinações entre os diversos formatos das unidades de alvenaria e os possíveis arranjos de paredes.

2.5.5.2 Elaboração do projeto piloto

Finalmente, utilizando uma regra de projeto baseada na teoria da coordenação modular e que pode ser aplicada às dimensões das unidades de alvenaria propostas, foi elaborado um projeto piloto. Esse projeto permitiu verificar o uso das unidades de alvenaria padronizadas dentro dos conceitos da teoria da coordenação modular.

3 APLICAÇÃO DA TEORIA DA COORDENAÇÃO MODULAR NA ALVENARIA ESTRUTURAL

A teoria da coordenação modular é um tema bastante amplo e poderia em si só ser objeto de uma pesquisa. Este trabalho não tem como objetivo focar esse assunto detalhadamente, mas traçar em linhas gerais os seus princípios fundamentais para que possam ser utilizados como ferramenta para o objeto desse estudo, a padronização das unidades de alvenaria estrutural.

A alvenaria estrutural deve ser entendida como uma estrutura de alvenaria dimensionada por cálculo racional (SABBATINI, 1984). O processo construtivo em alvenaria estrutural apresenta como principais benefícios a redução de custos de construção e a facilidade de execução. A dupla função da alvenaria (estrutural e de vedação) tem como consequência a diminuição de especialidades de mão-de-obra e a redução de tipos de componentes. Dessa forma, a facilidade com que se implanta a coordenação modular nos edifícios em alvenaria estrutural é um dos principais motivos que tornam o processo favorável à implantação de medidas de racionalização (FRANCO, 1992).

Atualmente, em especial no Brasil, a alvenaria estrutural utiliza conceitos relativos à coordenação dimensional, que, segundo Baldauf (2004), muitas vezes é confundida com a própria coordenação modular. Essa coordenação dimensional também é chamada de modulação da alvenaria e tem como base as dimensões das unidades de alvenaria. Roman et al. (1999) ressaltam que a utilização da modulação é um dos fundamentos do projeto arquitetônico em alvenaria estrutural. Segundo os mesmos autores, o arquiteto desde os primeiros traços deve trabalhar sobre uma malha modular.

O uso da coordenação modular tem reflexos em praticamente todas as fases do empreendimento em alvenaria estrutural. Por um lado permite a introdução de procedimentos padronizados na execução e aumenta a precisão com que se produz a obra, facilitando a introdução de técnicas que exigem maior precisão. Por outro lado, agiliza a execução do projeto, já que possibilita a criação de métodos de execução e a padronização de detalhes (FRANCO, 1992). No entanto, a coordenação modular só pode ser alcançada se as unidades de alvenaria forem padronizadas (ROMAN et al. , 1999).

Assim, a padronização dos componentes da construção, resultante de um trabalho de normatização, irá apresentar as vantagens de uma execução industrializada (BNH/IDEG, 1976). Nesse sentido, Baldauf (2004) afirma que a normatização das unidades de alvenaria é uma boa forma de implantar princípios de coordenação modular, pois esses componentes são

bastante utilizados em todo o país e de certa forma exigem que o projeto seja mais bem estudado e detalhado.

Desse modo, a coordenação modular, pode ser utilizada para seleção de dimensões padronizadas para as unidades de alvenaria, capazes de permitir a adequação do projeto a uma gama de produtos industrializados e vice-versa. Segundo Franco (1992), a escolha da base modular é um assunto importante, que ainda não mereceu por parte do setor da construção a atenção devida.

3.1 DEFINIÇÕES

Para melhor entendimento da teoria da coordenação modular primeiramente serão definidos os termos: coordenação dimensional, módulo e coordenação modular.

3.1.1 Coordenação dimensional

Tomando-se como base a definição ampla e genérica apresentada por Andrade (2000), a coordenação dimensional pode ser entendida como o emprego de padrões de dimensão com o objetivo de criar boas relações de escala e proporção entre as partes da edificação. Nesse mesmo sentido, o termo utilizado na língua alemã para coordenação dimensional, *Massordnung*, enfatiza essa definição, pois significa a ordenação através da medida, escala ou proporção.

Segundo Nissen (1976), todo projeto necessita de uma coordenação dimensional. Comprimentos, superfícies e volumes devem ser dimensionados através de sua estrita relação. Mas para que essa relação não seja individual e particular, é necessário o uso de uma unidade referencial de dimensão, o módulo. Assim, segundo Caporioni et al. (1971), quando a coordenação dimensional é obtida mediante o módulo passa a ser chamada de coordenação modular.

3.1.2 Módulo

O termo módulo, do latim *modulus*, significa pequena medida (CAPORIONI et al. , 1971). O módulo é a unidade básica de medida para a coordenação dimensional dos componentes e das partes da construção (ANDRADE, 2000). A ISO 1791 – Construção civil: coordenação modular: vocabulário (ISO, 1983c) define o módulo como uma unidade de medida usada como incremento na coordenação dimensional. No Brasil, a NBR 5706 - Coordenação

modular na construção (ABNT, 1977) define como módulo a distância entre dois planos consecutivos do sistema que origina o reticulado espacial modular de referência.

Segundo a Agência Européia para a Produtividade (1962 apud BALDAUF, 2004), o módulo desempenha três funções essenciais:

- a) denominador comum de todas as medidas ordenadas;
- b) incremento unitário de toda e qualquer dimensão modular a fim de que a soma ou a diferença de duas dimensões modulares também seja modular;
- c) fator numérico, expresso em unidades do sistema de medida adotado ou a razão de uma progressão.

3.1.3 Coordenação modular

Conforme foi visto anteriormente, a coordenação modular é um nome particular dado à coordenação dimensional da edificação quando esta se obtém utilizando o módulo (CAPORIONI et al. , 1971). Para reforçar essa definição, o termo utilizado na língua alemã para coordenação modular é *Modulordnung* e tem como significado a ordenação através do módulo.

Segundo a NBR 5731 – Coordenação modular na construção (ABNT, 1982j) a coordenação modular é uma técnica que permite relacionar as medidas de projeto com as medidas modulares por meio de um reticulado espacial modular de referência. Rosso (1976), no entanto, é contrário a essa definição, pois acredita que a coordenação modular deve ser uma metodologia sistemática de industrialização e não apenas uma técnica ou um instrumento de projeto. No entanto, uma definição mais atual e abrangente é feita por Greven (2000), onde a coordenação modular é definida como a ordenação dos espaços na construção civil.

3.2 A COORDENAÇÃO MODULAR E A ARQUITETURA

Segundo Duarte (1999), aspectos de coordenação modular devem reger qualquer projeto, tanto para ordenar os elementos de uma forma coerente quanto para garantir proporções espaciais harmoniosas. Ao longo da história da arquitetura, existiram regras para definir, organizar e estruturar o espaço. Tais regras, conforme Ching (1998), continuam tendo o mesmo valor para o arquiteto. Prova disto são as diversas teorias de proporções desejáveis desenvolvidas no decorrer da história, como por exemplo: a Secção Áurea, as Ordens Clássicas e Renascentistas, o *Modulor*, o Ken, a Antropométrica, entre outros (figura 2).

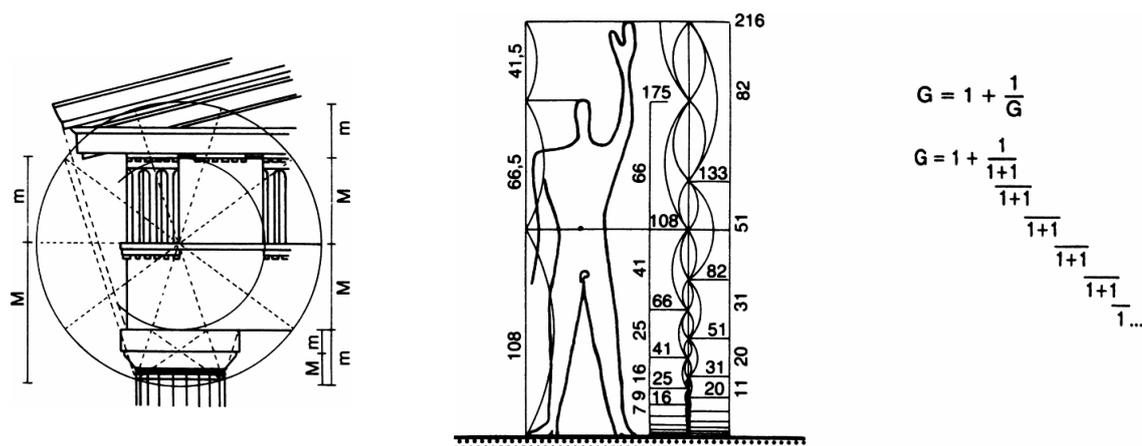


Figura 2: proporção de um ângulo do frontão de um templo dórico, baseado na relação harmônica e *Modulor* de Le Corbusier (NEUFERT, 2000)

Nesse sentido, é importante considerar alguns aspectos formais que contribuem para a qualidade estético-compositiva da arquitetura e que podem vir expressos numa produção racionalizada em que seja utilizada a coordenação das dimensões como instrumento de projeto. São eles: o ritmo, a escala e a proporção (ANDRADE, 2000). O ritmo em arquitetura está relacionado, segundo Nissen (1976), aos princípios da repetição. Para Ching (1998), a escala refere-se ao tamanho do objeto, comparado a um padrão de referência, e a proporção refere-se à relação adequada e harmoniosa de uma parte, com a outra e com o todo.

Entretanto, muitos arquitetos ainda hoje têm dúvidas se a padronização dos meios (processos) e não dos fins (produto = edifício) diminui ou não a liberdade criativa. Neste sentido, pode-se indicar que a resposta não está em diminuir ou aumentar, mas no fato de que este é um instrumento definitivamente implantado na contemporaneidade e, é a partir dessa realidade, que se deve buscar formas mais eficientes na produção da arquitetura (ANDRADE, 2000).

Embora, aparentemente seja um contra-senso, a liberdade criativa está necessariamente associada a certos limites (ANDRADE, 2000). Por exemplo, na arquitetura grega, observa-se a presença de uma total coordenação entre as partes da edificação. Acredita-se que a proporção dos elementos das ordens gregas era a expressão da beleza e da harmonia (CHING, 1998).

Da mesma forma, a coordenação modular, enquanto parâmetro de projeto, deve ser avaliada como um instrumento que impõe certos limites na ação criadora, mas que não restringe as possibilidades de criação, nem, tão pouco, uniformiza as edificações (ANDRADE, 2000). A seguir serão traçadas as linhas gerais da teoria da coordenação modular.

3.3 PRINCÍPIOS FUNDAMENTAIS DE COORDENAÇÃO MODULAR

A coordenação modular está baseada em três princípios fundamentais, o sistema de referência, o módulo e o ajuste modular. Segundo Andrade (2000), a função do sistema de referência é a de posicionar cada um dos componentes da construção. O módulo é a unidade básica de medida e o ajuste modular estabelece a união entre os componentes e o sistema de referência.

3.3.1 Sistema de referência

Segundo a NBR 5731 (ABNT, 1982j), o sistema de referência é formado por pontos, linhas e planos aos quais devem estar relacionadas às medidas de posição dos componentes de construção. Portanto, segundo Baldauf (2004), através do sistema de referência que é determinada a posição e a medida de cada componente da construção.

O sistema de referência é formado por sistema de planos paralelos a três planos ortogonais, dois a dois. Esses planos definem o triedro axonométrico (figura 3), segundo o qual se delimita a posição de cada ponto no espaço, a partir de suas projeções em tais planos (ANDRADE, 2000).

A partir do sistema de referência podem ser definidas malhas bi e tridimensionais que servem de referência para o posicionamento dos componentes da construção. Estas malhas são, respectivamente, o reticulado modular espacial de referência e o quadriculado modular de referência.

3.3.1.1 Reticulado modular espacial de referência

Segundo a NBR 5731 (ABNT, 1982j), o reticulado modular espacial de referência (figura 3) é constituído pelas linhas de interseção de um sistema de planos, separados entre si por uma distância igual ao módulo e, paralelos a três planos ortogonais dois a dois. É, segundo Lucini (2001), um reticulado tridimensional que configura uma malha espacial baseada no módulo.

3.3.1.2 Quadriculado modular de referência

Segundo a NBR 5706 (ABNT, 1977), o quadriculado modular de referência (figura 3) é a projeção ortogonal do reticulado espacial de referência sobre um plano paralelo a um dos três planos ortogonais. Na NBR 5731 (ABNT, 1982j), o espaçamento entre linhas do reticulado é definido como igual a um módulo. A função do quadriculado modular de referência, segundo

Andrade (2000) é de fazer a representação gráfica do projeto por meio da sua projeção em duas dimensões.

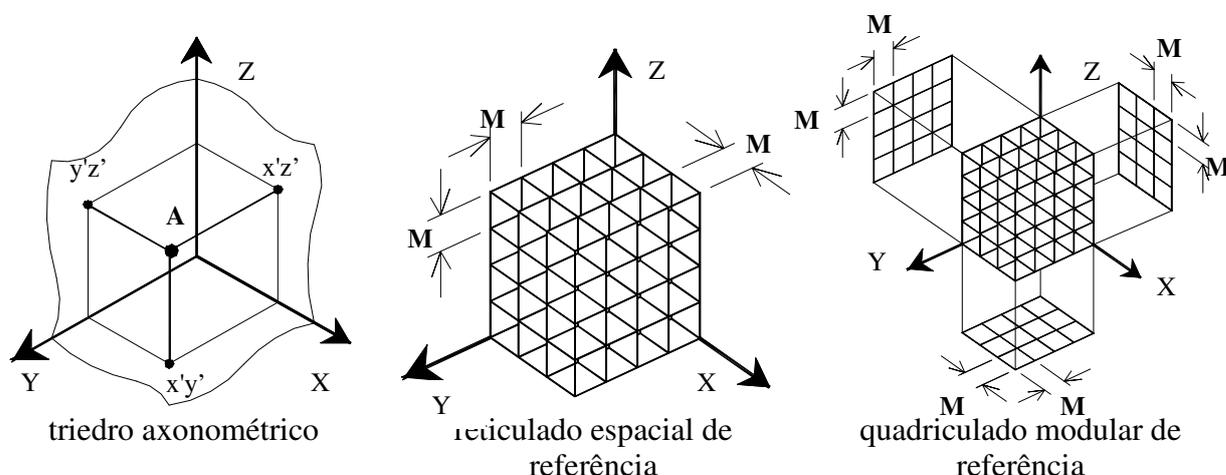


Figura 3: triedro axonométrico, reticulado espacial de referência e quadriculado modular de referência (baseado em ANDRADE, 2000)

3.3.2 Módulo

Conforme visto anteriormente, a NBR 5706 (ABNT, 1977) define o módulo como a distância entre dois planos consecutivos do sistema que origina o reticulado espacial modular de referência. Esta distância, segundo a mesma norma, é de 10 cm. O módulo, segundo Andrade (2000) caracteriza-se por uma unidade de medida empregada como dimensão-base dos componentes da construção, auxiliando o projeto, a produção do edifício e de suas partes. A representação do módulo é feita pela letra **M**. Para o entendimento sobre módulo faz-se necessário conceituar: medida modular, medida de projeto e medida real.

3.3.2.1 Medida modular

Segundo a NBR 5731 (ABNT, 1982j), a medida modular (figura 4) é a medida igual ao módulo ou a um múltiplo inteiro do módulo. A expressão da medida modular na NBR 5706 (ABNT, 1977) é dada por: $mM = n.M$, onde, mM é a medida modular, n é um número positivo inteiro qualquer e M é o módulo.

3.3.2.2 Medida de projeto

A NBR 5706 (ABNT, 1977) define medida de projeto (figura 4) como sendo a medida que se determina no projeto para qualquer componente da construção. A medida de projeto é, portanto, a medida equivalente ao espaço ocupado pelo componente, ou seja, a medida do

componente no projeto (ANDRADE, 2000). De acordo com Lucini (2001), a medida de projeto é a usada tanto no projeto como na produção de um componente.

3.3.2.3 Medida real

Segundo a NBR 5731 (ABNT, 1982j), a medida real é a que se obtém ao medir qualquer componente de construção. A medida real pode ser maior ou menor que a medida de projeto. A diferença entre a medida real e a medida de projeto é denominada desvio de medida (figura 8).

3.3.3 Ajuste modular

Segundo a NBR 5706 (ABNT, 1977), o ajuste modular é definido como a medida que relaciona a medida de projeto com a medida modular (figura 4). Ou seja, nas uniões entre componentes modulares, semelhantes ou não, necessariamente irá existir uma diferença entre a medida do projeto e a medida modular. Tal diferença, do ponto de vista teórico, é o ajuste modular (ANDRADE, 2000).

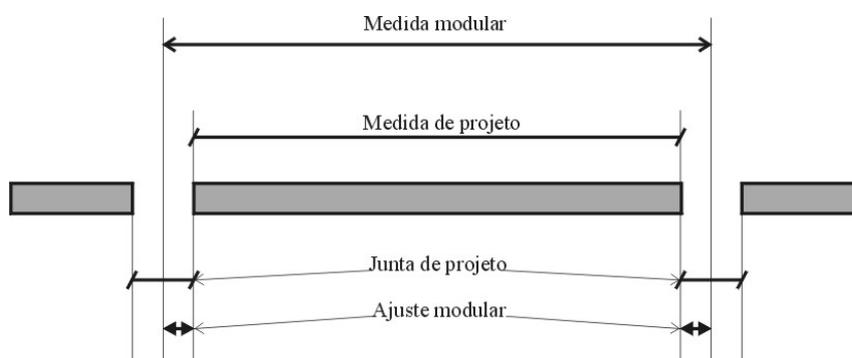


Figura 4: relação entre medida modular, medida de projeto, ajuste modular e junta modular

A NBR 5706 (ABNT, 1977) expressa que a união estabelecida com o ajuste modular é dada por: $\text{ajuste modular} = n.M - mP$, onde, $n.M$ é a medida modular e mP é a medida de projeto. De acordo com a posição dos componentes, em relação ao reticulado espacial de referência, o ajuste pode ser positivo, negativo ou nulo.

3.3.3.1 Ajuste positivo

Segundo a NBR 5706 (ABNT, 1977), o ajuste modular é positivo (figura 5) quando o espaço modular não é ocupado totalmente, ou, segundo a NBR 5725 – Ajustes modulares e tolerâncias (ABNT, 1982g), quando a medida de projeto é menor ou igual ao espaço modular.

Um exemplo é a esquadria, cuja medida de projeto é menor que o espaço modular que o componente irá ocupar.

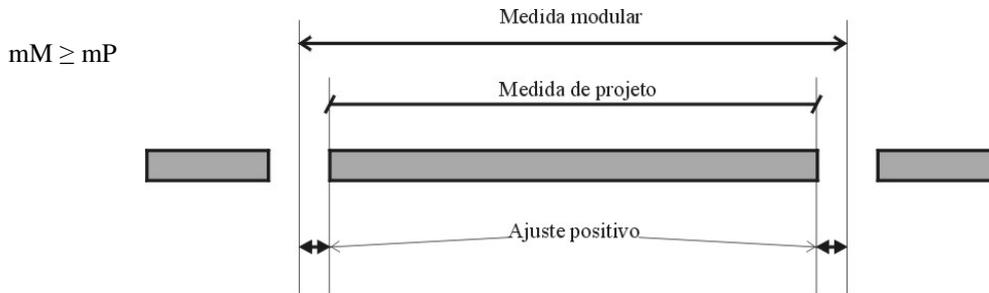


Figura 5: ajuste positivo

3.3.3.2 Ajuste negativo

Segundo a NBR 5706 (ABNT, 1977), o ajuste modular é negativo (figura 6) quando o espaço modular é excedido, ou, segundo a NBR 5725 (ABNT, 1982g), quando a medida de projeto é maior que o espaço modular. Conforme ocorre em painéis de encaixe por superposição tipo macho-fêmea.

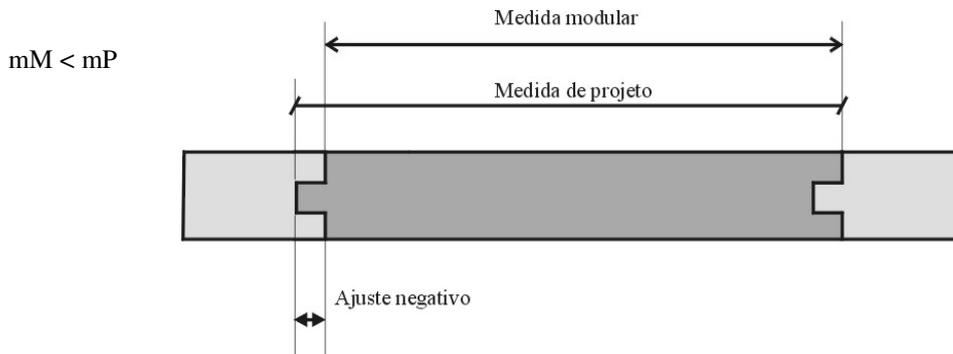


Figura 6: ajuste negativo

3.3.3.3 Ajuste nulo

Segundo a NBR 5706 (ABNT, 1977), o ajuste modular é nulo (figura 7) quando há coincidência com o espaço modular, ou, segundo a NBR 5725 (ABNT, 1982g), quando dois componentes estiverem com as suas faces adjacentes encontrando-se topo a topo. Exemplo disto são as placas de revestimento com ajuste topo a topo.

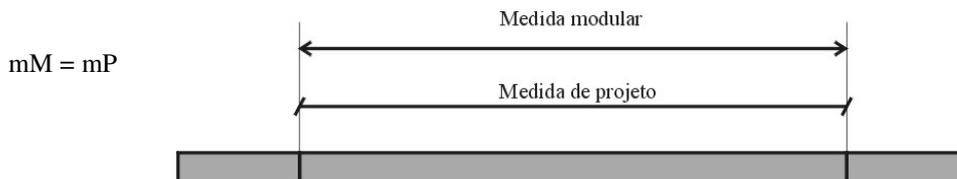


Figura 7: ajuste nulo

3.4 COMPONENTE MODULAR

Além dos princípios básicos da coordenação modular vistos anteriormente, para melhor entendimento dos componentes modulares, serão definidos a seguir outros elementos da coordenação modular.

3.4.1 Tolerância

As tolerâncias (figura 8) são valores que definem os erros admissíveis das dimensões e/ou das formas em relação às dimensões e às formas teóricas adotadas (LEWICKI, 1968).

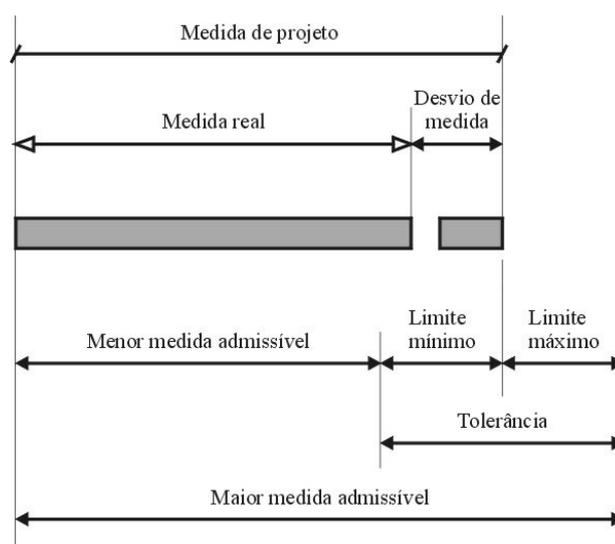


Figura 8: variações de medida do componente modular adaptado da DIN 18201 – tolerâncias na construção civil: terminologia, princípios, aplicações e testes (baseado em DIN, 1997b)

De acordo com a soma ou diminuição do valor da tolerância é possível estabelecer um limite admissível máximo ou mínimo (figura 8) para as medidas dos componentes. Segundo a NBR 5725 (ABNT, 1982g) o limite:

- a) máximo é a diferença por excesso, admissível, entre a medida de projeto e a medida real do componente;
- b) mínimo é a diferença por falta, admissível, entre a medida de projeto e a medida real do componente.

As tolerâncias devem contemplar o posicionamento e a trabalhabilidade dos componentes em relação ao reticulado modular espacial de referência. Assim, pode-se definir dois tipos de tolerância : de fabricação e de posição (ANDRADE, 2000).

3.4.1.1 Tolerância de fabricação

As tolerâncias de fabricação resultam do próprio processo de fabricação e de imperfeições que dele decorrem, devendo seus limites admissíveis, para mais e para menos, serem estabelecidos previamente (BNH/IDEG, 1976). Andrade (2000) apresenta três tipos diferentes de tolerância:

- a) dimensional: relacionada à dimensão e à superfície dos componentes;
- b) de forma: relacionada à variação na forma dos componentes;
- c) de esquadro: quando há deformação no esquadro dos componentes.

3.4.1.2 Tolerância de posição

A tolerância de posição é definida por Lewicki (1968) como sendo o erro, enquanto desvio, máximo de posição admissível na disposição dos componentes, a partir das normas ou especificações. Podendo apresentar-se segundo a verticalidade, a locação e a colocação (ANDRADE, 2000).

3.4.2 Junta

A junta consiste num sistema destinado a unir componentes que assegura a continuidade física dos mesmos, como meio de proteção contra as intempéries, estanqueidade à água e ao ar e isolamento térmico e acústico. As juntas são geralmente constituídas por materiais moldáveis, como, por exemplo, massas, colas, argamassas. (ANDRADE, 2000). São as juntas que irão incorporar as tolerâncias dos componentes e permitir sua perfeita ligação. As juntas podem ser de projeto ou real.

3.4.2.1 Junta de projeto

Segundo a NBR 5731 (ABNT, 1982j), junta de projeto (figura 9) é a distância prevista no projeto entre os extremos adjacentes de dois componentes da construção.

3.4.2.2 Junta real

Segundo a NBR 5731 (ABNT, 1982j), junta real (figura 9) é a distância real entre os extremos adjacentes de dois componentes da construção.

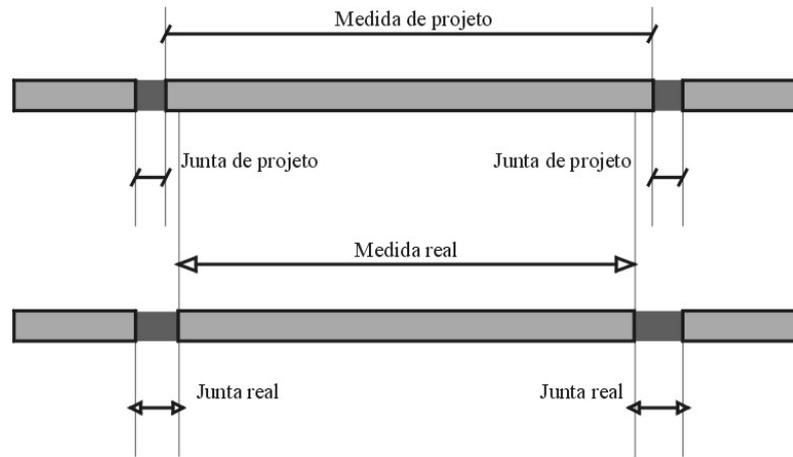


Figura 9: junta de projeto e junta real

3.4.3 Série modular de medidas

O uso de um sistema modular de medidas realiza naturalmente uma seleção de medidas. Entretanto, outros instrumentos de seleção são necessários para otimizar o tipo e o número de formatos de cada componente de maneira a reduzir as séries de produção ao mínimo indispensável para atender às exigências de mercado sem perder flexibilidade e atendendo convenientemente aos requisitos econômicos (ROSSO, 1976).

A eleição de uma série de medidas, coordenadas entre si, deriva, conforme Caporioni et al. (1971), de operações desmembradas em duas etapas:

- a) seleção de uma sucessão de números (séries numéricas), mediante adequados critérios matemáticos (processo de correlação e simplificação);
- b) transformação desses números selecionados em medidas reais, feitas mediante o emprego do módulo básico.

Entre as séries mais estudadas, destacam-se a série alemã, francesa, italiana, inglesa e o *Modulor* de Le Corbusier.

3.4.3.1 Medidas preferíveis

É conveniente, no processo de coordenação modular, evitar soluções que impliquem numa gama muito grande de medidas, o que pode ser feito por meio da escolha de medidas preferíveis. Segundo a NBR 5726 – Série modular de medidas (ABNT, 1982h), medidas preferíveis são as medidas modulares que, por suas propriedades matemáticas (fatorabilidade, combinabilidade e sua freqüência de uso) foram eleitas para compor a série modular.

3.4.3.2 Série modular

Segundo a NBR 5726 (ABNT, 1982h), série modular é uma série composta pelas medidas preferíveis que permite facilitar a escolha, pela redução, do número de medidas modulares. As séries modulares são séries aritméticas de razão 2 e 3, em função dos multimódulos 2M e 3M. Assim é a série modular de razão:

- a) **2:** 2 – 4 – 6 – 8 – 10 – 12 – 14 – 16 ... ;
- b) **3:** 3 – 6 – 9 – 12 – 15 – 18 – 21

A mesma norma, objetivando maior combinabilidade entre as medidas, afirma que as séries modulares podem ser dispostas em colunas, resultando em séries geométricas de razão 2.

3.4.3.3 Medidas preferidas

Para a maior simplificação, é conveniente selecionar dentre as medidas preferíveis aquelas que irão ser aplicadas, de forma mais adequada, a um caso determinado, como por exemplo, para fixar o tamanho de um certo componente. Estas últimas são denominadas medidas preferidas (ANDRADE, 2000). Segundo a NBR 5726 (ABNT, 1982h), as medidas preferidas são as selecionadas na série modular para serem aplicadas em casos específicos.

3.4.3.4 Série modular específica

Segundo a NBR 5726 (ABNT, 1982h), uma série modular específica é aquela composta pelas medidas preferidas e são determinadas excluindo-se alguns termos da série modular normal, ou ainda, excluindo-se ou adicionando-se colunas à série geométrica de razão 2.

3.5 SISTEMAS DE MEDIDAS

Por muito tempo cada país teve seu próprio sistema de medidas. Essas unidades eram arbitrárias e imprecisas, como por exemplo, as baseadas no corpo humano: palmo, pé, polegada, braça, côvado. A base das medidas, conhecida praticamente em todo mundo antigo era o pé. No entanto, mesmo sendo uma unidade comum a todos, sua dimensão variava de 28 a 32 cm (NEUFERT, 1961).

Muitos foram os esforços para a unificação de pesos e medidas, no entanto, somente em 1799, durante a Revolução Francesa, foi criado o Sistema Métrico Decimal. Este acontecimento pode ser considerado como a primeira etapa que levou ao Sistema Internacional de Unidades (SI) atual (INMETRO, 2003b).

A Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM) composta por países signatários da Convenção do Metro levando em consideração as vantagens de se adotar um sistema prático e único para ser utilizado mundialmente nas relações internacionais, no ensino e no trabalho científico, decidiu basear o Sistema Internacional de Unidades (SI) em sete unidades perfeitamente definidas, consideradas como independentes sob o ponto de vista dimensional: o metro, o quilograma, o segundo, o *ampère*, o *kelvin*, o *mol* e a candela. Essas são as chamadas unidades de base do SI (INMETRO, 2003b).

O processo de formação do SI ocorreu lentamente, tendo sido elaborado pelo *Bureau International de Pesos e Medidas* (BIPM), que ainda hoje tem por missão assegurar a unificação mundial das medidas físicas. O BIPM foi criado pela Convenção do Metro, assinada em Paris em 20 de maio de 1875, por 17 Estados. O BIPM funciona sob a fiscalização exclusiva do Comitê Internacional de Pesos e Medidas, sob autoridade da CGPM. A CGPM é formada por todos os Estados membros da Convenção do Metro e reúne-se, atualmente de quatro em quatro anos (INMETRO, 2003b). Na 1ª CGPM, em 1889, foram sancionados os protótipos internacionais do metro e do quilograma. Na 11ª CGPM, em 1960, o sistema de unidades foi denominado Sistema Internacional de Unidades e na 17ª CGPM, em 1983, foi feita a definição atual do metro.

Atualmente o SI é o sistema de medidas mais utilizado, também conhecido popularmente como sistema métrico. No entanto, países como os Estados Unidos apesar de já terem adotado o sistema métrico enfrentam uma resistência cultural da população que no seu cotidiano continua utilizando o sistema pé-polegada.

3.5.1 Sistema métrico

Em 1799, conforme mencionado anteriormente, numa tentativa de unificar o sistema de medidas, a Academia de Ciências da França criou um sistema de medidas baseado numa constante natural, ou seja, não arbitrária. Assim, foi definido o metro como a décima milionésima parte da quarta parte do meridiano terrestre. Essa definição foi ao longo do tempo aprimorada conforme a evolução científica. Assim, atualmente definiu-se metro como a distância percorrida pela luz no vácuo durante um intervalo de tempo equivalente a $1/299792458$ de um segundo (DIAS, 1998). O sistema métrico também serve como base para dois outros sistemas de medidas, o decimétrico e o octamétrico.

3.5.1.1 Sistema decimétrico

O sistema decimétrico resulta da divisão de um metro em dez partes iguais. O valor internacionalmente padronizado para o módulo básico pela ISO 1006 – Construção civil: coordenação modular: módulo básico (ISO, 1983a) é igual a 10 cm. No Brasil, conforme visto anteriormente, (ABNT, 1977) o módulo básico também tem este valor, ou seja, adota o sistema decimétrico. Na Alemanha a DIN 18000 – Coordenação modular na construção civil (DIN, 1984) também define como módulo básico o decímetro.

3.5.1.2 Sistema octamétrico

O sistema octamétrico surge da divisão do metro em oito partes iguais. O módulo básico do sistema octamétrico é 12,5 cm. Este sistema foi desenvolvido por Ernst Neufert (figura 10), na Alemanha, durante a Segunda Guerra Mundial (BNH/IDEG, 1976).

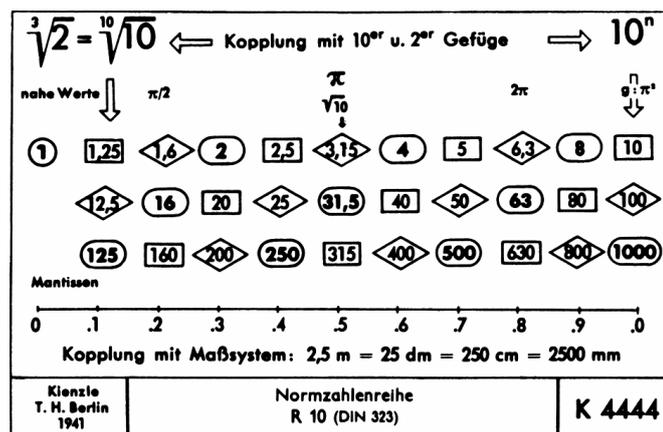


Figura 10: apresentação da série numérica, base do sistema octamétrico (NEUFERT, 2000)

Na Alemanha, a DIN 4172 – Coordenação dimensional na construção civil (DIN, 1955) usa como módulo básico 12,5 cm. No entanto, essa norma ainda não foi adequada a DIN 18000 (DIN, 1984), ou seja, tanto o sistema decimétrico quanto o sistema octamétrico são utilizados naquele País.

3.5.2 Sistema pé-polegada

Antes da independência dos Estados Unidos da América, as unidades usadas eram as mesmas do Sistema Imperial Inglês. Os padrões eram cópias, nem sempre muito fiéis, dos similares ingleses. A unidade para o comprimento do Sistema Imperial Inglês era a jarda imperial. Essa dimensão era definida pela distância entre o nariz do rei e a extremidade de seu polegar (ENCICLOPÉDIA MIRADOR INTERNACIONAL, 1987).

Atualmente, o sistema pé-polegada é adotado em poucos países, sendo o principal destes os Estados Unidos da América. Esse sistema tem como base outros dois sistemas: o Sistema Norte-Americano de Medidas Usuais e o Sistema Imperial Inglês. Os nomes das unidades e suas relações são geralmente os mesmos em ambos sistemas, mas algumas dimensões são diferentes. A unidade básica de comprimento é a jarda e atualmente é definida com base no Sistema Internacional de Unidades, medindo, portanto 0,9144 m (COLUMBIA ENCYCLOPEDIA, 2001). Um pé é um terço da jarda e uma polegada é um doze avos do pé. Assim (HALLIDAY et al., 1991):

- a) 1 jarda = 0,9144 m ou 3 pés;
- b) 1 pé = 0,3048 m ou 12 polegadas;
- c) 1 polegada = 0,0254 m.

3.6 PROJETO MODULAR

Tomando como base o sistema de referência, o projeto modular é feito através do quadriculado modular de referência. Assim, plantas baixas, fachadas e cortes que compõem o projeto se desenvolvem sobre o quadriculado, permitindo coordenar a posição e as dimensões dos componentes de construção. Isso facilita não somente a realização do projeto, simplificando sua representação, mas também a montagem dos componentes na execução da obra, reduzindo a ocorrência de adaptações (BNH/IDEG, 1976).

Segundo a NBR 5729 – Princípios fundamentais para a elaboração de projetos coordenados modularmente (ABNT, 1982i), ao se projetar segundo os princípios da coordenação modular de construção, devem ser estabelecidas medidas preferidas de acordo com a NBR 5726 (ABNT, 1982h), a fim de se poder determinar o quadriculado multimodular de referência.

3.6.1 Quadriculado multimodular de referência

Segundo a NBR 5731 (ABNT, 1982j), o quadriculado multimodular de referência (figura 11) é um quadriculado com espaçamento entre duas linhas igual ao multimódulo. A NBR 5707 - Posição dos componentes da construção em relação à quadrícula modular de referência (ABNT, 1982a) diz que o quadriculado multimodular de referência tem um espaçamento entre suas linhas igual ao multimódulo 2M ou 3M, empregados de forma separada ou conjunta. As suas linhas coincidem com as do quadriculado modular de referência. Caporioni et al. (1971) sugerem a seguinte divisão, a ser utilizada nas diversas fases do projeto, em relação aos

quadriculados (figura 11): modular (componentes, detalhes), de projeto (projeto), estrutural (estrutura) e de obra (locação).

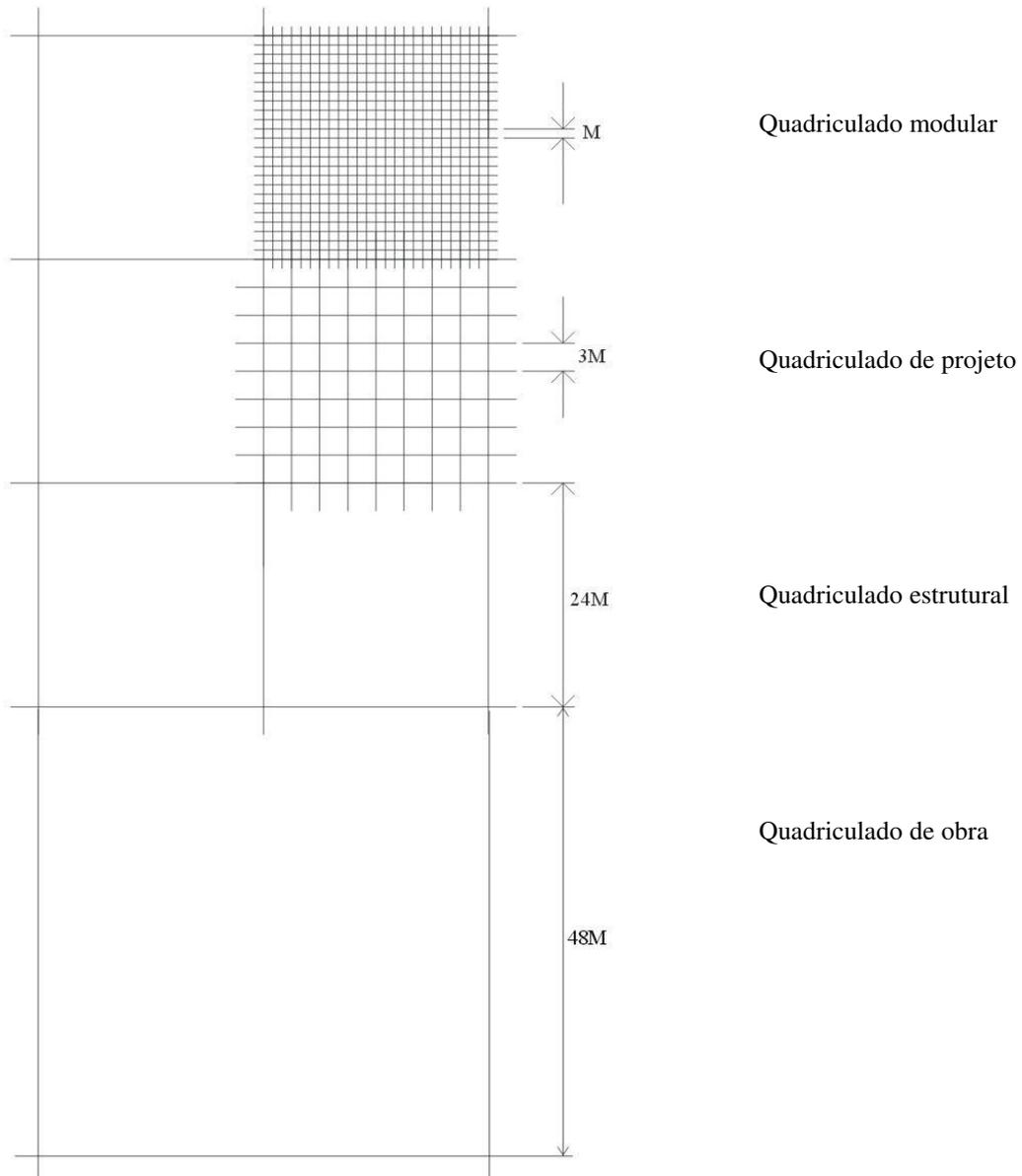


Figura 11: exemplos de quadriculados multimodulares M , $3M$ e $24M$ e $48M$ (baseado em BALDAUF, 2004)

3.6.2 Multimódulo

Segundo a NBR 5731 (ABNT, 1982j), multimódulo é o resultado do produto de qualquer número inteiro pelo módulo básico. No entanto, a NBR 5709 – Multimódulos (ABNT, 1982c) restringe os multimódulos para emprego na construção coordenada modularmente às medidas escolhidas entre os múltiplos inteiros do módulo. Segundo essa mesma norma, quando o projeto faz uso de componentes modulares, cujas medidas definem e regem o

dimensionamento do projeto, é conveniente utilizar suas medidas modulares como multimódulos.

O principal objetivo da utilização dos multimódulos, conforme o BNH/IDEG (1976), é diminuir o número de medidas utilizadas na coordenação modular. Os multimódulos podem ser divididos em horizontais ou verticais. Segundo a NBR 5709 (ABNT, 1982c), multimódulo horizontal é aquele que está referido ao quadriculado modular horizontal de referência. Segundo a mesma norma, multimódulo vertical é aquele que está referido ao quadriculado vertical de referência. Abaixo são citados algumas recomendações para multimódulos:

- a) Brasil (horizontal e vertical): 2M e 3M, a serem utilizados de forma conjunta ou separada, conforme a NBR 5709 (ABNT, 1982c);
- b) Alemanha (horizontal e vertical): 3M, 6M e 12M, conforme a DIN 18000 (DIN, 1984);
- c) Internacionalmente (horizontal): 3M, 6M, 12M, 30M e 60M, conforme a ISO 1040 – Construção civil: coordenação modular: multimódulos para dimensões coordenadas horizontais (ISO, 1983b).

Apesar da NBR 5709 (ABNT, 1982c) permitir o uso dos multimódulos 2M e 3M tanto horizontalmente como verticalmente, Rosso (1976) sugere 2M para multimódulo vertical e 3M para multimódulo horizontal. O autor também afirma que nem sempre é possível adequar todas as dimensões dos componentes aos multimódulos. Isso seria uma contradição à meta básica da coordenação modular, que é a economia.

3.6.3 Submódulos

A NBR 5731 (ABNT, 1982j), denomina medida fracionária do módulo o submódulo. Essa medida corresponde a uma fração do módulo e é dada por: $n.M/4$, onde, n é um número inteiro positivo qualquer e M é o módulo.

Baldauf (2004) afirma que para os componentes da construção de dimensões inferiores ao módulo básico é admitida a utilização de submódulos. No entanto, o Ministério de Obras Públicas de Portugal (LISBOA, 1970) salienta que o submódulo não deve ser utilizado com frequência tal que aumente a variedade dimensional.

Abaixo são citadas algumas recomendações para submódulos:

- a) Brasil: $n.M/4$, de acordo com a NBR 5731 (ABNT, 1982j);
- b) Alemanha: $M/4$ (2,5 cm), $M/2$ (5,0 cm), $3/4M$ (7,5 cm) conforme a DIN 18000 (DIN, 1984);

- c) Internacionalmente: M/5 (2,0 cm), M/4 (2,5 cm) e M/2 (5,0 cm) conforme a ISO 6514 – Construção civil: coordenação modular: submódulos (ISO, 1982).

Para o Brasil, Rosso (1976) sugere a utilização dos submódulos M/8 (1,25 cm) e M/4 (2,5 cm).

3.6.4 Posição do componente modular

Segundo a NBR 5707 (ABNT, 1982a), a posição do componente da construção em relação às linhas do quadriculado modular de referência deverá ser escolhida em função das necessidades técnicas e econômicas do projeto e da execução da obra. São três as posições que um componente da construção pode ter em relação às linhas do quadriculado modular de referência: simétrica, assimétrica e lateral.

3.6.4.1 Posição simétrica

Segundo a NBR 5707 (ABNT, 1982a), a posição é simétrica (figura 12) quando a projeção ortogonal do componente está situada sobre uma linha do quadriculado modular de referência com suas faces equidistantes dessa mesma linha. Em obra, a coincidência dos eixos dos componentes estruturais com o quadriculado modular de referência simplifica, por exemplo, a marcação.



Figura 12: posição simétrica

3.6.4.2 Posição assimétrica

Segundo a NBR 5707 (ABNT, 1982a), a posição é assimétrica (figura 13) quando a projeção ortogonal do componente está situada sobre uma linha do quadriculado modular de referência, estando suas faces afastadas diferentemente dessa linha. Normalmente é usada a posição assimétrica quando são associados dois tipos de componentes (por exemplo: alvenaria e estrutura) com espessuras diferentes. A NBR 5707 (ABNT, 1982a), recomenda, também que, para a posição assimétrica, os afastamentos das faces do componente em relação à linha do quadriculado modular de referência sejam de preferência iguais a $n \cdot M/4$, onde, n é um número inteiro positivo qualquer e M é o módulo.



Figura 13: posição assimétrica

3.6.4.3 Posição lateral

Segundo a NBR 5707 (ABNT, 1982a), a posição é lateral (figura 14) quando a projeção ortogonal do componente está situada com uma de suas faces colocada lateralmente em relação a uma linha do quadriculado modular de referência. O emprego dessa posição permite medidas modulares de face a face de componentes estruturais.



Figura 14: posição lateral

3.6.5 Zona neutra

Zona neutra (figura 15), segundo a NBR 5731 (ABNT, 1982j), é uma zona não modular que separa reticulados modulares espaciais de referência, que por razões construtivas ou funcionais necessitem ser separados entre si. Os exemplos mais típicos são as juntas de dilatação e a união entre partes não ortogonais de uma edificação. A NBR 5731 (ABNT, 1982j) recomenda seu emprego apenas em casos de absoluta necessidade. Segundo Baldauf (2004), na zona neutra não há obediência à coordenação. Para os casos onde ocorrer uma zona de superposição, deverá ser seguida uma dessas malhas.

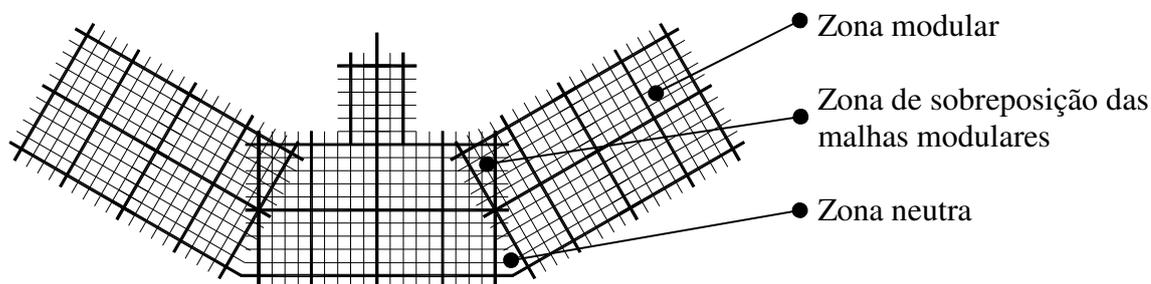


Figura 15: zonas modular, neutra e de sobreposição das malhas modulares em blocos não ortogonais (baseado em ANDRADE, 2000)

3.7 BENEFÍCIOS DO USO DA COORDENAÇÃO MODULAR

Entre as principais vantagens apresentadas pela ISO 2848 – Construção civil: coordenação modular: princípios e regras (ISO, 1984) para o uso da coordenação modular na construção civil, destacam-se:

- a) facilitar a cooperação entre os projetistas de edifícios, os fabricantes de componentes, os distribuidores, os contratadores e o poder público;
- b) permitir a elaboração de projetos, componentizados, sem restringir a liberdade do projetista;
- c) permitir a flexibilização dos tipos de padrões com o objetivo de estimular o uso de alguns limitados números de componentes de construção padronizados, para a edificação de diferentes tipos de edifícios;
- d) otimizar o número de tamanhos padrões de componentes de construção;
- e) estimular o máximo possível a intercambiabilidade dos componentes, por qualquer que seja o material, forma ou método de fabricação;
- f) simplificar a operacionalização das peças pela racionalização, posicionamento e montagem dos componentes;
- g) garantir a coordenação dimensional entre as partes, tão bem como em todo o resto do edifício.

Os principais objetivos da coordenação modular são a racionalização da construção e a simplificação do projeto (ALEMANHA, 1978). Dentro deste âmbito, a coordenação modular também traz benefícios para o processo de alvenaria estrutural. Para se conseguir uma melhor visualização destes benefícios, pode-se observar os ganhos que cada interveniente do processo de projeto e execução do processo de alvenaria estrutural obtém com a implantação do sistema modular.

Para indústria de fabricantes das unidades, por exemplo, a otimização e padronização do tamanho dos componentes podem gerar uma melhoria da produção, mediante o aperfeiçoamento tecnológico. Com esta melhoria é possível incrementar a qualidade dos produtos e, conseqüentemente, torná-los mais competitivos. Para as construtoras, a principal vantagem é a maior compatibilização dos diferentes projetos que eleva a construtibilidade por meio da racionalização do processo de projeto e execução. Também a simplificação da execução dos serviços, da coordenação de atividades e do treinamento e qualificação da mão-de-obra. Desta forma, também é possível ter uma obra mais simplificada, com maior facilidade de posicionamento e montagem dos elementos construtivos.

Outra vantagem é a facilidade em fornecer os elementos padronizados, por exemplo, em *pallets*, também padronizados. Da mesma forma, a possibilidade de escolher o fornecedor das unidades de alvenaria, independente das suas dimensões, possibilita que os critérios de

qualidade, durabilidade, prazo de entrega, preço, entre outros, possam ser reavaliados constantemente, possibilitando, se necessário, a troca de fornecedor para uma mesma obra, sem prejudicar o processo construtivo como um todo.

Segundo Andrade (2000), com relação aos projetos, pode-se destacar: a melhoria da organização e estruturação dos projetos, uma maior compreensão na organização espacial, adquirida com o emprego de um ritmo e uma lógica mensurável, a criação de procedimentos para o processo de projeto, baseados em rotinas e normas, a redução de prazos e custos, a diminuição das alterações, o aumento da flexibilidade do projeto e a possibilidade para o emprego da industrialização em ciclo aberto.

Assim, o consumidor final pode se apropriar dos ganhos obtidos pelos demais intervenientes, mediante um produto final com maior qualidade, menor custo e com menor prazo de entrega. Outra vantagem que se pode obter é uma maior facilidade de substituição de elementos que necessitem reparos posteriores, pois a coordenação modular permite não apenas a intercambiabilidade de elementos, como também, de processos construtivos.

4 A ALVENARIA ESTRUTURAL NO BRASIL

O processo construtivo em alvenaria estrutural apresenta como principais benefícios a redução de custos de construção e a facilidade de execução. É utilizado tanto na construção de interesse social como também em construções para a classe média, sendo importante instrumento para reduzir o déficit habitacional brasileiro, que em 2000 era superior a 6,5 milhões de unidades, das quais 70% concentram-se nas áreas metropolitanas (FJP/CEI, 2001).

A utilização de paredes de pedra e tijolos cerâmicos é conhecida desde a Antigüidade, com as pirâmides, o Farol de Alexandria, passando pelas pontes, castelos e catedrais da Idade Média. Com o desenvolvimento industrial, o aparecimento do aço como material de construção e o surgimento do concreto armado em grande escala, a alvenaria foi deixando de ser o principal material, substituída pela versatilidade, esbeltez, possibilidade de maiores vãos e liberdade arquitetônica que tanto o aço como o concreto proporcionam (SABBATINI, 1984).

Por volta de 1950, notou-se na Europa a retomada da alvenaria com novos materiais, aproveitando todas as suas possibilidades, de ser uma estrutura de suporte e também de fechamento, com as conseqüentes reduções de custo da obra final. Foram construídos nesta época vários edifícios de até 18 andares com paredes de 15 cm, sempre com a alvenaria não armada. Até a década de 80, os edifícios em alvenaria tanto na Europa como nos Estados Unidos variavam de 12 a 22 pavimentos. O limite teórico para o processo construtivo em alvenaria estrutural está entre 30 e 40 pavimentos, dependendo muito do material (SABBATINI, 1984).

No Brasil, o desenvolvimento da alvenaria com blocos de concreto ocorreu a partir de 1970. A primeira grande obra em alvenaria estrutural no Brasil é o Central Parque Lapa com 4 prédios de 12 andares, com cálculo norte-americano. Toda a tecnologia destes primeiros empreendimentos foi trazida dos Estados Unidos, que utilizava blocos de concreto com quantidade considerável de armadura devido aos efeitos sísmicos. Como toda tecnologia importada, o processo de adaptação à realidade dos materiais, mão-de-obra e clima brasileiro apresentou uma série de patologias. Isso levou a um declínio da alvenaria estrutural por volta de 1986, depois de um grande número de construções serem executadas, algumas até bastante arrojadas (TAUIL, 1990). “No entanto, a alvenaria estrutural no final do século XX, devido aos extensos trabalhos de pesquisa, à imaginação de projetistas e à grande melhoria da qualidade dos materiais apresentou maiores e mais visíveis avanços do que qualquer outra forma de estrutura usada na construção” (ROMAN et al. , 1999).

A alvenaria estrutural é dimensionada por cálculo racional, ao contrário da alvenaria tradicional, que é dimensionada empiricamente (SABBATINI, 1984). “É um processo construtivo no qual se utilizam as paredes da habitação para resistir às cargas, em substituição aos pilares e vigas utilizados nos sistemas em concreto armado, aço ou madeira” (ROMAN et al., 1999). A alvenaria estrutural pode ser armada ou não armada. No Brasil, a maioria das edificações executada nesse processo construtivo utiliza blocos vazados de concreto ou blocos vazados cerâmicos (SABBATINI, 1984).

As características, apontadas por Ramalho e Corrêa (2003), que podem representar as principais vantagens da alvenaria estrutural em relação às estruturas convencionais de concreto armado são: economia de formas, redução significativa de revestimentos, dos desperdícios de material e mão-de-obra, do número de especialidades e flexibilidade no ritmo de execução da obra.

Essas vantagens estão vinculadas especialmente à eliminação da estrutura convencional, o que conduz à importante simplificação do processo construtivo através da redução de etapas e, conseqüentemente, do tempo de execução (DUARTE, 1999). Assim, além da função estrutural, as paredes resistentes têm concomitantemente a função de vedação externa e interna. A existência de apenas um elemento para assumir as múltiplas funções é bastante vantajosa. Isso ocorre não só pelas facilidades construtivas, mas também por eliminar problemas que surgem nas interfaces entre os sub-sistemas. As facilidades construtivas proporcionadas pelo emprego de um único elemento são: técnicas de execução simplificadas, menor diversidade de materiais empregados e eliminação de interferência, no cronograma executivo, entre os dois sistemas (SABBATINI, 1984).

Além disso, esse processo construtivo também induz a racionalização de uma série de outras atividades como, por exemplo, as instalações elétricas e hidráulicas (WENDLER, 1999). Esses projetos complementares podem ser desenvolvidos na forma de *kits*, montados e testados no canteiro de obras antes de sua instalação. Para isso, blocos e elementos especiais podem ser definidos e previamente preparados para posterior utilização. Enfim, é possível desenvolver um processo racionalizado que resulta na melhoria da qualidade do produto final e em significativa economia (DUARTE, 1999).

Mas, como qualquer outro processo construtivo, na alvenaria estrutural as seguintes características podem interferir no seu desempenho e por isso merecem especial atenção:

- a) qualidade de execução: exige controle adequado dos materiais, do componente alvenaria além, de mão-de-obra qualificada e bem treinada e constante e rigorosa fiscalização (SABBATINI, 1984);

- b) concepção estrutural que condiciona o projeto arquitetônico (SABBATINI, 1984);
- c) paredes internas enrijecedoras: subdividem o espaço em cômodos de dimensão relativamente pequenos (SABBATINI, 1984);
- d) adaptação da arquitetura para novo uso: na maioria dos casos é tecnicamente impossível remover paredes portantes (RAMALHO; CORRÊA, 2003);
- e) compatibilização dos projetos de arquitetura, estrutura e instalações: devido a multifunção da alvenaria há grande interferência entre esses projetos (RAMALHO ;CORRÊA, 2003);
- f) falta de normas específicas para alvenaria estrutural (SABBATINI, 2002): somente para a alvenaria estrutural em blocos de concreto existe norma de cálculo específica, pois para alvenaria estrutural em blocos cerâmicos a norma ainda está sendo elaborada;
- g) número insuficiente de fornecedores de blocos em todo território nacional e concentração de fornecedores no sudeste do país (COZZA, 1998);
- h) ausência de tradição construtiva do processo no meio técnico (COZZA, 1998).

Enfim, deve ser observado que ainda há uma lacuna para o aproveitamento máximo do potencial que o processo em alvenaria estrutural pode oferecer à indústria da construção civil. Nesse sentido, muitos centros de pesquisa têm se especializado na busca dessas soluções, tanto no Brasil, como no exterior. Este trabalho, conforme já foi citado anteriormente, visa contribuir com uma pequena parcela dessas pesquisas.

Nos itens a seguir, tendo como foco a falta de padronização das unidades de alvenaria estrutural será verificada primeiramente a conformidade entre as normas brasileiras que determinam dimensões para as unidades de alvenaria e as sobre coordenação modular. Em seguida serão apontadas as características das unidades no Brasil. E, por fim, será abordado o panorama geral da situação atual da alvenaria estrutural tanto para o projeto como para a execução.

4.1 NORMAS BRASILEIRAS DE COORDENAÇÃO MODULAR E PARA A DEFINIÇÃO DAS DIMENSÕES DAS UNIDADES DE ALVENARIA

Sabe-se que as unidades utilizadas para alvenaria estrutural, notadamente as com menores dimensões, como os tijolos, não têm suas dimensões padronizadas. Partindo do pressuposto que a estas unidades produzidas no Brasil não atendem às normas da ABNT com relação às dimensões, é necessário verificar se essas normas estão coerentes com as sobre coordenação modular. Para verificar essa concordância, foi realizada uma comparação entre ambos os conjuntos de normas. Atualmente, as normas brasileiras específicas para coordenação modular são 26, com datas de publicação entre 1977 e 1982 (figura 16), sendo que já em 1950

foi publicada a primeira norma sobre coordenação modular (TECHNISCHE HOCHSCHULE HANNOVER, 1967).

Código	Assunto	Publicação
NBR 5706	Coordenação modular da construção	12/1977
NBR 5707	Posição dos componentes da construção em relação à quadrícula modular de referência	02/1982
NBR 5708	Vãos modulares e seus fechamentos	02/1982
NBR 5709	Multimódulos	02/1982
NBR 5710	Alturas modulares de piso a piso, de compartimento e estrutural	02/1982
NBR 5711	Tijolo modular de barro cozido	02/1982
NBR 5712	Bloco vazado modular de concreto	02/1982
NBR 5713	Altura modular de teto-piso	02/1982
NBR 5714	Painel modular vertical	02/1982
NBR 5715	Local e instalação sanitária modular	02/1982
NBR 5716	Componentes de cerâmica, de concreto ou de outro material utilizado em lajes mistas na construção coordenada modularmente	02/1982
NBR 5717	Espaço modular para escadas	02/1982
NBR 5718	Alvenaria modular	02/1982
NBR 5719	Revestimentos	02/1982
NBR 5720	Coberturas	02/1982
NBR 5721	Divisória modular vertical interna	02/1982
NBR 5722	Esquadrias modulares	02/1982
NBR 5723	Forro modular horizontal de acabamento	02/1982
NBR 5724	Tacos modulares de madeira para soalhos na construção coordenada modularmente	02/1982
NBR 5725	Ajustes modulares e tolerâncias	02/1982
NBR 5726	Série modular de medidas	02/1982
NBR 5727	Equipamento para complemento da habitação na construção coordenada modularmente	02/1982
NBR 5728	Detalhes modulares de esquadrias	02/1982
NBR 5729	Princípios fundamentais para a elaboração de projetos coordenados modularmente	02/1982
NBR 5730	Símbolos gráficos empregados na coordenação modular da construção	02/1982
NBR 5731	Coordenação modular da construção	02/1982

Figura 16: normas de coordenação modular (ABNT, 2005)

As normas utilizadas para determinar dimensões das unidades de alvenaria são 11. Essas normas referem-se a tijolos e blocos para elementos de concreto, cerâmicos, sílico-calcários, de solo-cimento e de concreto celular autoclavado e estão relacionadas na figura 17. Para uma melhor identificação serão utilizadas medidas modulares³ ou medidas nominais⁴. Também

3 Medida modular: igual ao módulo ou ao múltiplo inteiro do módulo, que equivale à medida de projeto da unidade mais tamanho da junta, ou o ajuste modular ($n.M = \text{medida de projeto} + \text{ajuste modular}$).

4 Medida nominal: não se refere ao módulo ou seus múltiplos, mas também equivale à medida de projeto da unidade mais o tamanho da junta.

serão adotadas como unidade o centímetro e as seguintes siglas para indicar o comprimento (C), altura (A) e largura (L) das unidades.

Código	Assunto	Publicação
NBR 6136	Bloco vazado de concreto simples para alvenaria estrutural	11/1994
NBR 7170	Tijolo maciço para alvenaria	06/1983
NBR 7171	Bloco cerâmico para alvenaria	11/1992
NBR 7173	Bloco vazados de concreto simples para alvenaria sem função estrutural	02/1982
NBR 8041	Tijolo maciço cerâmico para alvenaria – forma e dimensões	06/1983
NBR 8042	Bloco cerâmico para alvenaria – formas e dimensões	11/1992
NBR 8491	Tijolo maciço de solo-cimento	04/1984
NBR 10834	Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural	10/1994
NBR 10834	Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural – forma e dimensões	10/1994
NBR 13438	Blocos vazados de concreto celular autoclavado	08/1995
NBR 14974-1	Bloco sílico-calcário para alvenaria – parte 1: requisitos, dimensões e métodos de ensaio	08/2003

Figura 17: normas sobre dimensões das unidades de alvenaria para diversos materiais (ABNT, 2005)

4.1.1 Normas brasileiras sobre coordenação modular

Baldauf (2004) salienta em sua dissertação que as normas de coordenação modular fixam as condições exigíveis na denominada construção coordenada modularmente. Esta condição indica de forma indireta que há uma construção não coordenada modularmente, tornando-se livre opção qualquer uma das duas formas de construção.

Conforme foi visto no capítulo 3, na NBR 5706 (ABNT, 1977), o módulo básico adotado no Brasil é 10 cm. Por sua vez, a NBR 5709 recomenda para multimódulos horizontais e verticais 2M e 3M, a serem utilizados em forma separada ou conjunta (ABNT, 1982c). Cabe lembrar que um dos objetivos do emprego do multimódulo é reduzir a variação do número de dimensões dos componentes construtivos.

A NBR 5718 – Alvenaria modular (ABNT, 1982f) diz que a unidade modular de alvenaria é um elemento composto cujas medidas são determinadas a ocupar um espaço modular. Enquanto isso, segundo a NBR 5729 ABNT, 1982i), o projetista deve estabelecer medidas preferidas, ao projetar segundo os princípios de coordenação modular, a fim de poder determinar o quadriculado multimodular de referência. Assim, essas medidas preferidas, conforme a NBR 5726 (ABNT, 1982h), são medidas selecionadas na série modular, que pode ter razão 2 ou 3, em função dos multimódulos 2M e 3M.

Dessa forma, as unidades modulares de alvenaria devem preencher os espaços modulares na quadrícula multimodular escolhida pelo projetista. Essas unidades devem ter pelo menos uma de suas dimensões modulares e as demais devem preencher um espaço modular ao serem associadas com outras unidades. Recomenda-se que estas medidas obedeam à regra das medidas submodulares, de acordo com a NBR 5731 (ABNT, 1982j), vista anteriormente, ou seja, $n.M/4$.

Das normas que tratam da coordenação modular, apenas duas definem dimensões para unidades de alvenaria. A primeira delas, a NBR 5711 – Tijolo modular de barro cozido (ABNT, 1982d), trata da padronização dimensional dos tijolos modulares furados ou maciços de barro. A segunda, a NBR 5712 – Padronização do bloco vazado modular de concreto (ABNT, 1982e), especifica as dimensões para os blocos vazados modulares de concreto.

4.1.2 Normas brasileiras para a definição das dimensões das unidades de alvenaria

Com relação às normas sobre dimensões deve-se salientar que não existe uma norma técnica que especifique dimensões para unidades de alvenaria sem estar relacionada ao seu material constituinte. Em função disso, serão analisadas as normas para os materiais mais utilizados no Brasil, que são as unidades cerâmicas e as de concreto. Também, não há uma separação clara quanto ao uso específico para alvenaria estrutural. A única norma que faz distinção das unidades para alvenaria estrutural é a NBR 6136 – Bloco vazado de concreto simples para alvenaria estrutural (ABNT, 1994). Nesse caso, serão analisadas as dimensões conjuntamente para alvenaria estrutural e de vedação. Além das normas vigentes, também será analisado o projeto de norma para blocos cerâmicos para alvenaria estrutural.

As normas que definem as dimensões para tijolos maciços cerâmicos são a NBR 7170 – Tijolo maciço cerâmico para alvenaria (ABNT, 1983a) e a NBR 8041 – Tijolo maciço cerâmico para alvenaria: forma e dimensões (ABNT, 1983b). Ainda tratando de elementos cerâmicos, as duas normas que definem dimensões para blocos cerâmicos para alvenaria são a NBR 7171 – Bloco cerâmico para alvenaria (ABNT, 1992a) e a NBR 8042 – Bloco cerâmico para alvenaria, formas e dimensões (ABNT, 1992b).

Para os blocos de concreto, duas normas determinam suas dimensões, a NBR 7173 – Blocos vazados de concreto simples para alvenaria sem função estrutural (ABNT, 1982l) e a NBR 6136 (ABNT, 1994). Conforme foi dito anteriormente, a única norma que se refere a unidades em alvenaria estrutural é a NBR 6136 (ABNT, 1994). Atualmente encontra-se em fase de desenvolvimento uma norma que irá suprir a carência de normas para blocos cerâmicos para

alvenaria estrutural, que é o projeto de norma Projeto NBR 02:101.01-002/2 – Componentes cerâmicos – Parte 2 – Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural (ABNT, 2004).

4.1.3 Comparação entre as normas sobre coordenação modular e as para a definição das dimensões das unidades de alvenaria

Com relação à comparação entre as normas, a primeira constatação a ser feita, também evidenciada por Baldauf (2004), a respeito das normas sobre unidades de alvenaria, é que apenas a NBR 6136 (ABNT, 1994) sugere como documento complementar alguma norma de coordenação modular, a NBR 5712 (ABNT, 1982e). Também o projeto de norma para bloco cerâmico para alvenaria estrutural (ABNT, 2004) recomenda como normas complementares, entre outras, a NBR 5706 (ABNT, 1977), a NBR 5718 (ABNT, 1982f), e a NBR 5729 (ABNT, 1982i).

Sobre as normas de coordenação modular, verifica-se que 2 das 26 sobre o assunto fixam dimensões para componentes ou mesmo para alguma medida preferida ou preferível para elementos de alvenaria (BALDAUF, 2004) que são a NBR 5711 (ABNT, 1982d) e a NBR 5712 (ABNT, 1982e). Com relação às normas que definem dimensões para as unidades de alvenaria, nota-se, conforme já foi dito, que não existem normas que tratem exclusivamente das dimensões das unidades, pois estão sempre vinculadas ao seu material constituinte. Também não há uma separação clara quanto ao uso específico para alvenaria estrutural.

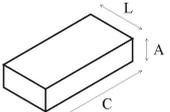
Assim, foram identificados dois aspectos de modularidade (alíneas a e b) e três aspectos de não modularidade (alíneas c, d e e) e que serão salientados pelas seguintes cores (ou letras) nas figuras seguintes:

- a) cor branca: as medidas da unidade seguem critérios de coordenação modular;
- b) cor rosa: não é uma medida modular (M), multimodular (n.M) ou submodular (n.M/4), no entanto, ao ser combinada n vezes com elementos semelhantes, preenche um espaço modular ou multimodular;
- c) cor amarela: o comprimento e a largura dessa unidade não são múltiplos entre si;
- d) cor laranja: medida pertencente ao sistema octamétrico, com $M = 12,5$ cm;
- e) cor verde: unidade complementar necessária quando o comprimento e a largura da unidade não são múltiplos entre si;

Conforme será visto no item 4.2, para uma amarração sem cortes ou peças especiais é importante que a largura e o comprimento da unidade sejam múltiplos. Também será visto

que para a correta combinação nas três dimensões, o ideal seria que também a altura fosse submúltipla do comprimento e da largura.

Analisando-se as duas normas sobre coordenação modular que fixam dimensões para tijolos e blocos, a NBR 5711 (ABNT, 1982d) e a 5712 (ABNT, 1982e) respectivamente, nota-se que para os tijolos existe uma boa correlação matemática entre o comprimento, altura e largura das unidades, com exceção dos tijolos com altura igual a 8 cm. Essa altura não é uma medida modular (M), multimodular (n.M) ou submodular (n.M/4), no entanto, ao ser combinada 5 vezes com elementos semelhantes, preenche um espaço multimodular de 4M, conforme é salientado na cor rosa na figura 18. A respeito das dimensões sugeridas pela NBR 5712 (ABNT, 1982e), percebe-se que para algumas unidades o comprimento e a largura não são múltiplos entre si, o que pode ser visto na figura 19, salientado na cor amarela.

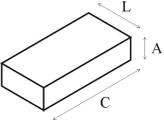
NBR 5711- Tijolo modular de barro cozido			
	L (cm)	A (cm)	C (cm)
Tijolo de barro furado	10	10	20
	10	20	20
	10	20	30
Tijolo de barro maciço	10	8 ^b	10
	10	8 ^b	20

Legenda:

-  (a) as medidas da unidade seguem critérios de coordenação modular
-  (b) não é uma medida modular (M), multimodular (n.M) ou submodular (n.M/4), no entanto, ao ser combinada n vezes com elementos semelhantes, preenche um espaço modular ou multimodular.

Figura 18: avaliação da NBR 5711 (ABNT, 1982d)

Outro fato interessante sobre a NBR 5712 (ABNT, 1982e) é que apesar desta norma indicar como documento complementar a NBR 7173 (ABNT, 1982l), as dimensões com comprimento 30 e 35 cm (figura 22) não aparecem na NBR 5712 (ABNT, 1982e). Isso provavelmente ocorre porque estas dimensões não são múltiplas de 2M, que aparentemente é o multimódulo escolhido para a NBR 5712 (ABNT, 1982e). Se fosse assim, no entanto, também deveriam ter sido excluídas as unidades com largura igual a 15 cm. Ou ainda, se o intuito era contemplar tanto o multimódulo 2M como o 3M, os comprimentos iguais a 30 cm deveriam ser incluídos na NBR 5712 (ABNT, 1982e), relacionados, todavia, apenas com as larguras 15 ou 10 cm. Nesse mesmo raciocínio, as unidades com largura de 15 cm, que aparecem na NBR 5712 (ABNT, 1982e), deveriam ter apenas comprimentos múltiplos.

NBR 5712 - Bloco vazado modular de concreto			
	L (cm)	A (cm)	C (cm)
Bloco vazado de concreto com altura comum	20	20	10
	20	20	20
	20	20	40
	15 ^c	20 ^c	10 ^c
	15 ^c	20 ^c	20 ^c
	15 ^c	20 ^c	40 ^c
	10	20	10
	10	20	20
Bloco vazado de concreto com meia altura	20	10	10
	20	10	20
	20	10	40
	15 ^c	10 ^c	10 ^c
	15 ^c	10 ^c	20 ^c
	15 ^c	10 ^c	40 ^c
	10	10	10
	10	10	20
	10	10	40

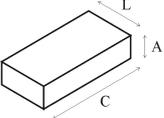
Legenda:

-  (a) as medidas da unidade seguem critérios de coordenação modular
-  (c) o comprimento e a largura dessa unidade não são múltiplos entre si

Figura 19: avaliação da NBR 5712 (ABNT, 1982e)

Na análise das normas que definem as dimensões dos tijolos, a NBR 7170 (ABNT, 1983a) e na NBR 8041 (ABNT, 1983b) percebe-se que, da mesma forma como a altura de 8 cm na NBR 5711 (ABNT, 1982d), os tijolos com altura igual a 6,7 cm só terão uma correlação matemática com sua largura e comprimento quando estiverem compostos em 3 fiadas. Nesse caso, a junta será aproximadamente 1 cm e o espaço modular ocupado pelas 3 fiadas será de 2M, como pode ser visto na figura 20, salientado na cor rosa.

Na análise das normas que definem dimensões para blocos verifica-se que nem sempre são utilizados os multimódulos 2M e 3M recomendados na NBR 5709 (ABNT, 1982c). Em alguns casos, aparecem dimensões pertencentes ao sistema octamétrico, com M igual a 12,5 cm. Isso ocorre porque o sistema octamétrico era adotado em diversos países europeus e essas dimensões são, provavelmente, herança do processo de importação de equipamentos para a fabricação das unidades.

NBR 7170 - Tijolo maciço cerâmico para alvenaria NBR 8041 - Tijolo maciço cerâmico para alvenaria, forma e dimensões			
	L (cm)	A (cm)	C (cm)
Tijolo cerâmico maciço	10	6,7 ^{b5}	20
	10	10	20

Legenda:

	(a) as medidas da unidade seguem critérios de coordenação modular
	(b) não é uma medida modular (M), multimodular (n.M) ou submodular (n.M/4), no entanto, ao ser combinada n vezes com elementos semelhantes, preenche um espaço modular ou multimodular

Figura 20: avaliação das NBR 7170 e 8041 (ABNT, 1983a; 1983b)

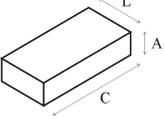
A figura 21 mostra na cor laranja, que nas normas para blocos cerâmicos, NBR 7171 (ABNT, 1992a) e NBR 8042 (ABNT, 1992b), ainda permanecem, equivocadamente as unidades com dimensões pertencentes ao sistema octamétrico. Baldauf (2004), salienta que as unidades com dimensões no sistema octamétrico são totalmente dispensáveis considerando-se que o Brasil utiliza o sistema modular decimétrico. Isso simplificaria a sua produção dos blocos, que teriam uma quantidade de tipos reduzida praticamente pela metade. Também pode ser visto o problema, salientado na cor amarela, da incompatibilidade entre a largura e o comprimento das unidades.

Na NBR 7173 (ABNT, 19821) e no projeto de norma Projeto NBR 02:101.01-002/2 (ABNT, 2004), analisados nas figuras 22 e 24, são encontrados outros valores para comprimento das unidades que não são múltiplos dos multimódulos 2M e 3M, nem pertencentes ao sistema octamétrico, nem tão pouco múltiplos da largura da unidade. São, por exemplo, os comprimentos de 35 e 55 cm salientados na cor verde. As unidades que têm estas dimensões são complementares, e são necessárias para que seja feita a amarração entre paredes quando é utilizado como unidade básica o bloco com 15 x 20 x 40 cm. Como se pode observar, a largura e o comprimento dessa unidade não são múltiplos. Outra unidade necessária para que todos os blocos se encaixem sem necessidade de cortes é a com 15 x 20 x 5 cm, conhecida no meio técnico como bolacha.

Verifica-se assim que, o uso de uma unidade sem correlação matemática entre sua largura e comprimento compromete um dos três critérios básicos para que um componente seja considerado coordenado modularmente que é o critério da seleção, ou seja, a redução de variedade de tipos, conforme foi visto no item 3.4 do capítulo 3. Nesse caso, seria conveniente

⁵ 6,7: medida modular obtida pela soma da medida de projeto mais a junta, $5,7 + 1 = 6,7$ cm

alterar o comprimento do bloco de 40 cm para 30 cm, permitindo dessa forma que, ao menos na malha horizontal, pudesse ser utilizado o multimódulo 3M.

NBR 7171 - Bloco cerâmico para alvenaria NBR 8042 - Bloco cerâmico para alvenaria, formas e dimensões			
	L (cm)	A (cm)	C (cm)
Blocos de vedação e estruturais comuns	10	20	20
	10 ^c	20 ^c	25 ^d
	10	20	30
	10	20	40
	12,5 ^d	20 ^c	20 ^c
	12,5 ^d	20	25 ^d
	12,5 ^d	20 ^c	30 ^c
	12,5 ^d	20 ^c	40 ^c
	15 ^c	20 ^c	20 ^c
	15 ^c	20 ^c	25 ^d
	15	20	30
	15 ^c	20 ^c	40 ^c
	20	20	20
	20 ^c	20 ^c	25 ^d
	20 ^c	20 ^c	30 ^c
Blocos de vedação e estruturais especiais	20	20	40
	10	10	20
	10	15	20
	10 ^c	15 ^c	25 ^d
	12,5 ^d	15	25 ^d

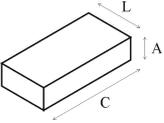
Legenda:

	(a) as medidas da unidade seguem critérios de coordenação modular
	(c) o comprimento e a largura dessa unidade não são múltiplos entre si
	(d) medida pertencente ao sistema octamétrico, com M = 12,5

Figura 21: avaliação das NBR 7171 e NBR 8042 (ABNT, 1992a; 1992b)

Para a única norma específica sobre blocos de concreto para alvenaria estrutural (figura 23), NBR 6136 (ABNT, 1994), verifica-se a utilização do multimódulo 2M para as dimensões verticais. No entanto, é essa norma que fixa o valor de um dos blocos mais difundidos no Brasil, o bloco com 15 x 20 x 40 cm, sobre o qual já foram feitas as observações pertinentes.

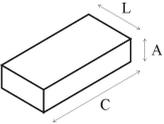
O maior número de aspectos de não modularidade, no entanto, foi encontrado no projeto de norma para bloco cerâmico para alvenaria estrutural (ABNT, 2004). Mesmo sendo o único a recomendar como normas complementares, normas de coordenação modular como a NBR 5706 (ABNT, 1977), NBR 5718 (ABNT, 1982f) e NBR 5729 (ABNT, 1982i), esse projeto incorpora praticamente todos os problemas já descritos.

NBR 7173 - Blocos vazados de concreto simples para alvenaria sem função estrutural			
	L (cm)	A (cm)	C (cm)
M-20	20	20	40
	20 ^c	20 ^c	30 ^c
	20	20	20
	20	20	10
M-15	20	10	20
	15 ^c	20 ^c	40 ^c
	15 ^e	20 ^e	35 ^e
	15	20	30
M-10	15 ^c	20 ^c	20 ^c
	10	20	40
	10	20	30
	10	20	20
	10 ^c	20 ^c	15 ^c
	10	20	10
	10	10	20

Legenda:

-  (a) as medidas da unidade seguem critérios de coordenação modular
-  (c) o comprimento e a largura dessa unidade não são múltiplos entre si
-  (e) unidade complementar necessária quando o comprimento e a largura da unidade não são múltiplos entre si

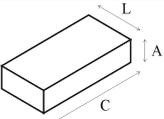
Figura 22: avaliação da NBR 7173 (ABNT, 1982)

NBR 6136 - Blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural			
	L (cm)	A (cm)	C (cm)
M-20	20	20	40
	20	20	20
M-15	15 ^c	20 ^c	40 ^c
	15 ^c	20 ^c	20 ^c

Legenda:

-  (a) as medidas da unidade seguem critérios de coordenação modular
-  (c) o comprimento e a largura dessa unidade não são múltiplos entre si

Figura 23: avaliação da NBR 6136 (ABNT, 1994)

Projeto NBR 02:101.01-002/2 - Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural			
	L (cm)	A (cm)	C (cm)
2M x 2M x 3M 20 x 20 x 30 cm	20 ^c	20 ^c	30 ^c
	20 ^c	20 ^c	15 ^c
	20 ^e	20 ^e	35 ^e
	20 ^c	20 ^c	50 ^c
2M x 2M x 4M 20 x 20 x 40 cm	20	20	40
	20	20	20
	20	20	60
3/2M x 2M x 3M 15 x 20 x 30 cm	15	20	30
	15	20	15
	15	20	45
3/2M x 2M x 4M 15 x 20 x 40 cm	15 ^c	20 ^c	40 ^c
	15 ^c	20 ^c	20 ^c
	15 ^e	20 ^e	35 ^e
3/2M x 2M x 4M 15 x 20 x 40 cm	15 ^e	20 ^e	55 ^e
	12,5 ^d	12,5 ^d	25 ^d
	12,5 ^d	12,5 ^d	12,5 ^d
5/4Mx5/4x5/2M 12,5 x 12,5 x 25cm	12,5 ^d	12,5 ^d	37,5 ^d
	12,5 ^d	20 ^c	30 ^c
	12,5 ^d	20 ^c	15 ^c
5/4M x 2M x 3M 12,5 x 20 x 30 cm	12,5 ^d	20 ^c	27,5 ^e
	12,5 ^d	20 ^c	42,5 ^e
	12,5 ^d	20 ^c	40 ^c
5/4M x 2M x 4M 12,5 x 20 x 40 cm	12,5 ^d	20 ^c	20 ^c
	12,5 ^d	20 ^c	32,5 ^e
	12,5 ^d	20 ^c	52,5 ^e
5/4M x 2M x 5/2M 12,5 x 20 x 25cm	12,5 ^d	20	25 ^d
	12,5 ^d	20	12,5 ^d
	12,5 ^d	20	37,5 ^d

Legenda:

	(a) as medidas da unidade seguem critérios de coordenação modular
	(c) o comprimento e a largura dessa unidade não são múltiplos entre si
	(d) medida pertencente ao sistema octamétrico, com M = 12,5
	(e) unidade complementar necessária quando o comprimento e a largura da unidade não são múltiplos entre si

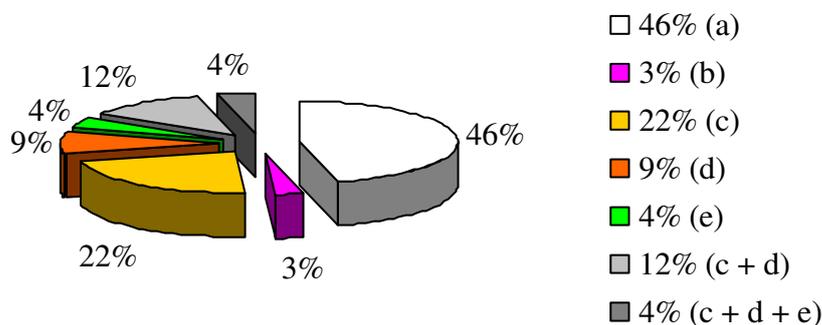
Figura 24: avaliação do Projeto NBR 02:101.01-002/2 (ABNT, 2004)

Desta forma pode-se verificar, nas figuras 25 e 26, que das 9 normas analisadas, com um total de 92 unidades, apenas 42 unidades apresentavam medidas que seguem critérios de coordenação modular, ou seja, foram evidenciados 51 % dos aspectos de não modularidade. Destas, a de maior recorrência foi a de que o comprimento e a largura das unidades não eram múltiplos entre si, que está destacada nas figuras pela cor amarela, com 22 % das ocorrências. Enfim, a partir dos resultados acima descritos evidencia-se a falta de coerência entre as

normas de coordenação modular e as que determinam dimensões para as unidades de alvenaria, pois estas não utilizam os conceitos relativos à coordenação modular para a determinação de suas dimensões.



Figura 25: relação percentual dos aspectos de modularidade e de não modularidade encontrados nas normas analisadas



Legenda:

- (a) as medidas da unidade seguem critérios de coordenação modular
- (b) não é uma medida modular (M), multimodular (n.M) ou submodular (n.M/4), no entanto, ao ser combinada n vezes com elementos semelhantes, preenche um espaço modular ou multimodular
- (c) o comprimento e a largura dessa unidade não são múltiplos entre si
- (d) medida pertencente ao sistema octamétrico, com M = 12,5
- (e) unidade complementar necessária quando o comprimento e a largura da unidade não são múltiplos entre si
- (c + d) unidades que apresentam aspectos de não modularidade c e d
- (c + d + f) unidades que apresentam aspectos de não modularidade c, d e f

Figura 26: relação percentual dos aspectos de não modularidade encontrados nas normas analisadas

4.2 A UNIDADE DE ALVENARIA ESTRUTURAL NO BRASIL

Unidade de alvenaria é um componente industrializado de dimensões e peso que o fazem mensurável, de formato paralelepipedal e adequado para compor uma alvenaria (SABBATINI, 1984). É o componente básico da alvenaria estrutural e será sempre definido por suas três dimensões principais: largura, altura e comprimento (L x A x C). A unidade é a principal responsável pela definição das características resistentes da estrutura (RAMALHO; CORRÊA, 2003) e por isso, é considerada, como essência da alvenaria estrutural (TAUIL, 1990).

Entende-se por unidade de alvenaria tanto as unidades menores (tijolos) como as unidades maiores (blocos). Assim, fica claro que os tijolos e blocos se diferenciam principalmente por seu tamanho. O tijolo é a unidade menor e tem medidas nominais máximas 12 x 5,5 x 25 cm. O bloco é a unidade maior e é definido por ter dimensões que superam as do tijolo (SABBATINI, 1984). Outra diferença básica é que o tijolo deve ser facilmente manuseado apenas com uma das mãos enquanto o bloco, em função de seu peso, necessita ser manuseado com ambas (BIA, 1988).

Todas as unidades de alvenaria têm usos similares na construção civil, no entanto, suas propriedades diferem quanto ao seu material constituinte e processos de fabricação. Atualmente, a maioria desses processos é mecanizada, embora, em muitas partes do mundo, ainda são feitos artesanalmente tijolos cerâmicos e blocos de pedra natural (HENDRY; KAHLAF, 2001). Quanto ao material constituinte, as unidades podem ser de cerâmica, concreto, sílico-calcárias, pedra natural ou vidro (DRYSDALE et al. , 1994). No Brasil, as unidades mais utilizadas são de concreto e as cerâmicas (SABBATINI, 1984). O emprego preferencial de unidades fabricadas com um material em detrimento de outro é função da tradição construtiva e arquitetônica, da disponibilidade de materiais básicos e do domínio da tecnologia de fabricação (BESSEY, 1964 apud SABBATINI, 1984).

Quanto à aplicação, as unidades podem ser de vedação ou estruturais. Esse estudo, porém, abrange apenas as com função estrutural, conforme foi mencionado nas limitações desta pesquisa. Assim, as unidades estruturais devem apresentar as seguintes qualidades: resistência à compressão, baixa absorção de água, durabilidade e estabilidade dimensional (ROMAN et al., 1999).

Em relação à sua área útil, as unidades podem ser maciças ou vazadas. Serão vazadas quando tiverem células contínuas (vazados) perpendiculares a sua seção transversal (são assentados com os vazados na direção vertical) nas quais a área total dos vazados em qualquer seção transversal será de 25% a 60% da área bruta da seção. Serão maciças quando a área de vazios em qualquer seção transversal for inferior a 25% da área bruta da seção (SABBATINI, 2002). Essa distinção é feita principalmente porque para as unidades maciças o cálculo estrutural é baseado nas dimensões da área bruta e para as vazadas, nas dimensões da área líquida. No entanto, a terminologia – maciço, algumas vezes cria confusões quando a intenção é se referir à unidade sem nenhum furo, ou seja, 100% maciça (DRYSDALE et al., 1994).

A unidade de alvenaria pode ser definida por sua dimensão real e ou nominal. A dimensão real é aquela efetiva de fabricação e a nominal é a real acrescida da junta de assentamento (1cm). Assim, por exemplo, as dimensões do bloco 20 x 20 x 40 cm são nominais e 19 x 19 x

39 cm são reais. No Brasil, há uma variada gama de dimensões que, em geral, estão vinculadas a três modulações, ou famílias, distintas: a americana (2M), a européia ($M = 12,5$ cm) e a de múltiplos de 15 cm (3M) (TAUIL, 1990). No entanto, conforme foi visto anteriormente, a modulação européia não é adequada às normas brasileiras de coordenação modular.

Segundo Franco (1992), para que se possa empregar uma malha modular coerentemente nas duas direções planimétricas, é necessário que os componentes tenham uma relação entre seu comprimento e largura que permita a amarração nos cantos da alvenaria. Esta amarração pode ser, por exemplo, a $1/2$ ou a $1/3$ da unidade. No caso da amarração a $1/2$, a largura deve ser a metade do comprimento da unidade ($C = 2L$) e no caso da amarração a $1/3$ a largura deve ser um terço do seu comprimento ($C = 3L$). A amarração a $1/3$ apresenta como vantagem, em relação à de $1/2$, a possibilidade de amarração não só das paredes em forma de L, mas também daquelas em forma de T e X. No entanto, neste caso, é necessária apenas uma unidade complementar de $1/2$ para contemplar todas situações da malha modular, enquanto no primeiro caso são necessárias as unidades $1/3$ e $2/3$ (FRANCO, 1992).

Outra relação a ser explorada é entre o comprimento, a largura e a altura, para tornar possível qualquer tipo de combinação entre as unidades nas três dimensões. Para isso, recomenda-se que as unidades básicas tenham entre si a proporção 4:2:1 (C:L:A). Esta proporcionalidade é interessante do ponto de vista formal, principalmente para efeitos em arranjos com tijolos aparentes (figura 27).

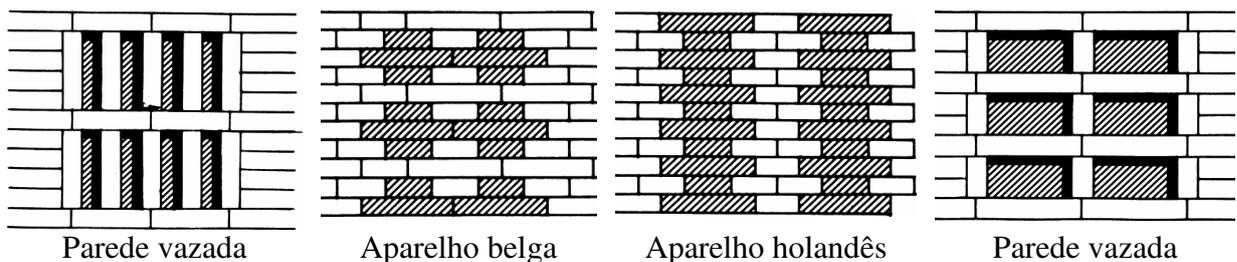


Figura 27: exemplos de arranjos com tijolos aparentes de proporção 4:2:1 (NEUFERT, 2000)

A seguir será abordada a situação atual da falta de padronização no Brasil tanto para tijolos como para blocos. A não observância às normas quanto às dimensões das unidades foi verificada por diversas pesquisas, entre elas está a pesquisa desenvolvida pelo IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas (INMETRO, 2003a), com abrangência nacional, e também, outra desenvolvida pela UNISINOS, focalizada na região do Vale dos Sinos no Rio Grande do Sul (SANTOS; SILVA, 1995). Ambas constataram que a maioria das unidades produzidas no Brasil não segue nenhum padrão normativo. Esta falta de coordenação nas dimensões dos

elementos pode ser facilmente reconhecida com a simples identificação das dimensões comercialmente utilizadas para blocos e tijolos. A variedade dimensional para blocos cerâmicos e de concreto não varia tanto como para tijolos.

4.2.1 Dimensões dos tijolos

O tamanho do tijolo foi estabelecido na antiguidade, obedecendo aos critérios de tamanho da empunhadura da mão esquerda do homem, facilidade em movimentar pesos com uma só mão e facilidade de obter prumo e nível na peça cerâmica como um todo. Isso redundou em uma peça com, aproximadamente, 15 x 7,5 x 30 cm e com peso entre 3 e 4 kg, dependendo da massa específica da argila. A consideração mais precisa da espessura das juntas, em torno de 1 cm, levou a criação de tijolos que têm suas dimensões (figura 28) de tal maneira que ao serem assentados 2 tijolos a perpianho (2 alturas + 1 junta) tenham a mesma dimensão de 1 tijolo colocado de cutelo (largura) (HEINECK, 1991). Partiu daí a relação ideal entre o comprimento, largura e a altura (4:2:1), a fim de que a peça não ficasse com sobras nas amarrações e permitisse o alinhamento previsto (TAUIL, 1990).

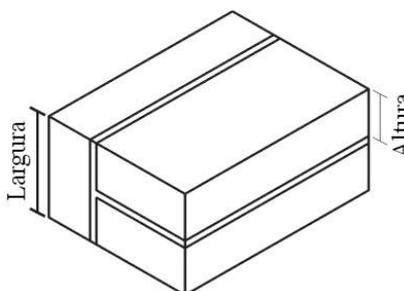


Figura 28: relação entre dois tijolos a perpianho e um a cutelo

“Assim, definido o tamanho do tijolo, este atravessou os séculos, até encontrar a experiência brasileira, sempre envolvida pela criatividade em excesso, pelo descumprimento de toda e qualquer norma ou regra, mesmo aquelas ditadas pelo bom senso” (HEINECK, 1991). Dentro desse quadro é que se encontra a variada gama de dimensões de tijolos, que não segue nenhum padrão normativo ou de coordenação dimensional.

Isso acontece, segundo especialistas da área, porque, há poucos anos atrás, com a inflação em torno de 80% ao mês, as olarias introduziram uma medida que lhes garantisse um maior lucro para seus produtos sem que o consumidor final percebesse a diferença. A prática comercial de venda de tijolos no Brasil é o milheiro, ou seja, os tijolos são comercializados de 1000 e 1000 unidades. Com a inflação, o preço unitário do tijolo aumentava quase que diariamente. Assim, a busca por uma medida que pudesse oferecer mais lucro para as olarias e aparentemente não representasse um aumento efetivo do preço unitário do tijolo fez com que se mantivesse o

mesmo preço das 1000 unidades (milheiro), porém as dimensões dos tijolos foram consideravelmente reduzidas (ZECHMEISTER, 2003).

Esta medida fez com que a partir de então, com o mesmo número de tijolos (1000) não fosse mais possível construir a mesma área que anteriormente, mas uma área significativamente menor. A consequência desta tática de mercado não foi apenas uma perda econômica para o consumidor final, mas também uma redução na qualidade da construção, uma vez que resultou na redução da racionalização desse processo construtivo, pois as novas unidades não estavam mais vinculadas às regras de proporcionalidade (ou mesmo de coordenação modular) do tijolo clássico (ZECHMEISTER, 2003).

Outra desvantagem em se utilizar peças muito pequenas é apontada por Heineck (1991), em um estudo sobre o tamanho dos tijolos e a produtividade das alvenarias. Esse estudo verifica que há perdas em termos de produtividade quando são utilizadas peças muito pequenas. O que pode ser observado na figura 29 na relação entre o consumo de mão-de-obra e o tamanho equivalente dos tijolos para a realização de casas geminadas.

No gráfico (figura 29) o consumo da mão-de-obra é dado em horas x homem (hxm). O tamanho equivalente dos tijolos é obtido tomando-se como base o tijolo de 10 x 5 x 20 cm com área da face (20 x 5 cm) equivalente a 0,01 m² e portanto com tamanho equivalente igual a 1. Os seguintes tamanhos equivalentes foram obtidos mantendo a largura de 10 cm e variando as áreas das faces. Assim, um tijolo com tamanho equivalente a 2 tem área de face igual a 0,02 m² (cobre 0,02 m² de parede), com dimensões de 10 x 7,5 x 27 cm. Um tijolo com tamanho equivalente a 12 teria uma área de face de 0,12 m², com dimensões aproximadas de 10 x 25 x 48 cm.

Ao analisar esse gráfico (figura 29) verifica-se (HEINECK, 1991) a redução no consumo de mão-de-obra a medida que crescem os tijolos em termos de área equivalente de face. Ao dobrar o tamanho em relação ao menor dos tijolos testados, o consumo cai de 190 horas para cerca de 120 horas, um ganho de mais de 30%. No limite, para blocos na forma já de placas (tamanho equivalente a 12), o consumo é de 60 horas para execução de toda alvenaria de 2 casas, cada uma com aproximadamente 80 m² de área de piso, e cerca de 90 m² de alvenaria e o aumento do consumo de mão-de-obra, apresentado através de pontilhado, no gráfico da figura 29, na prática, para blocos maiores do que o tamanho equivalente a 8 (área da face de 0,08 m², com 20 x 10 x 40 cm). Isso ocorre devido ao aumento do peso do bloco, o que exige um manuseio com 2 mãos, impedindo que o pedreiro busque simultaneamente a peça cerâmica e a argamassa para seu assentamento.

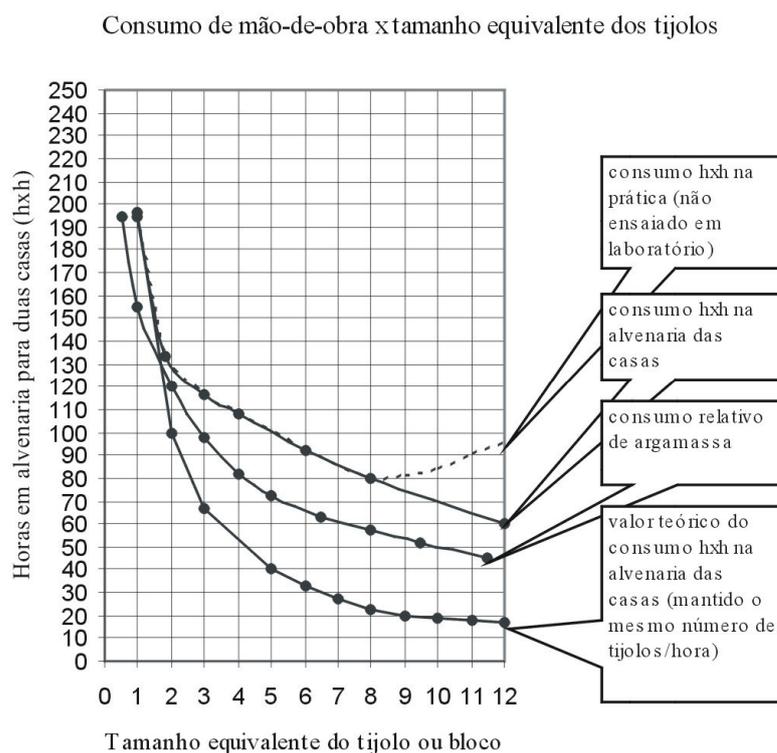


Figura 29: relação entre o consumo de mão-de-obra e o tamanho equivalente dos tijolos (HEINECK, 1991)

Conforme Heineck (1991), na figura 29 verifica-se que diante de vantagens tão contundentes em manter-se ou até aumentar os tamanhos clássicos dos tijolos cabe examinar as perdas que vem ocorrendo para o setor de produção da cerâmica vermelha e para os construtores ao comprar, e executar peças com dimensões cada vez menores, vendidas por milheiros. Heineck (1991) ressalta também que insistir em práticas improdutivas apenas mina a indústria da construção civil, diante de outros segmentos industriais que entendem que tais perdas são sempre maneiras autofágicas de destruir a atividade econômica, tanto a nível individual como global.

4.2.2 Dimensões dos blocos

Para se obter ganhos em termos de velocidade e de espaço construído, o tijolo evoluiu para o tijolo furado, de 20 x 20 x 20 cm, e, posteriormente, para o bloco de concreto de 20 x 20 x 40 cm (TAUIL, 1990). Os blocos de concreto, por sua vez, são os mais utilizados nos edifícios em alvenaria estrutural no Brasil (FRANCO, 1992). Seguidos destes estão os blocos cerâmicos, os sílico-calcários e os de concreto celular autoclavado (COZZA, 1998).

Com relação à falta de padronização dos blocos, o problema maior está na unidade básica mais utilizada no Brasil, com dimensão nominal de 15 x 20 x 40 cm (FRANCO, 1992). Essa

dimensão não permite utilização de uma malha horizontal modular de projeto nem de 2M, nem de 3M. Assim, dificulta a amarração entre os elementos e a racionalização do projeto arquitetônico. A origem dessa dimensão está no bloco utilizado nos Estados Unidos para espessura de parede de 15 cm. No entanto, a unidade básica modular americana não é o bloco com 15 cm de largura (6" x 8" x 16"), mas sim o bloco com dimensões 20 x 20 x 40 cm (8" x 8" x 16") (BEAL, 1987). Porém este formato foi praticamente descartado pelos brasileiros devido a questões econômicas, a condições climáticas mais amenas e também a inexistência de abalos sísmicos.

A utilização de blocos de 15 x 20 x 40 cm exige o emprego de blocos especiais pois, conforme já foi visto anteriormente, sua largura não é múltipla do seu comprimento. Esses blocos complementares possuem largura de 5, 35 e 55 cm e são necessários para permitir o ajuste à malha modular 2M. Esta adaptação, entretanto, se apresenta na maioria das vezes como uma solução provisória, pois os projetos com esse conjunto de blocos não são, em geral, concebidos para a utilização de tais componentes de ajuste. Assim, para a definição do projeto executivo ocorrem ainda várias situações não previstas, como o uso de zonas não-modulares. Essas zonas, que deveriam ser de uso restrito, demandam uma análise particularizada para cada caso, não permitindo a padronização dos detalhes tanto no projeto como na execução (FRANCO, 1992).

Ramos et al. (2003) verificaram que a execução com os blocos de 15 x 20 x 40 (identificados em sua pesquisa como do sistema modular de 40 cm) têm menor produtividade quando comparados aos blocos do sistema modular de 30 cm (15 x 20 x 30 cm). Essa pesquisa também aponta como problema a inexistência da relação entre comprimento e largura destes blocos e, conseqüentemente, a exigência de peças especiais para o ajuste à malha modular. Nesta pesquisa é enfatizado que não há ganho de produtividade para unidades com área da face maiores. Ao contrário, os blocos do sistema modular de 30 cm, mesmo com a área da face 32% menor, obtiveram maior produtividade. Essa maior produtividade pode ser explicada porque a diminuição da área da face do bloco foi acompanhada da redução do seu peso. A diferença de peso entre o bloco de concreto básico de 15 x 20 x 40 cm para o de 15 x 20 x 30 cm, 23% mais leve, também contribui para a fadiga do pedreiro (RAMOS et al., 2003).

A pesquisa conclui que edifícios do sistema modular de 30 cm têm melhores resultados de produtividade. Seus projetos são mais racionalizados, permitindo mais rapidez na execução. As ligações feitas pela contrafiamento entre as unidades são mais simples e efetivas que o uso de grampos ou blocos complementares, como é geralmente necessário no sistema de 40 cm. Os pedreiros que participaram do programa e trabalharam com ambos os sistemas afirmam

que o bloco de 30 cm teve menor demanda em termos de esforço físico e mental (RAMOS et al., 2003).

4.3 O PROJETO E A EXECUÇÃO EM ALVENARIA ESTRUTURAL NO BRASIL

“A alvenaria estrutural para prédios de vários pavimentos tornou-se uma opção de construção no mundo, devido a vantagens como flexibilidade de construção, economia, valor estético e velocidade de construção. A grande vantagem que a alvenaria estrutural apresenta é a possibilidade de incorporar facilmente os conceitos de racionalização, produtividade e qualidade, produzindo ainda, construções com bom desempenho tecnológico aliado a baixos custos” (ROMAN et al. , 1999).

Fabrício e Melhado (1998) apontam que um importante ponto da transformação que a indústria da construção vem sofrendo é o aumento da exigência dos clientes em relação à qualidade. Esta qualidade começa a ser valorizada como elemento importante para a competitividade. Dentro da ótica de busca de melhoria de desempenho, através de uma perspectiva global dos empreendimentos, a concepção e os projetos desempenham um papel estratégico, na medida que, segundo Franco e Agyopan (1993, apud FABRÍCIO; MELHADO, 1998), é nesta fase que se tomam as decisões que trazem maiores repercussões nos custos, velocidade e qualidade dos empreendimentos.

Segundo Messenguer (1989, apud OHASHI, 2001), durante um processo de construção, um empreendimento está dividido em cinco etapas: viabilização, projeto, fabricação de materiais e componentes, construção e utilização. A etapa de projeto tem sido identificada como uma das grandes responsáveis por problemas ocorridos durante e após o término da obra (OHASHI, 2001). Para Abrantes (1995, apud OHASHI, 2001), 60% das patologias nas construções se referem a esta fase do processo produtivo.

Atualmente, é comum encontrar projetos com baixo nível de detalhamento e coerência entre suas partes e principalmente sem coerência organizacional e tecnológica com aquilo que se pretende construir. Procedimentos incorretos em relação ao desenvolvimento de projetos arquitetônicos ainda são observados quando, por exemplo, se procura adaptar um projeto arquitetônico ao processo construtivo em alvenaria estrutural (FRANCO, 1992).

No entanto, não são apenas os projetos ditos adaptados que estão tendo baixa qualidade, pois, Machado (1999), em sua dissertação, diz que os arquitetos do sul do Brasil não são

suficientemente qualificados para projetar em alvenaria estrutural e demonstraram insuficiente conhecimento tecnológico neste tipo de processo construtivo.

Um dos problemas no Brasil é que os requisitos necessários para se elaborar um projeto arquitetônico desenvolvido para o processo construtivo em alvenaria estrutural (como a coordenação modular) não estão sendo corretamente utilizados porque:

- a) o arquiteto geralmente não recebe a informação sobre o processo construtivo a ser utilizado para lançar o partido, precisando adaptar o projeto inicial (MACHADO, 1999);
- b) os projetistas desconhecem os requisitos técnicos porque na sua formação não existe uma base que dê respaldo para este conhecimento específico (CARVALHO, 2000);
- c) a maioria dos elementos utilizados neste processo construtivo não são coordenados modularmente e necessitam de rigorosa padronização (ANDRADE, 2000).

Em relação à falta de informação sobre o processo construtivo, Machado (1999) aponta que a maioria dos empreendedores, ao contratar um arquiteto para fazer um projeto, não informa qual o processo construtivo que será adotado no empreendimento. Com isto, o arquiteto lança suas primeiras idéias sem levar em consideração os requisitos técnicos que, por exemplo, o processo em alvenaria estrutural impõe. Considera apenas as restrições legais, referentes, por exemplo, ao código de edificações, como as áreas mínimas a serem adotadas. As primeiras adaptações da idéia original, com relação ao processo adotado, normalmente, surgem apenas na fase de anteprojeto ou mesmo, depois do projeto ter sido aprovado pelos órgãos competentes. Este fato gera uma perda significativa nas vantagens do processo, principalmente porque a modulação fica condicionada ao projeto que foi aprovado e não às medidas modulares.

Segundo Carvalho (2000), o desconhecimento dessa tecnologia construtiva ocorre, essencialmente, devido ao fato dos currículos dos cursos de graduação em engenharia e arquitetura darem pouca ou nenhuma ênfase a este conteúdo específico. Por esta razão, é pequena a parcela de profissionais que chega ao mercado de trabalho conhecendo os fundamentos da construção em alvenaria estrutural, como um processo integrado, fato que também dificulta a implantação desta tecnologia.

Com relação à falta de padronização da maioria dos elementos utilizados neste processo pode-se observar que, apesar da coordenação modular ter sido objeto de pesquisas e experimentos durante muitos anos no Brasil, o seu uso nunca foi efetivamente consolidado. Ao contrário, observou-se o aumento do desinteresse nestas últimas décadas, o que pode ser verificado na

absoluta falta de coordenação das dimensões dos componentes e dos edifícios (ANDRADE, 2000).

Hoje, devido a mudanças econômicas no contexto da produção de edificações, os processos de racionalização e compatibilização voltam a ser considerados como alternativa para a necessária redução de custos e aumento de produtividade, aliados, dessa vez, à qualidade construtiva e ambiental (LUCINI, 2001). A variedade produzida na atualidade é muitas vezes injustificada, podendo ser reduzida, sem afetar as exigências do produto, através da uniformização de alguns requisitos da produção, um dos quais é a dimensão (ANDRADE, 2000).

“O desenvolvimento de projetos em alvenaria estrutural exige do projetista estrutural procedimentos diferentes dos tomados quando do cálculo de outros tipos de estruturas. Por serem processos diferentes, com filosofias distintas, o projetista e o construtor não devem conceber soluções com base em conhecimentos e procedimentos aplicáveis ao concreto armado, mas naqueles específicos à alvenaria estrutural”. Assim, é importante o conhecimento por todos projetistas (como por exemplo, do projeto arquitetônico, hidráulico, elétrico, estrutural) das formas de potencializar as vantagens da alvenaria estrutural, obtendo maior qualidade e economia das edificações construídas usando este processo (ROMAN et al., 1999).

Segundo Franco (1992), na mão de projetistas criativos a morfotectônica⁶ pode ser uma poderosa ferramenta para a obtenção de um mais alto nível de perfeição global em projeto de arquitetura. É o caso do trabalho expressivo de Eládio Dieste (figura 30), arquiteto uruguaio, que explora a capacidade resistente da alvenaria armada, através do uso de formas elaboradas e complexas.

Na elaboração dos projetos complementares, hidráulico e elétrico, o projetista deverá interagir com o arquiteto, para definir a quem caberá o detalhamento do projeto executivo. O projeto executivo é fundamental para que se consiga atingir o máximo de vantagens que o processo construtivo em alvenaria estrutural permite. É através dele que se faz a integração entre as soluções do escritório e sua aplicação. O projeto arquitetônico (figura 31) é restringido pelos condicionantes ligados a todos os demais projetos. Por outro lado, ele é o projeto que estabelece o partido geral do edifício, e assim condiciona o desenvolvimento de todos os demais (ROMAN et al., 1999).

⁶ Morfotectônica: filosofia que trata da união da arquitetura com a forma estrutural, estuda a influência de aspectos físicos dos materiais de construção e métodos de construção destas formas, e a expressão estética, de resistência e estabilidade, inerentes a estas formas (MACHADO, 1999).



Figura 30: Igreja de Atlântida e construção da Igreja San Juan de Avila de Eladio Dieste (ELADIO DIESTE, 2003)



Figura 31: o papel do projeto arquitetônico em relação aos demais projetos

Assim, para se elaborar um projeto arquitetônico para alvenaria estrutural é preciso conhecer os condicionantes do projeto, trabalhar sobre o quadriculado multimodular de referência, buscar a simetria entre paredes estruturais, utilizar dutos para passagens das tubulações (*shafts*), desenhar a primeira e a segunda fiadas. Além disso, fazer a paginação, que é a elevação de cada uma das paredes do projeto, detalhar as amarrações, vergas, contravergas, aberturas e pontos grauteados, apresentar os apoios das lajes e participar da troca de informações com os demais projetistas (ROMAN et al., 1999).

No entanto, segundo Franco (1992), no Brasil o projeto é muitas vezes colocado em segundo plano, sendo elaborado um mínimo de aprofundamento das soluções construtivas, postergando-se estas para solução durante a execução. Em geral, os projetos são produzidos separadamente, sem que haja uma coordenação sobre eles. Uma outra deficiência comumente encontrada nos projetos é a pouca importância que é dada aos aspectos de construtibilidade.

Na construção civil, ainda ocorre o emprego maciço de mão-de-obra nas diversas atividades. Esta situação é especialmente importante nas obras em alvenaria estrutural, pois, nestes processos, uma grande parte destas atividades é ainda desenvolvida no canteiro de obras, em

contraposição a outros processos racionalizados, nos quais se procura dar maior ênfase à produção dos elementos em fábricas (FRANCO, 1992). A maior parte dessa mão-de-obra ainda é formada de improviso e o treinamento é acelerado e assistemático. O treinamento é pouco incentivado, configurando uma desqualificação geral e elevado índice de rotatividade (ROMAN et al., 1999).

Com a escassez de mão-de-obra qualificada no mercado, constata-se cada vez mais, a baixa qualidade dos resultados. Tal fato gera retrabalho para reparar falhas de construção que muitas vezes, não chegam a ser diretamente observadas no produto final, mas que acusam grande desperdício de material e pouca eficiência no emprego da mão-de-obra (ROMAN et al., 1999). Transformar uma mão-de-obra mal preparada e desmotivada em um grupo de profissionais competentes e treinados representa um desafio e requer um investimento adequado. Um primeiro passo para esta mudança de mentalidade é a elaboração de programas de treinamento (FRANCO, 1992).

Ainda com relação à execução, Franco (1992) afirma que no Brasil está arraigada na prática construtiva a idéia de que, com a ajuda de um profissional prático e experiente, é possível resolver todos os problemas da obra. Como também o fato de deixar para o executor resolver soluções que deveriam ter sido pensadas no projeto. Essa situação, embora possa ter sido induzida por problemas como o baixo nível de detalhamento dos projetos, pode levar a desperdícios e ao surgimento de patologias.

Enfim, a fase de execução é apresentada por Franco (1992) como crucial para a implementação das diretrizes de racionalização, que levam, na sua opinião, a um incremento do nível de qualidade e industrialização, tanto dos produtos como dos processos de produção. Entretanto, a racionalização da execução está diretamente relacionada à racionalização da fase de concepção, que permite o aumento da construtibilidade. Esta, por sua vez, está intimamente relacionada com a utilização de componentes padronizados em suas formas e dimensões.

5 A ALVENARIA ESTRUTURAL NA ALEMANHA

A alvenaria sempre teve um importante papel na indústria da construção da Alemanha (SCHÖPS, 2003). No entanto, seu desenvolvimento foi diferenciado, dependendo, por exemplo, da região onde estava localizada e do método de construção utilizado. A influência do clima foi uma das causas para esta variação, além de outros requisitos como os econômicos. Exemplo disso é a preferência pelo uso de paredes maciças, ao contrário da Inglaterra e Estados Unidos onde são mais comuns as paredes duplas (JÄGER et al., 2003).

Primeiramente, a arte de combinar tijolos se desenvolveu na construção de castelos, claustros e igrejas. As residências só foram construídas em alvenaria quando foi verificado o custo-benefício de aspectos como segurança e durabilidade (SCHÖPS, 2003). O desenvolvimento das primeiras regras de construção para alvenaria data do final do Período Carolíngio (séculos VIII à X). No final do século XIX, com o advento da prensa, deu-se o início da industrialização de tijolos. Também nesse período já se encontravam desenvolvidos os componentes sílico-calcários, de escória de alto-forno, vazados, de vedação e estudos sobre as propriedades de isolamento térmico, entre outros (CZIESIELSKI, 1993). Atualmente, a alvenaria é o processo construtivo mais empregado no setor habitacional na Alemanha (SCHÖPS, 2003).

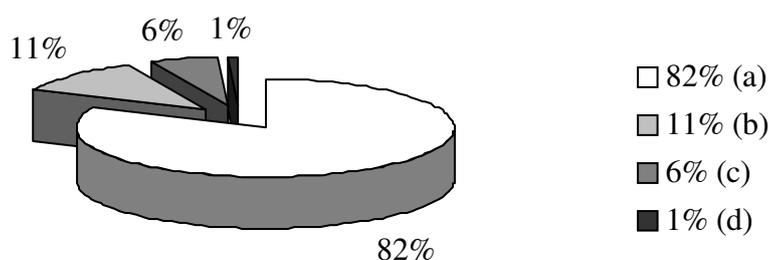
Na década de 50 a coordenação modular foi amplamente discutida, tanto na Alemanha, como em outros países (França, EUA, Bélgica, Finlândia, etc.) como é apontado pela Technische Hochschule Hanover (1067). Assim, devido à facilidade de acesso às informações e à ampla discussão deste assunto, a Alemanha foi escolhida para ser objeto de estudo neste trabalho. Os ensaios que antecipam os estudos da década de 50 são da década de 20, como por exemplo, no projeto de Gropius para a *Weissenhof* de Stuttgart em 1927. Pouco tempo depois, durante a Segunda Guerra Mundial, Ernst Neufert desenvolveu o sistema octamétrico. Este sistema previu a importância que seria dada mais adiante à coordenação modular para a indústria da construção naquele País (BNH/IDEG, 1976).

No Diário Oficial nº 4 de 5 de fevereiro de 1952 foi homologada a coordenação dimensional na construção civil na antiga República Democrática Alemã (DDR), praticamente ao mesmo tempo que na República Federativa da Alemanha com a DIN 4172 – Coordenação dimensional na construção, em julho de 1955 (DIN, 1955). Na mesma época, Frick e Knöll (1954) afirmaram que no futuro todas os elementos construtivos seriam desenvolvidos a partir da coordenação dimensional e que esta seria a base para toda a normatização da construção civil. Já naquela época, via-se aberto o caminho para uma intensa racionalização da indústria da construção civil, como também para simplificação do projeto arquitetônico. Mas para que

isso fosse possível, um requisito essencial era que o arquiteto aprendesse a pensar em coordenação dimensional.

A partir da primeira edição da DIN 105 em agosto de 1922, que trata das unidades cerâmicas de alvenaria, a dimensão dos tijolos foi padronizada e o *Reichsformat* deu lugar ao *Normalformat* (NF) com 24 cm x 11,5 cm x 7,1 cm. O motivo para a mudança foi a impossibilidade de com o uso do *Reichsformat* construir uma parede que medisse 1 m em largura ou espessura sem que se cortassem os tijolos. Com o NF era possível satisfazer as medidas do sistema métrico, pois estava baseado no sistema octamétrico de medidas (FRICK; KNÖLL, 1954).

Atualmente, as indústrias alemãs continuam produzindo uma grande variedade de produtos em alvenaria que vão ao encontro dos requisitos exigidos pelas estruturas modernas do novo milênio. A figura 32 mostra uma visão geral de como é a distribuição do mercado no setor habitacional na Alemanha (SCHÖPS, 2003). Como pode ser visto na figura 32, a alvenaria consome a maior fatia de mercado do setor habitacional. Isso é uma grande demanda, pois cerca de 82% das novas residências são construídas nesse processo construtivo. Por sua vez, pode ser observado na figura 33 que dentre as indústrias de unidades de alvenaria, a que mais se destaca, é a indústria cerâmica, com cerca de 45% das unidades produzidas na Alemanha (JAHRESBERICHT DGfM, 2000 apud SCHÖPS, 2003).



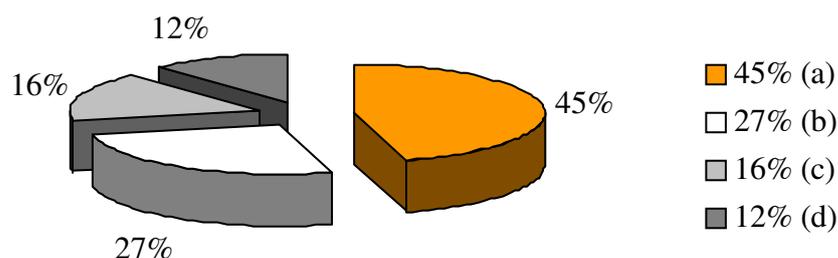
Legenda:

	(a) construções em alvenaria
	(b) construções em concreto armado e estrutura metálica
	(c) construções em madeira
	(d) outras construções

Figura 32: distribuição do mercado de construções no setor habitacional na Alemanha referente aos vistos de aprovação concedidos em 2000

(baseado em JAHRESBERICHT DGfM, 2000 apud SCHÖPS, 2003).

Nos itens a seguir, é feita uma explanação sobre as normas técnicas alemãs sobre coordenação modular e as que dizem respeito à padronização das unidades de alvenaria. No apêndice 1 o assunto é complementado com características das unidades na Alemanha e um panorama geral da situação atual da alvenaria estrutural tanto para o projeto como para a execução naquele país.



Legenda:

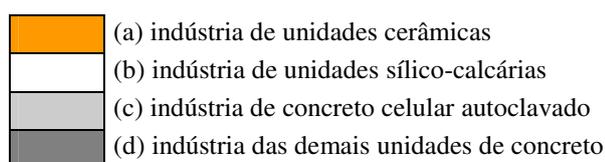


Figura 33: distribuição do mercado entre as indústrias de unidades de alvenaria na Alemanha em 2001
(baseado em JAHRESBERICHT DGfM, 2000 apud SCHÖPS, 2003).

5.1 NORMAS ALEMÃS DE COORDENAÇÃO MODULAR E PARA A DEFINIÇÃO DAS DIMENSÕES DAS UNIDADES DE ALVENARIA

O Instituto Alemão de Normatização (DIN – *Deutsches Institut für Normung*) foi fundado em 1917, mas somente em 1975 foi reconhecido pelo governo alemão como o órgão nacional. Seu compromisso com a normatização é de ser um serviço que tem como meta beneficiar toda a comunidade. Além disso, o resultados de seu trabalho têm uma influência significativa na performance econômica tanto nos níveis público como privado. Prova disso foi uma pesquisa realizada em 2000, juntamente com o Ministério de Economia, em que foi confirmado que os benefícios econômicos globais da normatização para a economia alemã são de aproximadamente 16 bilhões de dólares por ano (DIN, 2000c).

As normas alemãs visam promover a racionalização além de assegurar a qualidade, segurança e proteção ambiental. Seu uso facilita a troca de informações entre indústria, tecnologia, ciência, governo e domínio público (DIN, 2004). Na Alemanha, as normas geralmente são

compulsórias (LIVE-LINK-HELP, 2004), entretanto, as normas de construção que foram integradas através da implantação da fiscalização das construções têm caráter obrigatório. A fiscalização das obras na Alemanha é feita pelo Estado, o qual, com base nas regras de coordenação da construção, é responsável pela segurança das construções. Atualmente, são cerca de 450 normas que têm essa designação, ou seja, as normas para unidades de alvenaria, argamassa e para o cálculo e execução da construção. Qualquer observação que não esteja nessas normas deve ter autorização especial da fiscalização (KOPACEK, 2004). Nos itens seguintes serão detalhadas as normas alemãs de coordenação modular e as para definição das dimensões das unidades de alvenaria.

5.1.1 Normas alemãs sobre coordenação modular

As normas alemãs que tratam dos aspectos fundamentais da coordenação na construção são a DIN 4172 (DIN, 1955) e a DIN 18000 (DIN, 1984). A DIN 4172, que trata da coordenação dimensional, teve origem nos estudos de Neufert e foi homologada em 1955 (DIN, 1955). Somente 30 anos depois dessa norma ter sido consolidada por seu uso é que entrou em vigor em 1984 a DIN 18000 (DIN, 1984), que trata da coordenação modular. Mas, existem outras normas mais específicas sobre determinados tópicos. As principais estão na figura 34.

Código	Assunto	Publicação
DIN 323-1	Números e série de números preferidos: valores principais, exatos e arredondados	08/1974
DIN ISO 2768-1	Tolerâncias para dimensões lineares e angulares sem indicações individuais de tolerância	06/1991
DIN ISO 2768-2	Tolerâncias para formas e posições sem indicação de tolerância individual	04/1991
DIN 4172	Coordenação dimensional na construção	07/1955
DIN 7168	Tolerâncias para dimensões angulares e lineares e tolerâncias de forma e posição: não devem ser usadas em novas construções	04/1991
DIN ISO 8560	Desenho técnico: representação de dimensões, linhas e malhas modulares	01/1989
DIN 18000	Coordenação modular na construção	05/1984
DIN 18201	Tolerâncias na construção: terminologia, princípios, aplicações e testes	04/1997
DIN 18202	Tolerâncias dimensionais na construção	04/1997
DIN 18203-1	Tolerâncias dimensionais na construção: componentes pré-fabricados de concreto armado e protendido	04/1997
DIN 18203-2	Tolerâncias dimensionais na construção: componentes pré-fabricados em aço	05/1986
DIN 18203-3	Tolerâncias dimensionais na construção: componentes em madeira	08/1984

Figura 34: normas alemãs de coordenação na construção (DIN, 2004)

A DIN 4172 (DIN, 1955) recomenda o uso de números preferidos para a construção. Estes números são usados para definir as medidas diretrizes da obra e suas derivadas: medidas isoladas, da obra em osso e da obra acabada. Como pode ser visto na figura 35, os números preferidos estão baseados nos múltiplos e submúltiplos do número 25. Destes, os correspondentes às colunas a, b e i pertencem ao sistema octamétrico enquanto que os correspondentes às colunas g e h pertencem ao sistema decimétrico.

Série de números preferidos								
Medida da obra em osso				Medidas isoladas	Medida da obra acabada			
a	b	c	d	e	f	g	h	i
25	25/2	25/3	25/4	25/10 = 5/2	5	2 x 5	4 x 5	5 x 5
25	12 1/2 25	8 1/3 16 2/3 25	6 1/4 12 1/2 18 3/4 25	2,5 5 7,5 10 12,5 15 17,5 20 22,5 25	5 10 15 20 25	10 20	20	25
50	37 1/2 50	33 1/3 41 2/3 50	31 1/4 37 1/2 43 3/4 50	27,5 30 32,5 37,5 40 42,5 45 47,5 50	30 35 40 45 50	30 40 50	40	50
75	62 1/2 75	58 1/3 66 2/3 75	56 1/4 62 1/2 68 3/4 75	52,5 55 57,5 60 62,5 65 67,5 70 72,5 75	55 60 65 70 75	60 70	60	75
100	87 1/2 100	83 1/3 91 2/3 100	81 1/4 87 1/2 93 3/4 100	77,5 80 82,5 85 87,5 90 92,5 95 97,5 100	80 85 90 95 100	80 90 100	80 100	100

Figura 35: números normalizados para construção segundo a DIN 4172 (DIN, 1955)

A DIN 4172 (DIN, 1955) também apresenta medidas pequenas, inferiores a 2,5 cm (menor medida da figura 35) e que são definidos pela série R10 da DIN 323-1 – Números e série de números preferidos: valores principais, exatos e arredondados (DIN, 1974), em centímetros:

- a) 2,5; 2,0; 1,6; 1,25; 1,0;
- b) 0,8; 0,63; 0,5; 0,32;
- c) 0,25; 0,2; 0,16; 0,125; 0,1.

Além disto, através da interpretação da DIN 4172 é possível identificar as seguintes regras para as medidas da construção (DIN, 1955):

- a) medida externa ($mE = n.M - 1$) – é a medida múltipla do módulo básico menos 1 cm da junta;
- b) medida de abertura ($mA = n.M + 1$) – é a medida múltipla do módulo básico + 1 cm de junta;
- c) medida de saliência ($mS = n.M$) – é a própria medida do módulo básico ou de seu múltiplo.

A DIN 18000 (DIN, 1984) foi implantada para que a Alemanha pudesse participar de acordos internacionais, pois, a maioria dos países adota o sistema decimétrico. Esta norma define o módulo M igual a 10 cm, os multimódulos 3M, 6M e 12M e os submódulos iguais a 2,5, 5,0 e 7,5 cm. Essas dimensões deverão ser utilizadas internacionalmente, inclusive na comparação com o sistema pé-polegada, pois 1 pé é cerca de 30 cm (JÄGER et al., 2003). Essa norma também define uma série de números preferíveis para o uso na construção que pode ser observada na figura 36.

Atualmente ambas as normas estão em vigor, mas as dimensões dos formatos das unidades de alvenaria são definidas pelo sistema octamétrico normatizado pela DIN 4172 (DIN, 1955). Apesar desta incoerência, Zechmeister e Duarte (2004) afirmam que ainda não existe uma norma que compatibilize as dimensões das unidades ao sistema decimétrico proposto pela DIN 18000 (DIN, 1984).

Segundo entrevista com o professor Klaus Scheidig⁷, a Alemanha está passando pela necessária transição entre estes dois sistemas, mas apesar disto, os envolvidos no setor construtivo não demonstram interesse neste tema. Também foi constatado que essa mudança não está próxima de ocorrer, pois o sistema octamétrico continua arraigado à tradição construtiva naquele país (ZECHMEISTER; DUARTE, 2004). Assim, como não se busca o

⁷ Prof. Klaus Scheidig: arquiteto, professor, doutor aposentado da Faculdade de Arquitetura da Universidade Técnica de Dresden especialista em coordenação modular. Entrevista realizada em março de 2003 na cidade de Dresden, Alemanha.

aprimoramento no que se refere às medidas octamétricas, a coordenação modular decimétrica ainda não conseguiu ser implantada na Alemanha (PFEIFER et al., 2001).

Série de números preferidos			
Múltiplos dos multimódulos			Múltiplos do módulo
12M	6M	3M	M
			1M
			2M
		3M	3M
			4M
			5M
	6M	6M	6M
			7M
		9M	8M
			9M
			10M
12M	12M	12M	11M
			12M
			13M
		15M	14M
			15M
			16M
	18M	18M	17M
			18M
			19M
		21M	20M
			21M
			22M
24M	24M	24M	23M
			24M
			25M
		27M	26M
			27M
			28M
			29M
			30M
	30M	30M	
		33M	
36M	36M	36M	
		39M	
	42M	42M	
		45M	
48M	48M	48M	
		51M	
	54M	54M	
		57M	
60M	60M	60M	
	66M		
72M	72M		
	78M		
84M	84M		
	90M		
96M	96M		
	102M		
108M	108M		
	114M		
120M	120M		
132M			
144M			
156M			
168M			
180M			
etc.			
Série dupla na diagonal			

Figura 36: série de números preferidos da DIN 18000 (baseado em DIN, 1984)

Apesar da Alemanha ainda não ter se adaptado ao sistema decimétrico, os estudos minuciosos em coordenação na construção desenvolvidos naquele país, em especial para os formatos das unidades de alvenaria, devem servir de referência para o advento de novos formatos baseados

no sistema decimétrico proposto por diversas normas: DIN 18000 (DIN, 1984); ISO 1006 (ISO, 1983a) e NBR 5706 (ABNT, 1977).

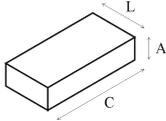
5.1.2 Normas alemãs sobre dimensões das unidades de alvenaria

Na Alemanha, as unidades de alvenaria podem ser naturais ou artificiais. As naturais são regulamentadas pela DIN 1053-1 – Alvenaria: projeto e construção (DIN, 1996) e as artificiais são regulamentadas de acordo com seu material constituinte, ou seja, unidades cerâmicas, sílico-calcárias, de concreto celular autoclavado, de concreto, de concreto leve e de concreto de escória de alto-forno (PFEIFER et al., 2001). A DIN 1053-1 (DIN, 1996) diz que para o projeto e execução em alvenaria só podem ser usadas as unidades artificiais definidas pelas normas da figura 37, além das unidades naturais definidas pela mesma norma. Na figura 37 está a lista de normas que estabelecem as dimensões para os formatos das unidades de alvenaria.

Código	Assunto	Publicação
DIN V 105-1	Unidades cerâmicas de alvenaria: unidades maciças e perfuradas de classe de densidade > 1,2	06/2002
DIN 105-2	Unidades cerâmicas de alvenaria: unidades com isolamento térmico e unidades perfuradas de classe de densidade ≤ 1,0	06/2002
DIN 105-3	Unidades cerâmicas de alvenaria: tijolos e tijolos recozidos com alta resistência	05/1984
DIN 105-4	Unidades cerâmicas de alvenaria: tijolos e tijolos recozidos	05/1984
DIN 105-5	Unidades cerâmicas de alvenaria: tijolos leves perfurados horizontalmente e painéis leves perfurados horizontalmente	04/1991
DIN V 106-1	Unidades sílico-calcárias de alvenaria: unidades maciças e perfuradas, blocos maciços e vazados, unidades e elementos de grande precisão, unidades chanfradas, placas, unidades de forma	02/2003
DIN V 106-2	Unidades sílico-calcárias de alvenaria: unidades aparentes e de ornamento	02/2003
DIN 398	Unidades de concreto de escória de alto-forno: unidades sólidas, perfuradas e vazadas	06/1976
DIN 1057-1	Materiais de construção para chaminés isoladas: tijolos radiais, requisitos, testes e inspeções	07/1985
DIN V 4165	Unidades e elementos de concreto celular autoclavado de alta precisão	06/2003
DIN V 18151	Blocos vazados de concreto leve	10/2003
DIN V 18152	Blocos e tijolos maciços de concreto leve	10/2003
DIN V 18153	Unidades de alvenaria de concreto	10/2003

Figura 37: normas alemãs que definem dimensões para unidades de alvenaria apontadas pela DIN 1053-1 (DIN, 1996)

Entretanto, todas as dimensões das unidades de alvenaria normatizadas são definidas por uma regra única. Esta regra se baseia nas combinações de uma unidade básica que dá origem às

Medidas modulares das unidades de alvenaria segundo a DIN V 105-1			
	L (cm)	A* (cm)	C (cm)
1DF	12,5	6,4	25
NF	12,5	8,3	25
2DF	12,5	12,5	25
3DF	18,5	12,5	25
4DF	25	12,5	25
5DF	31,0	12,5	25
6DF	37,5	12,5	25
8DF	25	25	25
10DF	31	25	25
12DF	37,5	25	25
14DF	25	25	43,5
15DF	31	25	37,5
18DF	37,5	25	37,5
16DF	25	25	50
20DF	31	25	50
21DF	37,5	25	43,5

* a medida nominal da altura é referente à junta horizontal de 1,2 cm

Figura 39: medidas modulares das unidades de alvenaria segundo a DIN V 105-1 (DIN, 2002).

Existem ainda formatos fracionados, que surgem a partir da divisão da unidade de alvenaria em $3/4$, $1/2$, $1/4$ no sentido transversal e $1/2$ no sentido longitudinal (figura 40). A vantagem desses formatos está na melhor adaptação através de peças complementares, o que reduz o custo de execução, pois diminui a necessidade de cortes e recortes (PFEIFER et al., 2001).

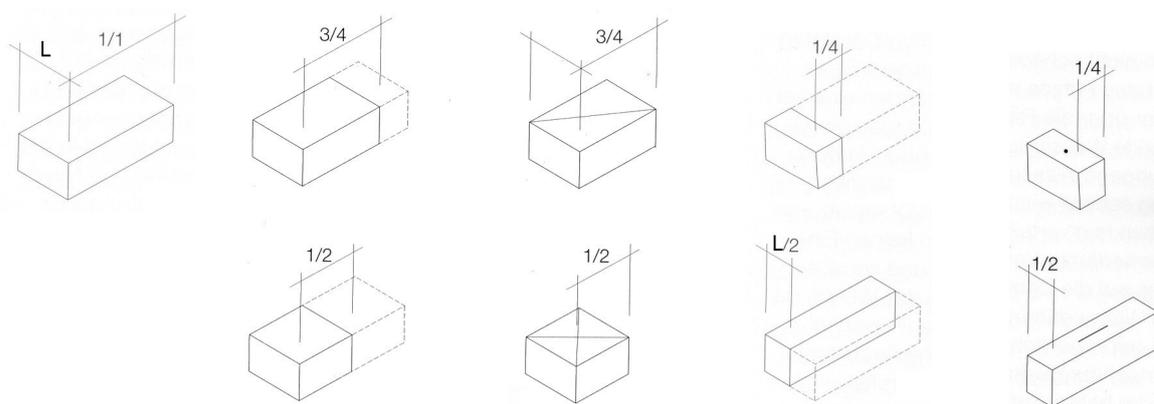


Figura 40: formatos fracionados das unidades de alvenaria (PFEIFER et al., 2001)

6 PROPOSTA DE PADRONIZAÇÃO DAS DIMENSÕES DAS UNIDADES DE ALVENARIA ESTRUTURAL NO BRASIL

Neste capítulo é desenvolvida a proposta para a padronização das dimensões das unidades de alvenaria estrutural no Brasil. Os capítulos anteriores foram a base para a sugestão destas dimensões preferíveis. Assim, primeiramente são vistos os aspectos condicionantes para as dimensões das unidades de alvenaria estrutural no Brasil, dentre estes, os requisitos de coordenação modular, estruturais, culturais, de conforto ambiental, legais, de trabalhabilidade, de intercambiabilidade, bem como, o exemplo da Alemanha na composição das dimensões destas unidades. Com base nestas informações, é feita uma detalhada apresentação das unidades propostas. De posse do conjunto de unidades padronizadas são verificados os arranjos de paredes mais recorrentes, como os encontros em I, L, T e X. Finalmente, é elaborado o projeto piloto tomando como base um projeto desenvolvido para estrutura de concreto armado, que foi adaptado para a alvenaria estrutural, a fim de demonstrar a viabilidade de utilização unidades de alvenaria estrutural propostas.

6.1 ASPECTOS CONDICIONANTES PARA AS DIMENSÕES DAS UNIDADES DE ALVENARIA ESTRUTURAL

Os aspectos condicionantes para as dimensões das unidades de alvenaria estrutural listados abaixo são critérios utilizados para determinar com segurança a proposta de padronização das dimensões das unidades de alvenaria estrutural no Brasil. Como a maioria destes aspectos já foi oportunamente abordada nos capítulos anteriores, o enfoque neste momento será a retomada da discussão a fim de fundamentar a sugestão de uma série de medidas preferidas para as unidades de alvenaria estrutural no Brasil.

6.1.1 Requisitos de coordenação modular

Conforme já foi visto no capítulo 3, o módulo básico (M) no Brasil é 10 cm (ABNT, 1977). Os multimódulos horizontais recomendados são 2M e 3M, a serem usados de forma separada ou conjunta (ABNT, 1982c). O objetivo do emprego do multimódulo é reduzir o número de medidas de coordenação modular (BNH/IDEG, 1976).

A unidade modular de alvenaria é o elemento composto cujas medidas são determinadas a ocupar um espaço modular (ABNT, 1982f). O arquiteto deve estabelecer medidas preferidas,

ao projetar segundo os princípios de coordenação modular, a fim de poder determinar o quadriculado multimodular de referência (ABNT, 1982i). Essas medidas preferidas, (ABNT, 1982h), são medidas selecionadas na série modular, que pode ter razão 2 ou 3, em função dos multimódulos 2M e 3M, ou seja:

- a) 2M, 4M, 6M, 8M, 10M ... ;
- b) 3M, 6M, 9M, 12M, 15M

É conveniente utilizar o multimódulo quando são empregados componentes modulares que definem o dimensionamento de um projeto (BNH/IDEG, 1976), como é o caso das unidades de alvenaria estrutural. Assim, se o comprimento da unidade de alvenaria estrutural (C) for igual aos multimódulos recomendados, poderá medir:

- a) 20, 40, 60, 80, 100 cm ... ;
- b) 30, 60, 90, 120, 150 cm

Segundo Franco (1992), para que se possa empregar uma malha modular coerentemente nas duas direções planimétricas, é necessário que os componentes tenham uma relação entre seu comprimento e largura que permita a amarração nos cantos da alvenaria. Esta amarração pode ser, por exemplo, a de meio ou de um terço de bloco. No caso da amarração a meio bloco, a largura deve ser a metade do comprimento da unidade ($C = 2 \times L$). Assim o resultado da dimensão da largura (L), para os comprimentos vistos anteriormente, será:

- a) 10, 20, 30, 40, 50 cm ... ;
- b) 15, 30, 45, 60, 75 cm

Outra relação interessante a ser explorada é entre o comprimento, a largura e a altura, para tornar possível qualquer tipo de combinação entre as unidades. Recomenda-se que as unidades básicas tenham entre si a proporção 4: 2: 1 (C: L: A). Esta proporcionalidade, largamente utilizada na Europa no início do século XX (PFEIFER, 2001) é interessante do ponto de vista formal, principalmente para efeitos em arranjos com tijolos aparentes. Mas, mesmo que as unidades de alvenaria estrutural só sejam utilizadas com os furos na vertical, esta relação é importante, como acontece na Inglaterra e em outros países, quando é feita uma estrutura principal com blocos estruturais e o seu revestimento com tijolos. Dessa forma, é possível combinar os tijolos em qualquer direção. Neste caso a altura (A), para as larguras vistas anteriormente, será:

- a) 5, 10, 15, 20, 25 cm ... ;
- b) 7.5, 15, 22.5, 30, 37.5 cm

Baldauf (2004) afirma que para os componentes modulares da construção de dimensões inferiores ao módulo básico é admitida a utilização de submódulos, que de acordo com a NBR 5731 (ABNT, 1982j) é de $n.M/4$, ou seja:

- a) $M/4$ (2.5 cm), $2M/4$ (5 cm), $3M/4$ (7,5 cm) ... ;

Enfim, como a ISO 1040 (ISO, 1983b) recomenda para multimódulos horizontais 3M, 6M, 12M, 30M e 60M e se comparado ao sistema pé-polegada, 1 pé é cerca de 30 cm, a série modular adotada será a de razão 3 e o multimódulo adotado será 3M. Logo, o comprimento (C) para a unidade básica será de 30 cm e a largura (L) de 15 cm, obedecendo à regra da proporção ($C = 2 \times L$), pois a amarração adotada será a meio bloco, devido principalmente a facilidade de entendimento pela mão-de-obra menos qualificada. A altura (A) será de 7,5 cm uma vez que atende tanto a regra da proporção 4: 2: 1 (C: L: A) quanto à do submódulo. Assim, a unidade básica medirá 15 x 7,5 x 30 cm (L x A x C).

Apesar da dimensão da unidade básica de 15 x 7,5 x 30 cm ter sido claramente exposta e justificada, foram verificadas as unidades básicas compostas pela série modular de razão 2. A unidade de 10 x 5 x 20 cm foi descartada devido aos requisitos estruturais, e a de 20 x 10 x 40 cm foi descartada devido aos requisitos culturais como será visto a seguir.

6.1.2 Requisitos estruturais

O dimensionamento e a verificação da segurança de paredes não-armadas de alvenaria estrutural pode ser realizado através de dois critérios de projeto distintos: tensões admissíveis ou estados limites (ROVERE; PIGNOLO, 2002). O primeiro é um método determinístico, baseado nas tensões admissíveis e foi empregado nos Estados Unidos, desde longa data, pelos diversos códigos lá existentes (CAVALHEIRO; GOMES, 2002). A NBR 10847 – Cálculo de alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto (ABNT, 1989) tem esta filosofia de segurança, pois foi balizada por tais normas americanas (TAUIL, 1990).

As normas americanas foram atualizadas em 2002 e adotam o segundo método: dos estados limites (OLIVEIRA; SILVA, 2002). É um método semi-probabilístico, baseado em coeficientes parciais de segurança. Além destas normas, também seguem esta filosofia de segurança a norma britânica, a canadense, a neozelandesa (ROVERE; PIGNOLO, 2002) e o EUROCODE 6, que é uma pré-norma unificada de alvenaria estrutural, válida para comunidade europeia, com forte apoio na norma britânica (OLIVEIRA; SILVA, 2002).

Os requisitos estruturais ditados por estes códigos são importantes para determinar, por exemplo, a largura mínima (L) da unidade de alvenaria estrutural. Para isso é necessário saber

a espessura mínima admitida para uma parede de alvenaria estrutural não armada, pois, em geral, as paredes de alvenaria estrutural no Brasil são assentadas tendo como espessura da parede a própria largura (L) da unidade de alvenaria. Esta prática, no entanto, não é comum para todos os países. Na Inglaterra, por exemplo, nos edifícios multifamiliares com mais de 2 pavimentos, as paredes externas são geralmente compostas por uma parede estrutural em blocos revestida por uma parede de tijolos e as paredes internas em geral são de blocos.

A largura mínima (L) para a unidade de alvenaria estrutural, de série modular de razão 2, deve ser igual ao módulo adotado para o Brasil, ou seja, 10 cm em sua medida modular ou 9 cm em sua medida de projeto (já descontado 1 cm da junta de projeto). Entretanto, é necessário verificar se a espessura de 9 cm, para paredes estruturais não armadas, atende aos critérios de projeto existentes.

Quando a parede é esbelta, a tensão de ruptura passa a ser governada pela flambagem, assim, a mínima espessura admitida para a parede estrutural depende de seu índice de esbeltez (λ) que é definido como a razão entre a altura efetiva (h_{ef}) e a espessura efetiva (t_{ef}) da parede ($\lambda = h_{ef}/t_{ef}$), para ambas filosofias de segurança (OLIVEIRA; SILVA, 2002). Mas, apesar da definição de esbeltez ser a mesma, tanto no método de tensões admissíveis como no dos estados limites, a exemplo da NBR 10847 (ABNT, 1989) e da BS 5628 (BSI, 1978), é necessário verificar as definições em ambos códigos para altura efetiva (h_{ef}) e espessura efetiva (t_{ef}).

Em edifícios de alvenaria estrutural com entrepisos em lajes em concreto armado a NBR 10837 (ABNT, 1989) considera como altura efetiva da parede (h_{ef}), para paredes apoiadas na base e no topo segundo a direção normal de seu plano médio, como a altura real da parede (h), conforme a figura 41. Para paredes sem enrijecedores considera a espessura efetiva (t_{ef}) como a espessura real (t) da parede, não considerando os revestimentos. Determina também que o limite de esbeltez de paredes não armadas não deve exceder a 20 (ABNT, 1989).

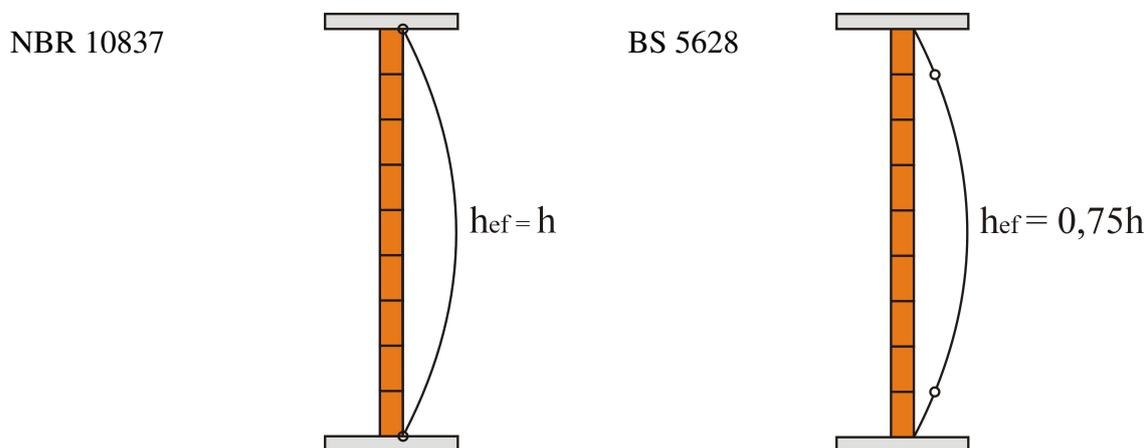


Figura 41: altura efetiva (h_{ef}) segundo a NBR 10837 e a BS 5628

Em contrapartida, a BS 5628 (BSI, 1978) avalia a altura efetiva, considerando a rigidez relativa dos elementos da estrutura ligados à parede e a eficácia das ligações. Nesta avaliação da altura efetiva (h_{ef}) pode ser 0,75 vezes a altura real (h) entre os apoios laterais que asseguram o aumento da resistência aos movimentos laterais, conforme a figura 68. Já a espessura efetiva (t_{ef}) para paredes simples, não enrijecidas por contrafortes ou por paredes contrafiadas, deve ser a espessura real da parede (t). Na BS 5628 (BSI, 1978) o limite para esbeltez de paredes não pode exceder a 27, com exceção dos casos de paredes com menos de 9 cm de espessura, em edifícios com mais de 2 andares, onde a esbeltez não pode exceder a 20.

Assim, tomado como base a altura real de parede (h) com pé-direito mínimo de 260 cm, por exemplo, conforme o Código de Edificações de Porto Alegre (PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE, 2001), e considerando a esbeltez máxima admitida para ambas normas, verifica-se que a espessura de parede de 9 cm, para entrepisos em lajes em concreto armado, não atende o limite de esbeltez para ambas normas, ou seja:

- a) segundo a NBR 10847 (ABNT, 1989) considerando a altura efetiva de 260 cm e a espessura efetiva de 9 cm a esbeltez ($\lambda = h_{ef}/t_{ef}$) resultaria em 28,8, ficando acima do limite de esbeltez admitido que é 20;
- b) segundo a BS 5628 (BSI, 1978) considerando a altura efetiva de 0,75 vezes 260 cm, que é 195 cm e a espessura efetiva de 9 cm a esbeltez ($\lambda = h_{ef}/t_{ef}$) resultaria em 21,6, ficando acima do limite de esbeltez admitido que é 20;

Enfim, devido a restrições estruturais a medida de projeto da largura mínima (L) para a unidade de alvenaria estrutural não pode ser 9 cm e neste estudo será de 14 cm, atendendo portanto a série modular de razão 3. Assim, tomado novamente como base a altura real de parede (h) com pé-direito mínimo de 260 cm, conforme o Código de Edificações de Porto Alegre (PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE, 2001), e considerando a esbeltez máxima admitida para ambas normas verifica-se que a espessura da parede de 14 cm, para entrepisos em lajes em concreto armado, atende o limite de esbeltez para ambas normas, ou seja:

- a) segundo a NBR 10847 (ABNT, 1989) considerando a altura efetiva de 260 cm e a espessura efetiva de 14 cm a esbeltez ($\lambda = h_{ef}/t_{ef}$) resultaria em 18,57, ficando abaixo do limite de esbeltez admitido que é 20;
- b) segundo a BS 5628 (BSI, 1978) considerando a altura efetiva de 0,75 vezes 260 cm, que é 195 cm e a espessura efetiva de 14 cm a esbeltez ($\lambda = h_{ef}/t_{ef}$) resultaria em 13,92, ficando abaixo do limite de esbeltez admitido que é 27;

Segundo Oliveira e Silva (2002), nos códigos baseados no método dos estados limites, como é o caso da BS 5628 (BSI, 1978) e do EUROCODE 6, os fatores de minoração são aplicados diretamente às fontes de incertezas, característica deste método. O que introduz maior

segurança no projeto estrutural e permite melhor visão e entendimento do processo, facilitando eventuais correções e adaptações quando forem necessárias (OLIVEIRA; SILVA, 2002).

Oliveira e Silva (2002) também observam que pelo método dos estados limites o índice de esbeltez reduz quando comparado com a Norma Brasileira. Assim, considerando que a esbeltez influencia no cálculo da tensão admissível, concluem que estes resultados levam a projetos mais econômicos quando dimensionados segundo as recomendações baseadas na filosofia dos estados limites, portanto segundo Rovere e Pignolo, (2002), há uma tendência de todas as normas para alvenaria estrutural passarem para o critério de estados limites.

Cabe também lembrar que do ponto de vista estrutural, existem vantagens em se utilizar unidades com maiores dimensões, devido sua maior altura e maior espessura, como aponta Duarte (1998). Em relação à altura, uma parede com blocos possui menor número de juntas horizontais de argamassa que a mesma parede feita com tijolos e, como quanto maior a quantidade de argamassa na parede, menor sua resistência à compressão, a parede de blocos será mais resistente à compressão que a de tijolos.

Já o acréscimo na espessura do bloco em relação ao tijolo resulta na redução do índice de esbeltez visto anteriormente, o que proporciona às paredes com blocos um aumento significativo na capacidade de carga à compressão. Isto otimiza a capacidade portante da parede e resulta em maior segurança para a obra, com um menor risco de colapso por flambagem (DUARTE, 1998). Sahlin (1971) aponta também que a resistência à compressão da alvenaria reduz em função da junta, assim, com juntas mais finas é possível obter uma parede portante com maior resistência à compressão, como é o caso dos blocos atualmente utilizados na Alemanha, com juntas de apenas 3 mm. Entretanto, como salientam Cavalheiro e Gomes (2002), mesmo com o desenvolvimento de tecnologias avançadas, o Brasil continua enfrentando problemas de controle de qualidade principalmente em relação à mão-de-obra, à execução e aos componentes.

6.1.3 Requisitos culturais

As unidades de alvenaria estrutural mais utilizadas no Brasil são as de concreto e as cerâmicas. O emprego preferencial de unidades fabricadas com um material em detrimento de outro é função da tradição construtiva e arquitetônica, da disponibilidade de materiais básicos e do domínio da tecnologia de fabricação (BESSEY, 1964 apud SABBATINI, 1984). Os blocos de concreto, por sua vez, são os mais utilizados nos edifícios em alvenaria estrutural no

Brasil (FRANCO, 1992). Seguidos destes estão os blocos cerâmicos, os sílico-calcários e os de concreto celular autoclavado (COZZA, 1998).

O tijolo é um dos materiais mais antigos utilizados na construção civil, sua origem e evolução devem ser respeitadas, pois ao longo dos anos, as mudanças que ocorreram quanto as suas dimensões foram sendo consolidadas de acordo com o seu uso e não podem ser simplesmente descartadas. Segundo Heineck (1991), o tamanho do tijolo foi estabelecido na antiguidade, obedecendo aos critérios de tamanho da empunhadura da mão esquerda do homem, facilidade em transportar pesos com uma só mão, e facilidade de obter prumo e nível na peça cerâmica como um todo. Isso redundou em uma peça com aproximadamente 15 x 7,5 x 30 cm, e com peso entre 3 e 4 kg, dependendo da massa específica da argila.

Entretanto, conforme já foi visto nos capítulos anteriores, atualmente não existe uma dimensão padrão para tijolos, mas no caso dos blocos, há uma tendência, verificada principalmente na região sudeste, de utilização dos blocos com dimensões 15 x 20 x 30 cm. Outra unidade largamente utilizada é a de 15 x 20 x 40 cm, mas, como já foi visto anteriormente, esta dimensão não permite a utilização de uma malha modular horizontal nem de 2M nem de 3M e exige a utilização de unidades complementares com larguras de 5, 35 e 55 cm.

A unidade que poderia ser utilizada segundo critérios de coordenação modular, para a série modular de razão 2 seria a de 20 x 20 x 40 cm. Entretanto, a tentativa de se introduzir esta unidade foi feita com as primeiras construções em alvenaria estrutural baseadas na prática americana, mas devido a questões econômicas, condições climáticas mais amenas e, também, a inexistência de abalos sísmicos esta unidade foi culturalmente substituída pela de 15 x 20 x 40 cm que até hoje dificulta a racionalização construtiva que o processo em alvenaria estrutural se propõe. Assim, em função dos requisitos culturais, devem ser mantidas as unidades com base na série de medidas de razão 3.

6.1.4 Requisitos de conforto ambiental

Muitos são os fatores que influenciam a avaliação do desempenho térmico e acústico de uma edificação. Assim, só faz sentido equacionar isoladamente os dados técnicos referentes aos desempenhos térmico e acústico de componentes construtivos, quando se tem por objetivo avaliar o desempenho do componente em si, ou então comparar dois ou mais componentes. No caso particular deste estudo busca-se determinar se a dimensão modular de 15 cm, apontada anteriormente para largura (L) mínima da unidade de alvenaria estrutural, é satisfatória ao desempenho térmico e acústico do componente.

6.1.4.1 Requisitos de conforto térmico

Entende-se por conforto térmico o estado de espírito que reflete a satisfação com o ambiente que envolve a pessoa (ASHRAE, 1993). O conforto térmico está relacionado a fatores psicológicos, fisiológicos e físicos. Entretanto, a complexidade em se considerar os dois primeiros fatores em modelos matemáticos tem levado pesquisadores a desenvolver índices de conforto baseados apenas em fatores físicos. Assim, o conforto térmico de um determinado ambiente pode ser definido como a sensação de bem estar experimentada por uma pessoa, como resultado de uma combinação satisfatória, neste ambiente, da temperatura radiante média, umidade relativa do ar, temperatura do ar, velocidade relativa do ar, atividade desenvolvida e vestimenta utilizada (RUAS, 2002).

Conforme foi mencionado anteriormente, não faz parte do objetivo deste estudo avaliar o desempenho térmico da edificação como um todo. Se assim fosse, seria necessário considerar as variáveis climáticas, humanas e arquitetônicas, que são os principais fatores que influenciam no cálculo da carga térmica da edificação. Segundo Lamberts et al. (1997) as variáveis climáticas dependem da umidade e da temperatura do ar externo e da insolação, que varia em função da orientação, do tipo de abertura e de suas respectivas proteções solares. As variáveis humanas dependem dos ocupantes do ambiente analisado, o calor gerado depende do número de ocupantes e da atividade física que desempenham (metabolismo). As variáveis arquitetônicas dependem da iluminação artificial, da infiltração e renovação do ar, dos fechamentos transparentes (janelas), dos fechamentos opacos (paredes, pisos e forros) e de outras fontes geradoras de calor (equipamentos).

Assim, para avaliar o desempenho térmico de unidades de alvenaria estrutural com largura de projeto igual a 14 cm foram seguidas as recomendações do Projeto NBR 02:135.07-003 – Desempenho térmico de edificações – Parte 3 – Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social (ABNT, 2003b). Este projeto de norma ao mesmo tempo em que estabelece um zoneamento bioclimático brasileiro, traz recomendações de diretrizes construtivas e detalhamento de estratégias de condicionamento térmico passivo, com base em parâmetros e condições de contorno fixados. Propõe, então, a divisão do território brasileiro em 8 zonas (figura 42) relativamente homogêneas quanto ao clima e, para cada uma destas zonas, formula um conjunto de recomendações tecno-construtivas, sem caráter normativo, que otimizam o desempenho térmico das edificações, através de sua melhor adequação climática.

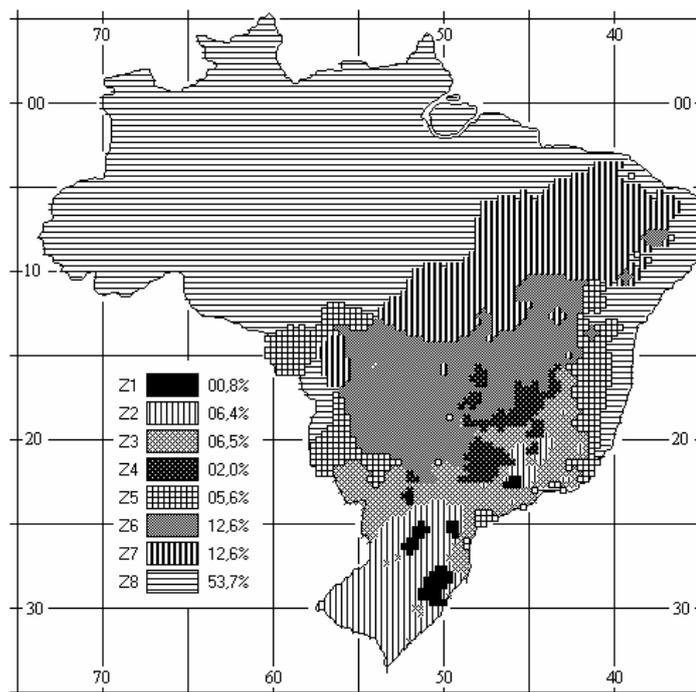


Figura 42: zoneamento bioclimático brasileiro (ABNT, 2003b)

Para a formulação das diretrizes construtivas e estabelecimento das estratégias de condicionamento térmico passivo para cada zona bioclimática, o Projeto NBR 02:135.07-003 (ABNT, 2003b) considera os seguintes parâmetros:

- a) tamanho das aberturas para ventilação;
- b) proteção das aberturas;
- c) vedações externas (tipo de parede e tipo de cobertura);
- d) estratégias de condicionamento térmico passivo.

Como já foi dito anteriormente, a análise isolada de apenas um destes elementos não garante o conforto térmico desejado à edificação, pois apesar deste poder ser favorável, os demais poderão comprometer o desempenho geral do ambiente analisado. Mas, como o objetivo deste estudo é analisar o desempenho térmico das unidades de alvenaria estrutural em si, serão considerados apenas os parâmetros relativos às vedações externas, mais especificamente às paredes externas.

As paredes externas, segundo o Projeto NBR 02:135.07-003 (ABNT, 2003b) podem ser leves, leves refletoras ou pesadas, conforme a classificação apresentada na figura 43. Assim, para as zonas bioclimáticas brasileiras 1 e 2 é recomendado o uso de paredes leves, para as zonas 3, 5 e 8 é recomendado o uso de paredes leves refletoras e para as zonas 4, 6 e 7 é recomendado o uso de paredes pesadas.

Vedações externas		Transmitância Térmica (W/m ² .K)	Atraso Térmico (horas)	Fator de Calor Solar (%)	Zona Bioclimática
Paredes	Leve	$U \leq 3,00$	$\phi \leq 4,3$	$FCS \leq 5,0$	1 e 2
	Leve Refletora	$U \leq 3,60$	$\phi \leq 4,3$	$FCS \leq 4,0$	3, 5 e 8
	Pesada	$U \leq 2,20$	$\phi \geq 6,5$	$FCS \leq 3,5$	4, 6 e 7

Figura 43: transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar admissíveis para cada tipo de vedação externa (ABNT, 2003b)

Assim, foi verificado, através dos métodos de cálculo do Projeto NBR 02:135.07-002 – Desempenho térmico de edificações – Parte 2 – Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações (ABNT, 2003a), (vide exemplo de cálculo no apêndice 2) se a largura (L) modular de 15 cm atende os parâmetros relativos às vedações externas, mais especificamente às paredes externas para maioria das regiões brasileiras.

Foram analisadas 26 paredes com unidades de alvenaria estrutural com 14 cm de largura (medida de projeto) com argamassa de assentamento e juntas verticais de 1 cm, com e sem revestimento (vide especificação no apêndice 2). O revestimento externo de argamassa comum utilizado foi de 2,0 cm e revestimento interno de argamassa comum de 1,0 cm, o que está dentro dos limites recomendados pela NBR 13749 – Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas (ABNT, 1996) e também é comum à prática construtiva no Brasil.

As unidades de alvenaria estrutural analisadas foram tijolos maciços cerâmicos, blocos vazados de concreto e cerâmicos, pois são estes os materiais mais utilizados no Brasil. Os tijolos analisados têm medida de projeto igual a 14 x 6,5 x 29 cm e os blocos têm medida de projeto igual a 14 x 14 x 29 cm. As espessuras dos septos e das paredes externas dos blocos cerâmicos são as mínimas recomendados pelo Projeto NBR 02:101.01-002/2 (ABNT, 2004) e a espessura das paredes dos blocos de concreto é a mínima recomendada pela NBR 6136 (ABNT, 1994) conforme pode ser visto na figura 44.

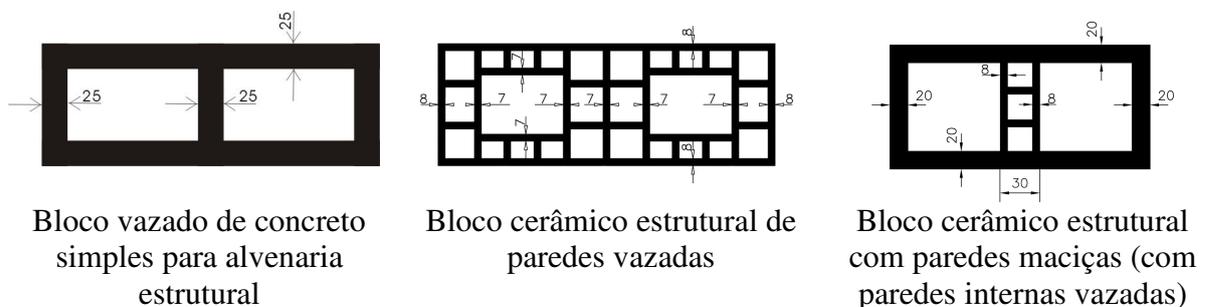


Figura 44: espessuras mínimas de septos e de paredes externas para blocos cerâmicos e de concreto (ABNT, 1994 e ABNT 2004)

Os dados considerados para o cálculo da transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar são os recomendados pelo Projeto NBR 02:135.07-003 (ABNT, 2003b) e podem ser vistos na figura 45, segundo os quais foram considerados no cálculo 4 densidades de massa aparente para tijolos e blocos cerâmicos e uma para blocos de concreto e para argamassa comum. Através do método de cálculo do Projeto NBR 02:135.07-002 (ABNT, 2003a) foram obtidos os seguintes dados para transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar para as 26 paredes analisadas (figura 46).

Material	ρ (kg/m ³)	λ (W/(m.K))	c (kJ/(kg.K))
argamassa comum	1800-2100	1,15	1,00
tijolos e telhas de barro	1000-1300	0,70	0,92
	1300-1600	0,90	0,92
	1600-1800	1,00	0,92
	1800-2000	1,05	0,92
concreto normal	2200-2400	1,75	1,00

Figura 45: densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ) e calor específico (c) de materiais (ABNT 2003b)

parede	U (W/m ² .K)	ϕ (horas)	FCS $\leq 3,5\%$	FCS $\leq 4,0\%$	FCS $\leq 5,0\%$
01	2,85	3,6	$\alpha \leq 0,31$	$\alpha \leq 0,35$	$\alpha \leq 0,44$
02	3,14	3,6	$\alpha \leq 0,28$	$\alpha \leq 0,32$	$\alpha \leq 0,40$
03	3,26	3,6	$\alpha \leq 0,27$	$\alpha \leq 0,31$	$\alpha \leq 0,38$
04	3,32	3,7	$\alpha \leq 0,26$	$\alpha \leq 0,30$	$\alpha \leq 0,38$
05	2,64	4,2	$\alpha \leq 0,33$	$\alpha \leq 0,38$	$\alpha \leq 0,47$
06	2,90	4,3	$\alpha \leq 0,30$	$\alpha \leq 0,35$	$\alpha \leq 0,43$
07	3,00	4,3	$\alpha \leq 0,29$	$\alpha \leq 0,33$	$\alpha \leq 0,42$
08	3,05	4,4	$\alpha \leq 0,29$	$\alpha \leq 0,33$	$\alpha \leq 0,41$
09	3,21	2,4	$\alpha \leq 0,27$	$\alpha \leq 0,31$	$\alpha \leq 0,39$
10	2,93	3,7	$\alpha \leq 0,30$	$\alpha \leq 0,34$	$\alpha \leq 0,43$
11	2,03	2,3	$\alpha \leq 0,43$	$\alpha \leq 0,49$	$\alpha \leq 0,61$
12	2,15	2,5	$\alpha \leq 0,41$	$\alpha \leq 0,46$	$\alpha \leq 0,58$
13	2,20	2,6	$\alpha \leq 0,40$	$\alpha \leq 0,45$	$\alpha \leq 0,57$
14	2,23	2,7	$\alpha \leq 0,39$	$\alpha \leq 0,45$	$\alpha \leq 0,56$
15	1,90	3,5	$\alpha \leq 0,46$	$\alpha \leq 0,53$	$\alpha \leq 0,66$
16	1,99	3,6	$\alpha \leq 0,44$	$\alpha \leq 0,50$	$\alpha \leq 0,63$
17	2,04	3,7	$\alpha \leq 0,43$	$\alpha \leq 0,49$	$\alpha \leq 0,61$
18	2,06	3,8	$\alpha \leq 0,43$	$\alpha \leq 0,49$	$\alpha \leq 0,61$
19	2,63	2,0	$\alpha \leq 0,33$	$\alpha \leq 0,38$	$\alpha \leq 0,47$
20	2,76	2,1	$\alpha \leq 0,32$	$\alpha \leq 0,36$	$\alpha \leq 0,45$
21	2,81	2,1	$\alpha \leq 0,31$	$\alpha \leq 0,36$	$\alpha \leq 0,44$
22	2,84	2,2	$\alpha \leq 0,31$	$\alpha \leq 0,35$	$\alpha \leq 0,44$
23	2,45	3,0	$\alpha \leq 0,36$	$\alpha \leq 0,41$	$\alpha \leq 0,51$
24	2,56	3,1	$\alpha \leq 0,34$	$\alpha \leq 0,39$	$\alpha \leq 0,49$
25	2,61	3,2	$\alpha \leq 0,34$	$\alpha \leq 0,38$	$\alpha \leq 0,48$
26	2,63	3,3	$\alpha \leq 0,33$	$\alpha \leq 0,38$	$\alpha \leq 0,48$

Figura 46: dados obtidos através do método de cálculo do Projeto NBR 02:135.07-002 (ABNT, 2003a)

Ao comparar estes resultados com a classificação das 8 zonas bioclimáticas brasileiras verifica-se que as paredes 11 à 13 e 15 à 18 atendem a todas as zonas bioclimáticas brasileiras. As paredes 1, 5 à 7, 10, 14, 19 à 26 atendem às zonas bioclimáticas 1, 2, 3, 5 e 8 e as paredes 2 à 4 e 9 atendem às zonas bioclimáticas 3, 5 e 8. A parede 8 não se enquadra na classificação proposta pelo Projeto NBR 02:135.07-002 (ABNT, 2003a) e portanto, não atende a nenhuma zona bioclimática brasileira.

Enfim, verifica-se que das 26 paredes analisadas, 25 atendem os requisitos de desempenho térmico recomendados para as paredes externas das zonas bioclimáticas brasileiras 3, 5 e 8, que correspondem a 58% das cidades analisadas pelo Projeto NBR 02:135.07-002 (ABNT, 2003a). E ainda, das 26 paredes analisadas, 21 atendem os requisitos recomendados para as zonas 1 e 2 (14% das cidades) e apenas 7 atendem os requisitos recomendados para as zonas 4, 6 e 7 (28% cidades), conforme visto na figura 44.

Portanto, a largura modular de 15 cm para unidades de alvenaria estrutural é suficiente para garantir o desempenho térmico do componente construtivo em si, para a maior parte do território brasileiro. Em relação às zonas bioclimáticas brasileiras 4, 6 e 7, como são recomendadas paredes pesadas, pelo Projeto NBR 02:135.07-003 (ABNT, 2003b), sugere-se que sejam especificadas paredes mais espessas ou ainda paredes duplas.

6.1.4.2 Requisitos de conforto acústico

O isolamento acústico é o parâmetro mais importante do controle de propagação de ruído nas edificações (SILVA, 2000). Segundo Báring (1988 apud SILVA, 2000), convém diferenciar dois termos semelhantes: isolação sonora e isolamento sonoro. A isolação sonora de uma parede ou divisória refere-se ao comportamento acústico de uma partição, isto é, de um único elemento construtivo. Já, isolamento sonoro de um recinto, é o que poderia ser referido ao grau de impermeabilidade aos sons e ruídos de toda sua envoltória, conjugando os desempenhos de seus diversos elementos construtivos, tais como paredes, piso, teto.

Da mesma forma que para o desempenho térmico, não é objetivo deste estudo verificar o isolamento sonoro de uma edificação, mas sim, a isolação sonora das unidades de alvenaria estrutural com medida de projeto para largura (L) mínima de 14 cm, a fim de verificar o desempenho acústico do componente em si. Assim, para caracterizar a isolação acústica de uma parede ou divisória, usa-se a grandeza de perda de transmissão sonora (PT), também conhecida como índice de redução acústica (R), expressa em decibéis (dB) (SILVA, 2000).

Gomez (1988) classificou o isolamento das paredes segundo o comportamento de sua perda de transmissão (PT), conforme a figura 47. Por esta classificação fica claro que uma parede com perda de transmissão igual ou superior a 35 dB tem uma boa qualificação de isolamento acústico, portanto será este o parâmetro adotado neste estudo.

Qualificação do isolamento	Perda de transmissão	Condições de audição
Pobre	< 30 dB	Compreende-se a conversação normal facilmente através da parede.
Regular	30 a 35 dB	Ouve-se a conversação em voz alta, mas não é muito atenuada.
Bom	35 a 40 dB	Ouve-se a conversação em voz alta, mas não facilmente inteligível.
Muito bom	40 a 45 dB	A palavra normal é inaudível e em voz alta é muito atenuada, sem compreensão.
Excelente	> 45 dB	Ouve-se fracamente os sons muito altos.

Figura 47: qualificação do isolamento (GOMEZ, 1988)

Assim, para avaliar o desempenho acústico de unidades de alvenaria tomou-se como base o estudo de isolamento sonora em paredes divisórias de diversas naturezas, desenvolvido por Silva (2000). Deste estudo, das paredes divisórias ensaiadas nas câmaras reverberantes do Laboratório de Termo-Acústica da Universidade Federal de Santa Maria, conforme as normas internacionais ISO 140 e ISO 345 e os Projetos NBR 02:135.01-001 e Projetos NBR 02:135.01-002 foram escolhidas apenas os resultados referentes às paredes semelhantes às utilizadas para a análise do desempenho térmico vistas anteriormente. Ou seja, paredes com blocos de concreto e cerâmicos com 14 cm de largura (medida de projeto) com argamassa de assentamento e juntas verticais de 1 cm, com e sem revestimento. Destas, todas apresentaram perda de transmissão superior a 35 dB e tem, portanto, uma boa qualificação de isolamento acústico segundo a classificação proposta por Gomez (1988).

Cabe ressaltar que estudos realizados por Recchia (2002) sobre o desempenho acústico dos elementos construtivos que compõem a fachada, com paredes semelhantes às ensaiadas por Silva (2000), apontam que as paredes ensaiadas apresentaram bom isolamento acústico, constituindo a parte forte do isolamento de fachadas. Entretanto, Recchia (2002) diz que as janelas são o elemento fraco no isolamento acústico das fachadas. Neste caso, a falta de estanqueidade foi o fator determinante para o baixo isolamento acústico das janelas. Recchia (2002) conclui também que o isolamento acústico de uma fachada pode ficar comprometido com o uso de condicionadores de ar.

6.1.5 Exemplo da Alemanha para composição das dimensões das unidades de alvenaria estrutural no Brasil

Conforme foi visto até este ponto, a dimensão da menor unidade de alvenaria estrutural para o Brasil é de 15 x 7,5 x 30 cm, que é a unidade básica (UB). A exemplo da Alemanha, as dimensões dos formatos das unidades de alvenaria estrutural surgem da composição de unidades básicas. Assim, todas as dimensões das unidades de alvenaria são definidas por uma regra única. Esta regra se baseia nas combinações de uma unidade básica que dá origem às dimensões de todos os outros formatos das unidades, como já foi visto na figura 38, do capítulo 5.

A diferença entre o sistema alemão e esta proposta é o módulo adotado. Enquanto na Alemanha é utilizado o módulo 12,5 cm e o multimódulo 2M, aqui é adotado o módulo 10 cm e o multimódulo 3M. Os formatos originados pelas combinações da unidade básica serão vistos mais adiante no item 6.2.

6.1.6 Requisitos legais

Conforme foi visto no item anterior, a largura de 15 cm é satisfatória para atender requisitos de desempenho térmico e acústico, no Brasil, entretanto, existem restrições legais quanto à adoção desta dimensão principalmente para paredes externas para algumas cidades brasileiras. Assim, considerando que as unidades propostas devem atender também aos requisitos legais, serão propostas unidades que atendam exigências específicas, por exemplo, para o caso da cidade de Porto Alegre.

A exigência quanto ao desempenho das edificações residenciais é regida por leis municipais e, portanto, específica para cada município brasileiro. Ao observar, por exemplo, a legislação das cidades de Florianópolis e Porto Alegre, ambas definidas pelo Projeto NBR 02:135.07-003 (ABNT, 2003b) como pertencentes à zona bioclimática 3, verifica-se que a cidade de Florianópolis exige que as paredes das edificações em geral, quando executadas em alvenaria, tenham espessura não inferior a 12 cm (PREFEITURA MUNICIPAL DE FLORIANÓPOLIS, 2005).

Enquanto isto, a cidade de Porto Alegre, no novo texto do projeto do código de edificações altera a antiga exigência de espessura mínima para as paredes externas, antes previstas para todas edificações e na presente proposta limitada aos edifícios residenciais e de habitação coletiva. Segundo o novo código, as paredes deverão ter espessura mínima de 22 cm e ser

compostas de material cerâmico ou de concreto (PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE, 2005).

Não há um motivo claro para que cidades com a mesma classificação bioclimática tenham especificações legais tão distintas. Recomenda-se, entretanto, que sejam adotadas, sempre que possível, espessuras de parede com 15 cm. Esta recomendação leva em conta que neste caso as paredes teriam o desempenho mínimo exigido pelo Projeto NBR 02:135.07-003 (ABNT, 2003b) e também seriam mais econômicas que paredes com espessura maior.

Entretanto, para os casos onde a legislação exige espessuras maiores, como o de Porto Alegre, recomenda-se que as paredes tenham a espessura exigida, neste caso, superior a 22 cm. Assim, conforme a composição das dimensões das unidades vista anteriormente, a próxima medida modular da largura das unidades de alvenaria estrutural após a medida de 15 cm será a de 22,5 cm. Isto porque 22,5 é a combinação de 3 unidades básicas a cutelo (figura 28). Esta medida atende, por exemplo, ao Projeto de Lei Complementar que institui o Código de Edificações de Porto Alegre (PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE, 2005).

6.1.7 Requisitos de trabalhabilidade

Até o dado momento foram vistas restrições para a menor dimensão da unidade de alvenaria. Neste item, apresentam-se indicativos da dimensão máxima da unidade de alvenaria estrutural para o assentamento manual. Assim, verifica-se que as dimensões máximas das unidades de alvenaria são limitadas por seu peso, ou seja, devem ser facilmente manuseadas com as duas mãos (BIA, 1988).

Primeiramente cabe lembrar, conforme já apontado por Heineck (1991), que tijolos muito pequenos apresentam perda de produtividade quando comparados a unidades maiores. Em seu estudo, Heineck (1991) verifica que há uma redução do consumo de mão-de-obra à medida que aumentam os tijolos. Entretanto, já foi salientado no item 4.2.1 que, os tijolos com área de face superior a $0,08 \text{ m}^2$ (tijolos com $20 \times 10 \times 40 \text{ cm}$) têm um aumento do consumo de mão-de-obra. Isso ocorre devido ao aumento do peso do bloco, o que exige um manuseio com 2 mãos, impedindo que o pedreiro busque simultaneamente a peça cerâmica e a argamassa para seu assentamento.

Apesar desta redução, Duarte (1998) salienta que a substituição das unidades menores por unidades maiores, que exijam o manuseio com as duas mãos, apresenta não apenas vantagens estruturais, mas principalmente vantagens econômicas, sem comprometer o conforto térmico e acústico das paredes.

Em um estudo mais recente sobre a avaliação da carga física de trabalho do pedreiro na execução de paredes de alvenaria de blocos cerâmicos, realizado por Villagra e Formoso (2002), é constatado que é o ritmo de trabalho, mais do que o peso do bloco empregado, um fator importante para o maior dispêndio energético do pedreiro no assentamento das unidades. O estudo comparou unidades com medida de projeto de 19,5 x 9 x 15 cm (2,23 kg) e 19 x 29 x 29 cm (10,5 kg). Este estudo também concluiu que as fiadas ao nível do chão são as que exigem maior gasto energético.

Na análise da força máxima do pedreiro, que em média foi de 47,6 kg, ficou evidente que 10,5 kg (peso do maior bloco analisado) é apenas 22,05 % desta força. Segundo Saziorski et al. (apud HEINECK, 1991), para o percentual de 22,05 %, na relação carga/número de repetições, é possível realizar aproximadamente 80 repetições. Por outro lado, para uma parede com 3 m de comprimento são necessários em torno de 11 blocos. Assim, o estudo conclui que a relação carga/número de repetições está bem aquém da capacidade de força disponível.

Enfim, não é possível determinar exatamente a dimensão máxima da unidade de alvenaria estrutural. Mas sabe-se que o peso máximo, segundo Villagra e Formoso (2002) não pode ultrapassar a força máxima do pedreiro que é em seu estudo foi de 47,6 kg. Mas, nenhuma referência é feita sobre quantas repetições contínuas são necessárias para que o operário realize a tarefa em seu máximo esforço. Logo, não se pode determinar com certeza o peso máximo que a unidade de alvenaria estrutural deve ter quando assentada manualmente, nem mesmo sua dimensão máxima.

6.1.8 Requisitos de intercambiabilidade

Nos itens anteriores foram vistos requisitos específicos das unidades de alvenaria estrutural. Mas, como foi dito no início deste estudo, uma vez padronizada a unidade de alvenaria estrutural, outras partes do edifício também poderão ser padronizadas, como é o caso das portas e janelas. Portanto, conforme o *Brick Institute of America* (1988), a construção com unidades modulares permite o uso de portas e janelas modulares.

A padronização das unidades de alvenaria, além da padronização dos vãos e das aberturas, permite a padronização dos pisos, forros, alturas de pé-direito entre tantos outros componentes da construção, inclusive do mobiliário. Mas, não é objetivo deste estudo verificar as medidas modulares dos demais componentes de construção. Para exemplificar esta cadeia de padronização a seguir podem ser vistas (figura 48) algumas medidas sugeridas

para vãos (portas e janelas) e para pé-direito de edifícios residenciais segundo as dimensões das unidades de alvenaria estrutural propostas.

Pé-direito (cm)	Janelas (cm)	Portas (cm)
240	60 x 60	60 x 210
255	75 x 75	75 x 210
270	90 x 90	90 x 210
285	105 x 105	105 x 210
300	120 x 210	120 x 210

Figura 48: algumas medidas modulares padronizadas a partir das unidades de alvenaria estrutural propostas

6.2 UNIDADES DE ALVENARIA ESTRUTURAL PROPOSTAS

No item anterior foram verificados os aspectos condicionantes para as dimensões das unidades de alvenaria estrutural no Brasil. Assim, ficou definido que o módulo adotado é de 10 cm e o multimódulo é de 3M tanto na horizontal como na vertical. A unidade básica da proposta mede 15 x 7,5 x 30 cm, identificada pela sigla UB e dá origem a todos os demais formatos, assim como para as unidades de alvenaria da Alemanha, conforme visto no item 6.1.5.

A figura 49 mostra como se compõem as dimensões de todos os formatos apresentados neste estudo a partir da unidade básica. Assim, por exemplo, a dimensão da unidade de 15 x 15 x 30 cm (2 UB) é resultado da composição de duas unidades básicas de 15 x 7,5 x 30 cm, quando dispostas uma sobre a outra. Já a dimensão de 22,5 x 25 x 30 cm (3UB) é resultado da composição de três unidades básicas, quando dispostas uma sobre a outra e a terceira de cutelo. Cabe lembrar que o objetivo desta disposição é apenas mostrar graficamente a lógica da composição das unidades e não incentivar que sejam utilizadas apenas unidades básicas em projetos em alvenaria estrutural. A medida apresentada na figura 49 é a medida de projeto, ou seja, a medida modular menos a medida das juntas, neste caso de 1 cm.

A figura 50 mostra as unidades de alvenaria estrutural com seus formatos padronizados, na geometria cúbica básica. A medida apresentada é a medida modular, para se obter a medida de projeto basta descontar 1 cm da junta da medida modular. Estas unidades poderão ser vazadas, perfuradas ou mesmo maciças, dependendo do material utilizado ou segundo a especificação dos fabricantes. Na coluna da esquerda da figura 50 estão identificadas as famílias das unidades de alvenaria estrutural propostas, a unidade básica e a unidade grande. A unidade grande tem a mesma largura e comprimento que a unidade básica, mas sua altura modular é de 10 cm.

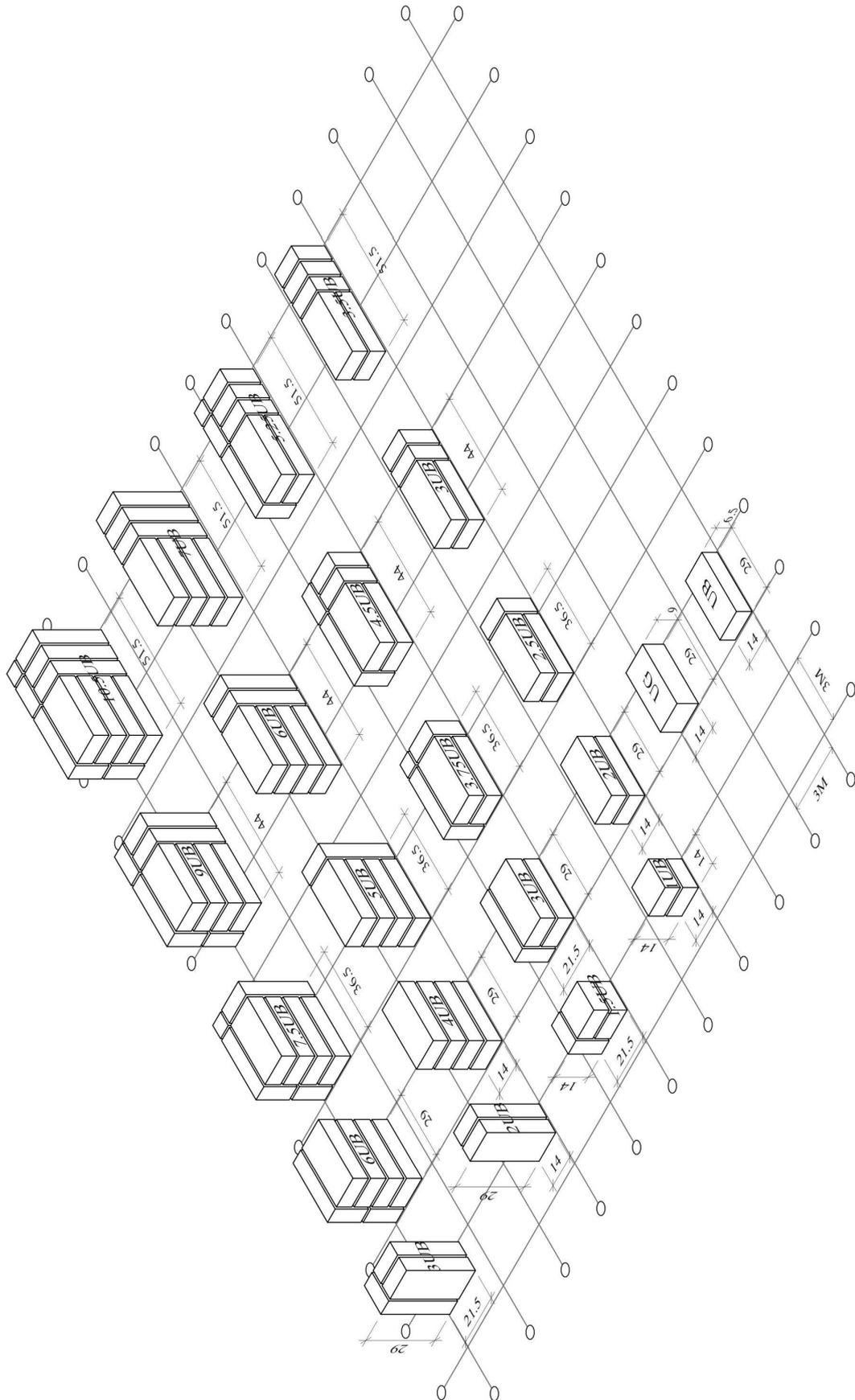


Figura 49: dimensões dos formatos das unidades de alvenaria estrutural propostas a partir da composição da unidade básica (UB = 15 x 7,5 x 30 cm)

O projetista deverá escolher, já no início do projeto, a família que irá utilizar. Recomenda-se que sejam utilizadas unidades sempre da mesma família. Também é importante utilizar em maior quantidade as unidades principais, salientadas na figura 50 por uma cor mais escura. As demais unidades devem apenas ser utilizadas para encontros de paredes ou locais específicos, onde se fizerem necessárias. Na coluna da direita estão identificados os tipos de unidades, que são: meia unidade, unidade principal, uma unidade e um quarto, uma unidade e meia e uma unidade e três meios.

Um exemplo de como poderão ser as unidades vazadas é apresentado na figura 51. É importante verificar que os furos devem ser sempre na vertical, pois são unidades com função estrutural. Estes furos também devem coincidir para que seja possível fazer o grauteamento onde for necessário. Nesta figura nota-se que as unidades da última fileira são unidades seccionadas em duas partes. Estas unidades têm a geometria cúbica de apenas uma unidade, como pode ser visto por suas correspondentes na figura 50, mas em seu formato comercial são seccionadas. Isto porque uma unidade com 52,5 cm de comprimento pode ser de difícil execução, dependendo do material utilizado, e desta forma também seu manuseio fica facilitado. Entretanto, cabe lembrar que estas peças devem sempre ser usadas aos pares, e nunca separadamente.

Para facilitar o estudo tridimensional foram elaboradas peças em escala 1:5 em madeira que correspondem à medida modular das unidades propostas, como pode ser visto na figura 52. Na figura 53 podem ser observados os formatos fracionados, que são utilizados para formar as unidades a partir da unidade básica. Já as figuras 54 a 58 mostram a sugestão para as dimensões dos formatos das unidades básica, unidade grande e para as famílias 15 x 15 x 30 cm, 22,5 x 15 x 30 cm, 15 x 30 x 30 cm e 22,5 x 30 x 30 cm. Nestas figuras, cada unidade de alvenaria estrutural é apresentada segundo sua composição, formato, exemplo e ilustração.

O modelo de composição de unidades apresentado neste estudo não é restrito às unidades aqui apresentadas. Este modelo poderá servir também para a determinação de unidades com dimensões maiores, para assentamento com auxílio mecânico, como já é feito em países desenvolvidos, por exemplo, na Alemanha. Para isto, é preciso apenas acrescentar unidades básicas a este modelo e identificar a nova dimensão que se constitui através desta composição.

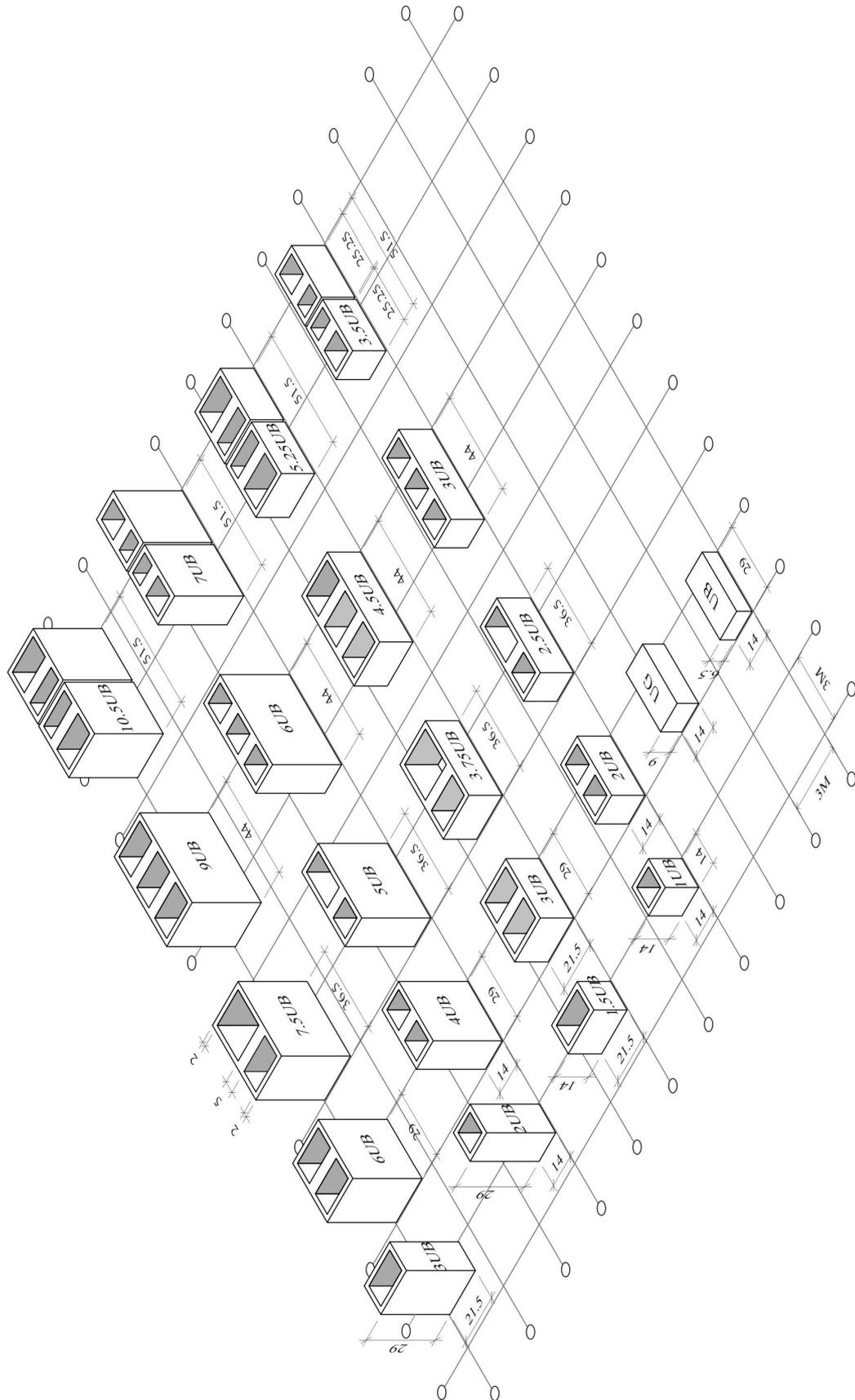


Figura 51: exemplo de unidades de alvenaria estrutural a partir da proposta deste estudo

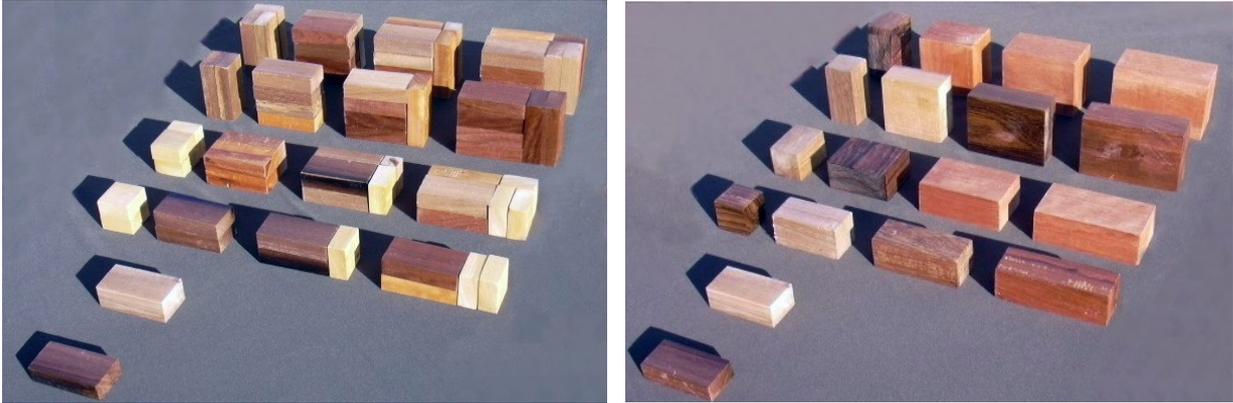


Figura 52: composição da unidade básica para formar todas as demais unidades e ilustração das unidades de alvenaria estrutural propostas para o Brasil em escala 1:5

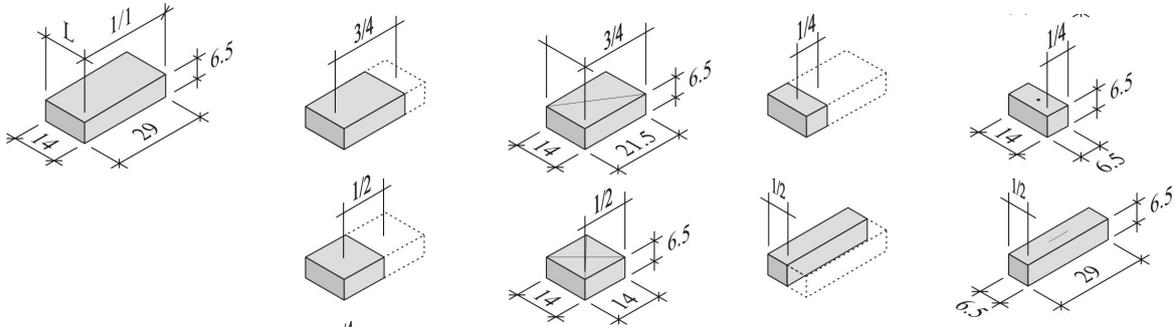


Figura 53: formatos fracionados usados para composição das unidades a partir da unidade básica

		Composição	Formato	Exemplo	Ilustração
Unidade Básica e Unidade Grande	Unidade Básica (UB)				
	Unidade Grande (UG)				

Figura 54: sugestão para as dimensões dos formatos da unidade básica e da unidade grande

		Composição	Formato	Exemplo	Ilustração
Família 15 x 15 x 30	1/2 unidade (1UB)	15 x 15 x 15			
	1 unidade (2UB)	15 x 15 x 30			
	1 e 1/4 unidade (2.5UB)	15 x 15 x 37,5			
	1 e 1/2 unidade (3UB)	15 x 15 x 45			
	1 e 3/2 unidade (3.5UB)	15 x 15 x 52,5			

Figura 55: sugestão para as dimensões dos formatos das unidades de alvenaria estrutural para a família 15 x 15 x 30

Família 22,5 x 15 x 30					Composição	Formato	Exemplo	Ilustração
1 e 3/2 unidade (5.25 UB)	1 e 1/2 unidade (4.5UB)	1 e 1/4 unidade (3.75 UB)	1 unidade (3UB)	1/2 unidade (1.5UB)				
22,5 x 15 x 52,5	22,5 x 15 x 45	22,5 x 15 x 37,5	22,5 x 15 x 30	22,5 x 15 x 15				

Figura 56: sugestão para as dimensões dos formatos das unidades de alvenaria estrutural para a família 22,5 x 15 x 30

		Composição	Formato	Exemplo	Ilustração
Família 15 x 30 x 30	1/2 unidade (2UB)				
	1 unidade (4UB)				
	1 e 1/4 unidade (5UB)				
	1 e 1/2 unidade (6UB)				
	1 e 3/2 unidade (7UB)				

Figura 57: sugestão para as dimensões dos formatos das unidades de alvenaria estrutural para a família 15 x 30 x 30

Família 22,5 x 30 x 30					Composição	Formato	Exemplo	Ilustração
1 e 3/2 unidade (10.5UB)	1 e 1/2 unidade (9UB)	1 e 1/4 unidade (7.5UB)	1 unidade (6UB)	1/2 unidade (3UB)				
22,5 x 30 x 52,5	22,5 x 30 x 45	22,5 x 30 x 37,5	22,5 x 30 x 30	22,5 x 30 x 15				

Figura 58: sugestão para as dimensões dos formatos das unidades de alvenaria estrutural para a família 22,5 x 30 x 30

Esta sugestão de dimensões para unidades de alvenaria estrutural já foi apresentada para o Departamento Municipal de Habitação (DEM HAB) de Porto Alegre, que se mostrou muito interessado em implantá-la em seus próximos empreendimentos. Outras peças também poderiam ser desenvolvidas, como foram apresentadas no capítulo 5, a exemplo da Alemanha, entretanto este não era o foco deste estudo que se detém apenas em propor a geometria básica das unidades de alvenaria estrutural. Apesar deste estudo ter apresentado na figura 51 um exemplo de aplicação com unidades vazadas, existem inúmeras possibilidades a serem exploradas através de estudos mais aprofundados, inclusive com ensaios práticos.

6.3 ARRANJO DAS PAREDES COM AS UNIDADES DE ALVENARIA ESTRUTURAL PROPOSTAS

Para facilitar o estudo tridimensional e o arranjo entre as unidades foram elaboradas peças em escala 1:5 em madeira que correspondem à medida modular das unidades propostas. Este estudo permitiu combinar as unidades de diversas formas até, por exemplo, encontrar a melhor condição para execução das amarrações de paredes (figura 59).

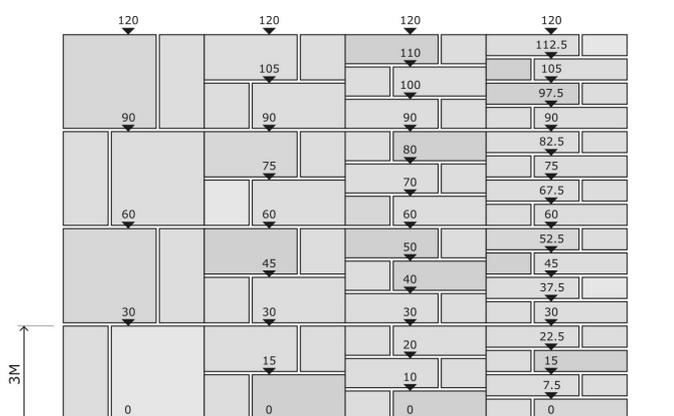


Figura 59: relação entre as alturas modulares das diversas unidades com o módulo 3M

A vantagem de todas as unidades serem múltiplas da unidade básica é permitir a intercambiabilidade, pois dentro da malha modular de 3M serão possíveis inúmeros arranjos. Mas, como foi dito anteriormente, é recomendado o uso de unidades que estejam na mesma família, para que o projeto seja mais racionalizado e necessite o menor número de peças diferentes possível. Na figura 59 está a relação entre as alturas das unidades propostas. As unidades com 7,5 cm de altura preenchem o espaço modular a cada 4 fiadas e as de 10 cm a cada 3 fiadas. Além da unidade com 15 cm de altura, foi desenvolvida uma unidade com 30 cm de altura que permite maior produtividade.

A partir do estudo tridimensional foram elaborados detalhes para as amarrações entre as paredes. As mais usuais estão demonstradas nas figura 60 a 63. Como pode ser visto, para cada família foi utilizada a sua unidade principal em maior quantidade. Também foram utilizadas peças complementares, que estão salientadas em cor mais escura nas figuras 60 a 69. A amarração utilizada é a meio bloco, pois é mais facilmente entendida pela mão-de-obra menos qualificada.

Na figura 60 podem ser vistas as amarrações de paredes em I, L, T e X para a família 15 x 15 x 30 cm. Para as duas primeiras, somente a unidade principal e a meia unidade são necessárias para compor a alvenaria. Já para as paredes em T e X é necessária a unidade complementar de uma unidade e meia para que seja feito o correto transpasse à meia peça no contrafiamento.

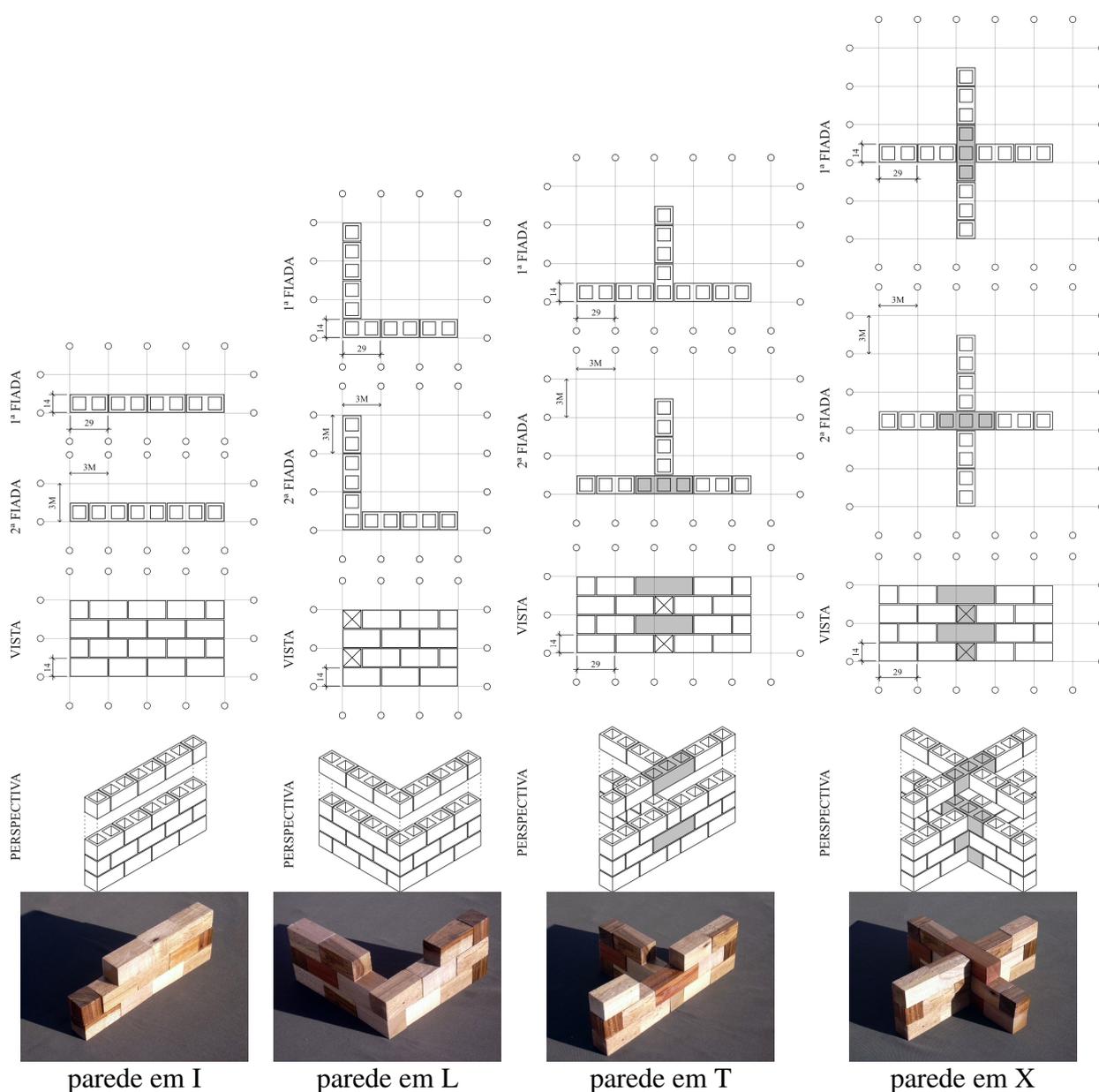


Figura 60: amarrações de parede em I, L, T e X da família 15x15x30

Na figura 61 podem ser vistas as amarrações de paredes em I, L, T e X para a família 15 x 30 x 30 cm. Para as duas primeiras, somente a unidade principal e a meia unidade são necessárias para compor a alvenaria. Já para as paredes em T e X é necessária a unidade complementar de uma unidade e meia para que seja feito o correto transpasse à meia peça no contrafiamento.

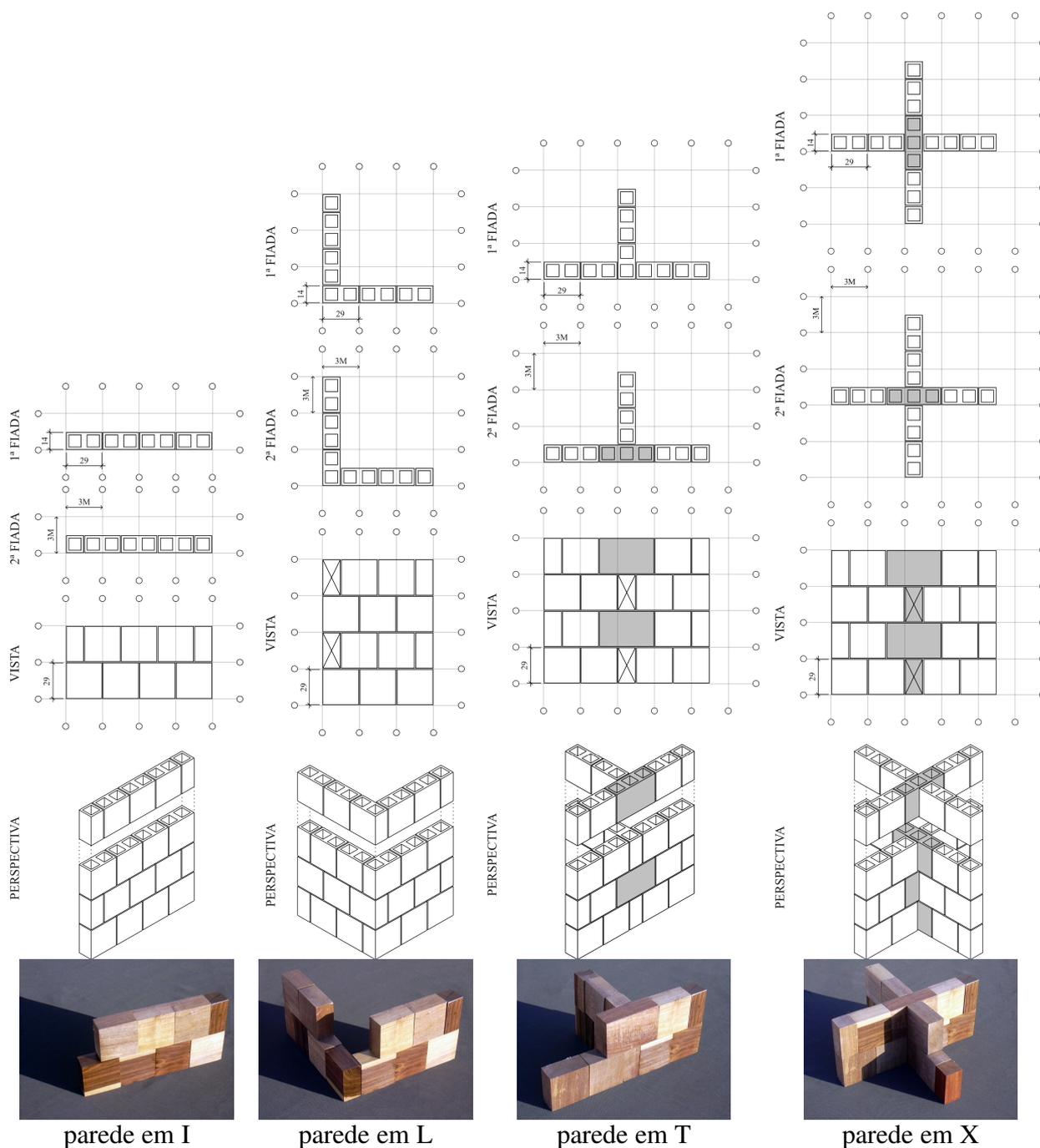


Figura 61: amarrações de parede em I, L, T e X da família 15x30x30

Na figura 62 podem ser vistas as amarrações de paredes em I, L, T e X para a família 22,5 x 15 x 30 cm. Para a primeira, somente a unidade principal e a meia unidade são necessárias para compor a alvenaria. Na amarração em L é necessária a unidade complementar de uma

unidade e um quarto para que seja feito o correto transpasse à meia peça no contrafiamento. Já para a parede em T são necessárias unidades complementares de uma unidade e um quarto e uma unidade e três meios para que seja feito o correto transpasse à meia peça no contrafiamento. Por fim, na amarração em X é necessária a unidade complementar de uma unidade e três meios para que seja feito o correto transpasse à meia peça no contrafiamento.

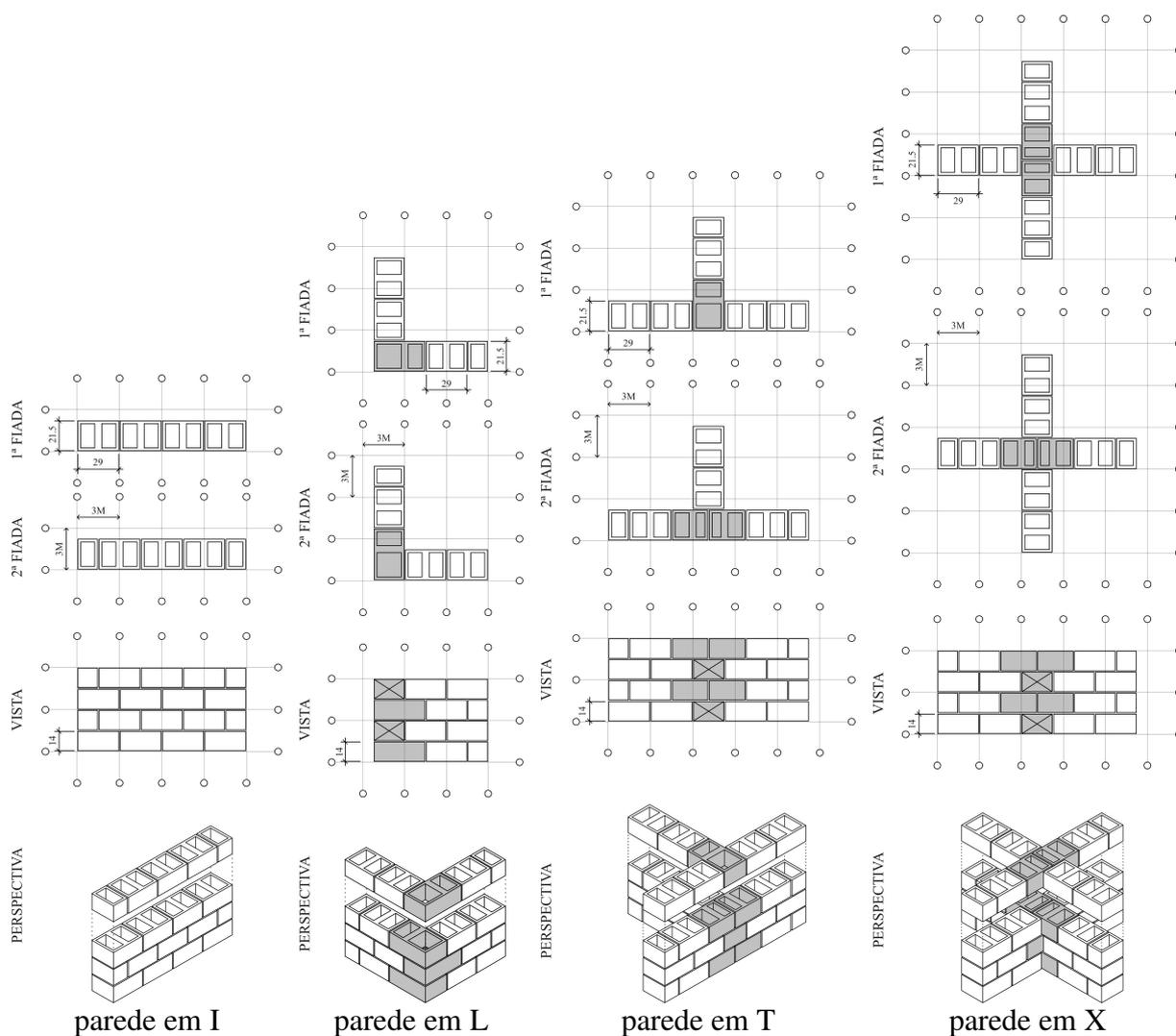


Figura 62: amarrações de parede em I, L, T e X da família 22,5x15x30

Na figura 63 podem ser vistas as amarrações de paredes em I, L, T e X para a família 22,5 x 30 x 30 cm. Assim como nas paredes da figura 62, para a primeira, somente a unidade principal e a meia unidade são necessárias para compor a alvenaria. Na amarração em L é necessária a unidade complementar de uma unidade e um quarto para que seja feito o correto transpasse à meia peça no contrafiamento. Já para a parede em T são necessárias as unidades complementares de uma unidade e um quarto e uma unidade e três meios para que seja feito o correto transpasse à meia peça no contrafiamento. Por fim, na amarração em X é necessária a

unidade complementar de uma unidade e três meios para que seja feito o correto transpasse à meia peça no contrafiamento.

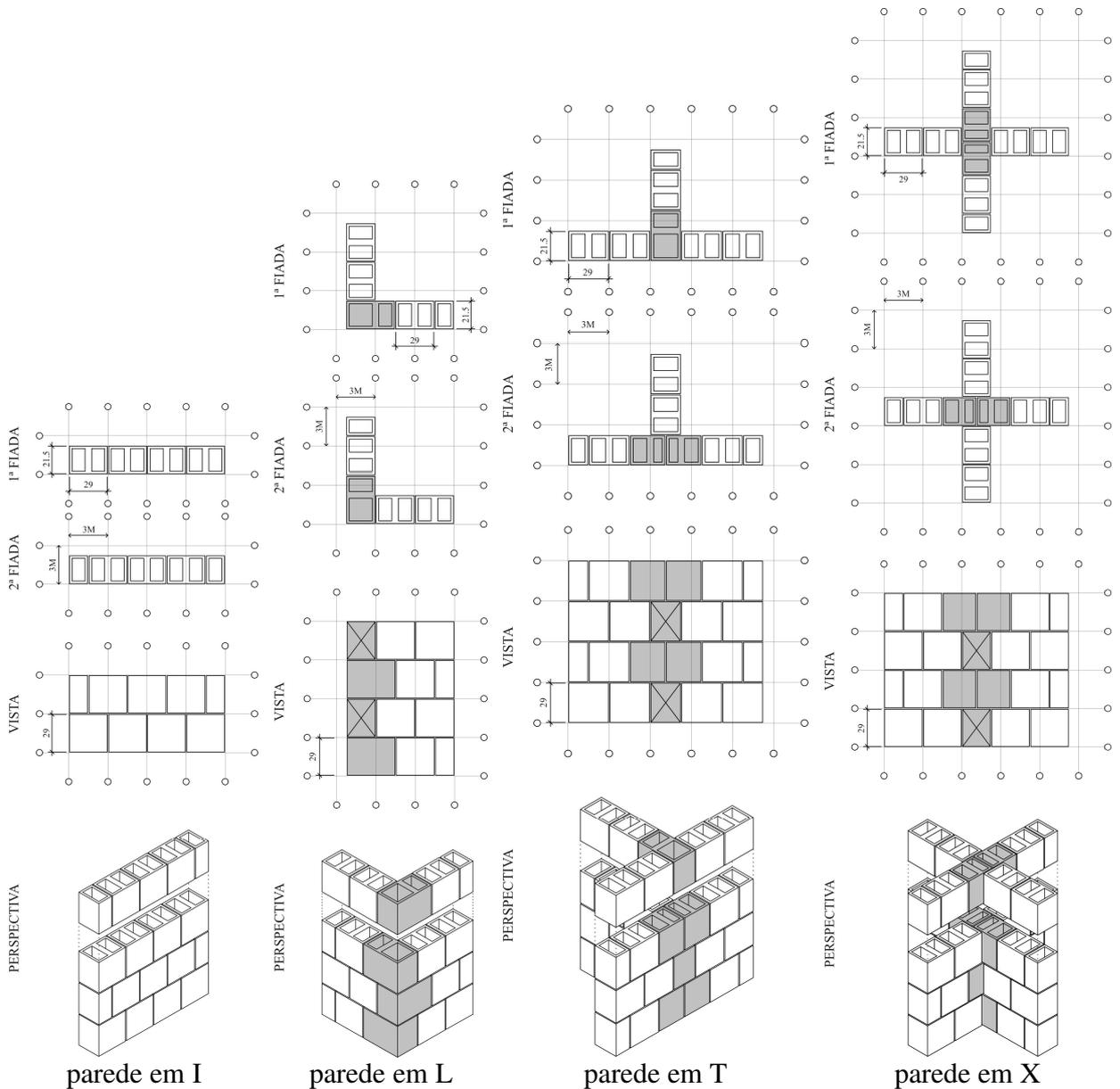


Figura 63: amarrações de parede em I, L, T e X da família 22,5x30x30

Na figura 64 podem ser vistas as amarrações de paredes em L, T e X entre as famílias 15 x 15 x 30 cm e 22,5 x 30 x 30 cm. Estas amarrações serão utilizadas quando, por exemplo, a legislação exigir paredes externas mais espessas que 15 cm e paredes internas com 15 cm. Assim para amarração em L é necessária a unidade complementar de uma unidade e um quarto para que seja feito o correto transpasse à meia peça no contrafiamento. Já para a parede em T são necessárias unidades complementares de uma unidade e um quarto e uma unidade e meia para que seja feito o correto transpasse à meia peça no contrafiamento. Por fim, na

amarração em X são necessárias unidades complementares de uma unidade e meia e uma unidade e três meios para que seja feito o correto transpasse à meia peça no contrafiamento.

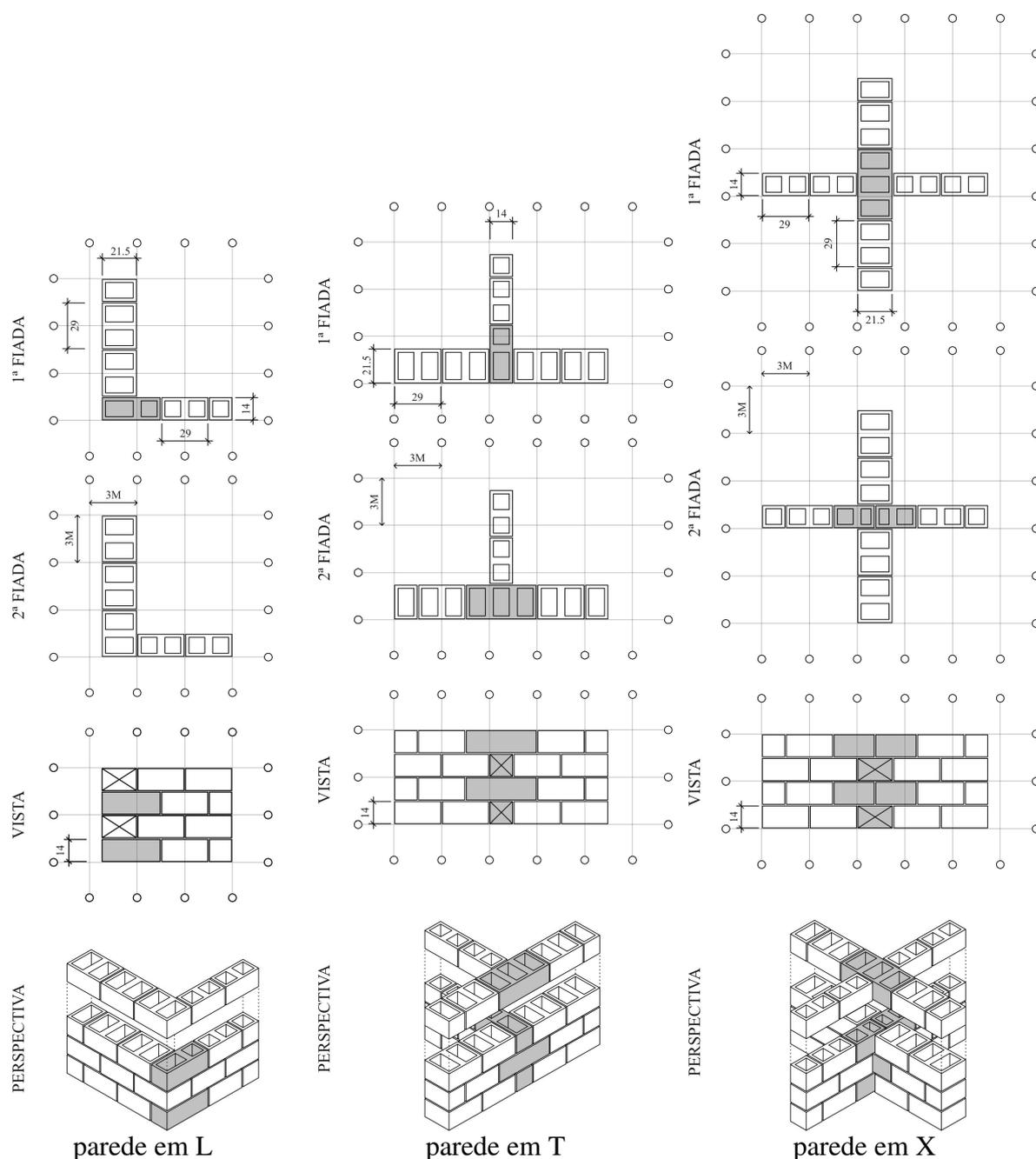


Figura 64: amarrações de parede em L, T e X entre as famílias 15 x 15 x 30 cm e 22,5 x 15 x 30 cm

Na figura 65 podem ser vistas as amarrações de paredes em L, T e X entre as famílias 15 x 30 x 30 cm e 22,5 x 30 x 30 cm. Assim como para as amarrações da figura 64, estas amarrações serão utilizadas quando, por exemplo, a legislação exigir paredes externas mais espessas que 15 cm e paredes internas com 15 cm. Assim para amarração em L é necessária a unidade complementar de uma unidade e um quarto para que seja feito o correto transpasse à meia peça no contrafiamento. Já para a parede em T são necessárias unidades complementares de

uma unidade e um quarto e uma unidade e meia para que seja feito o correto transpasse à meia peça no contrafiamento. Por fim, na amarração em X são necessárias unidades complementares de uma unidade e meia e uma unidade e três meios para que seja feito o correto transpasse à meia peça no contrafiamento.

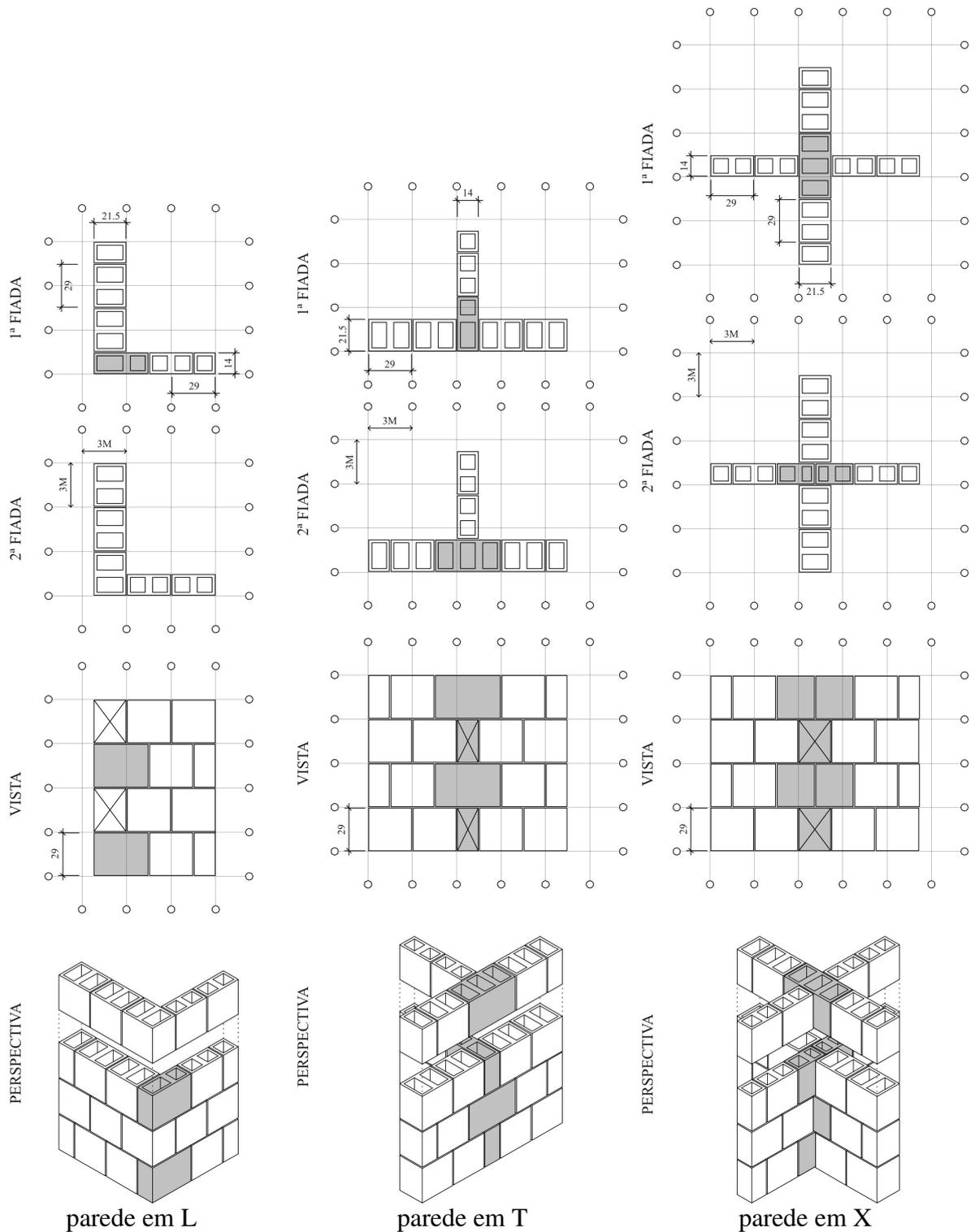


Figura 65: amarrações de parede em L, T e X entre as famílias 15 x 30 x 30 cm e 22,5 x 30 x 30 cm

Na figura 66 podem ser vistas as amarrações de paredes ângulos de 150° , 135° e 120° para a família de $15 \times 15 \times 30$ cm. Nestes casos, serão utilizadas peças especiais, que são peças em ângulo e as demais peças serão a unidade principal e as meia unidade desta família.

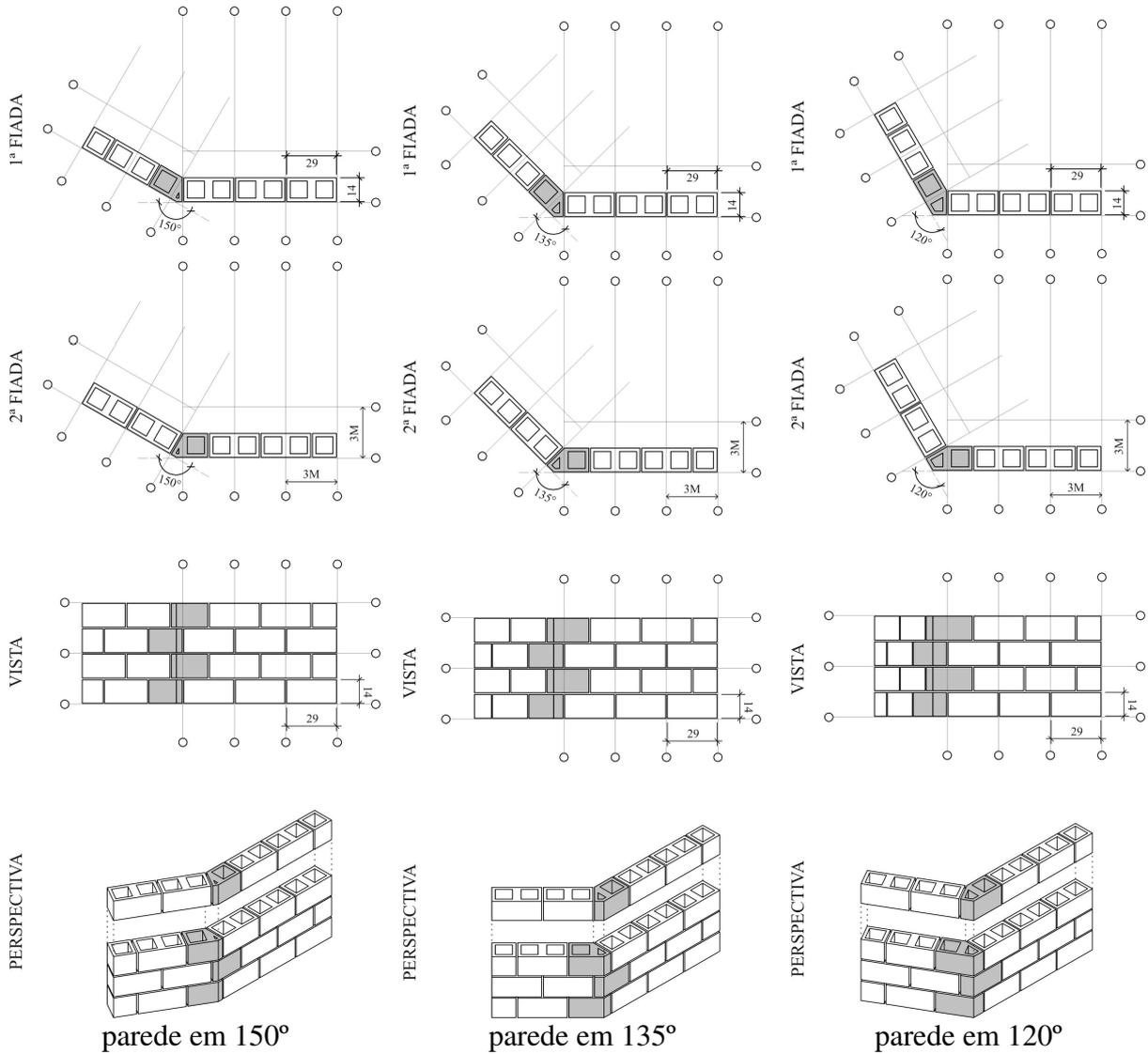


Figura 66: amarrações de parede em ângulo da família $15 \times 15 \times 30$

Assim como na figura 66, na figura 67 podem ser vistas as amarrações de paredes ângulos de 150° , 135° e 120° para a família de $15 \times 30 \times 30$ cm. Nestes casos, serão utilizadas peças especiais, que são peças em ângulo e as demais peças serão a unidade principal e as meia unidade desta família.

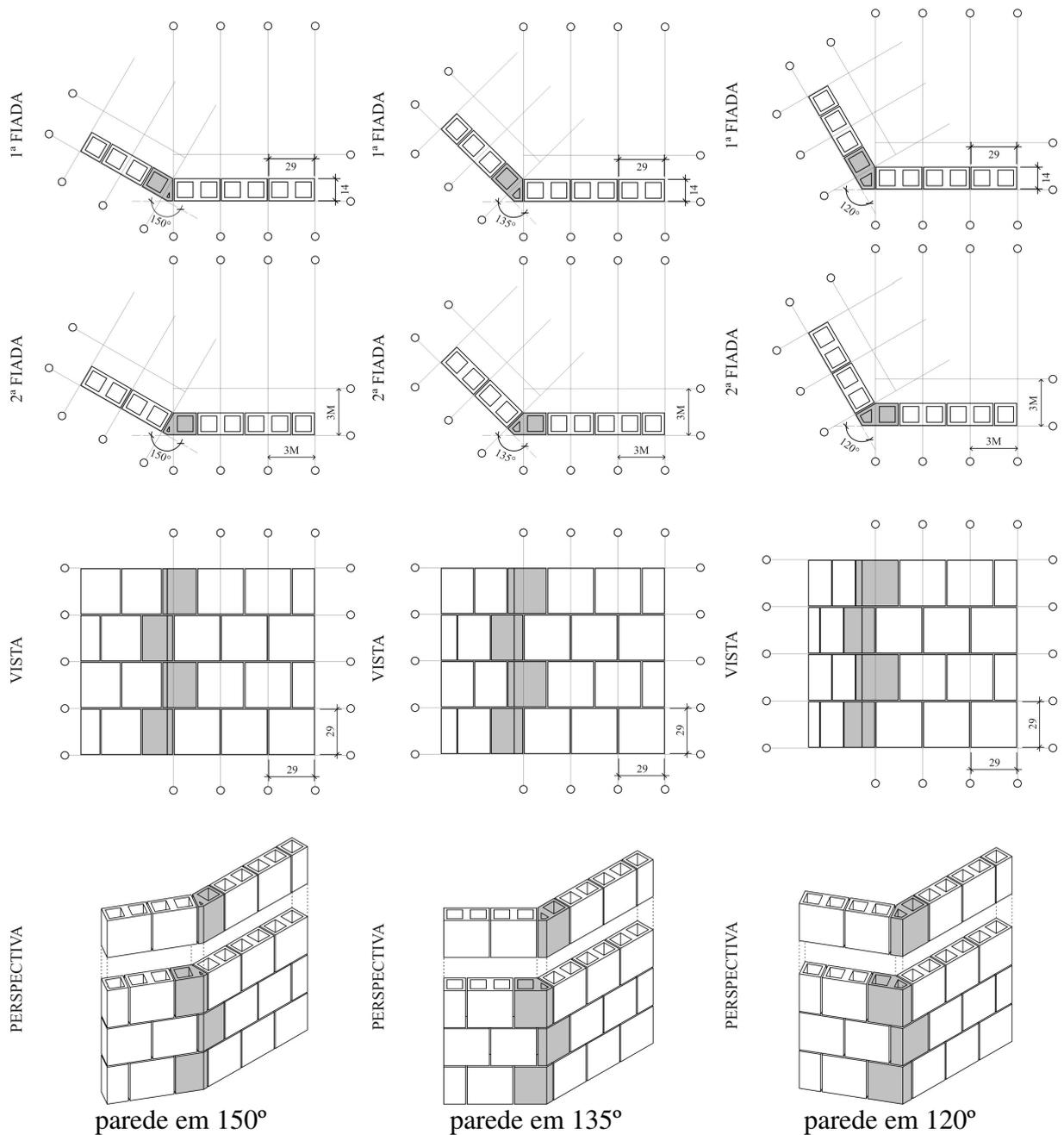
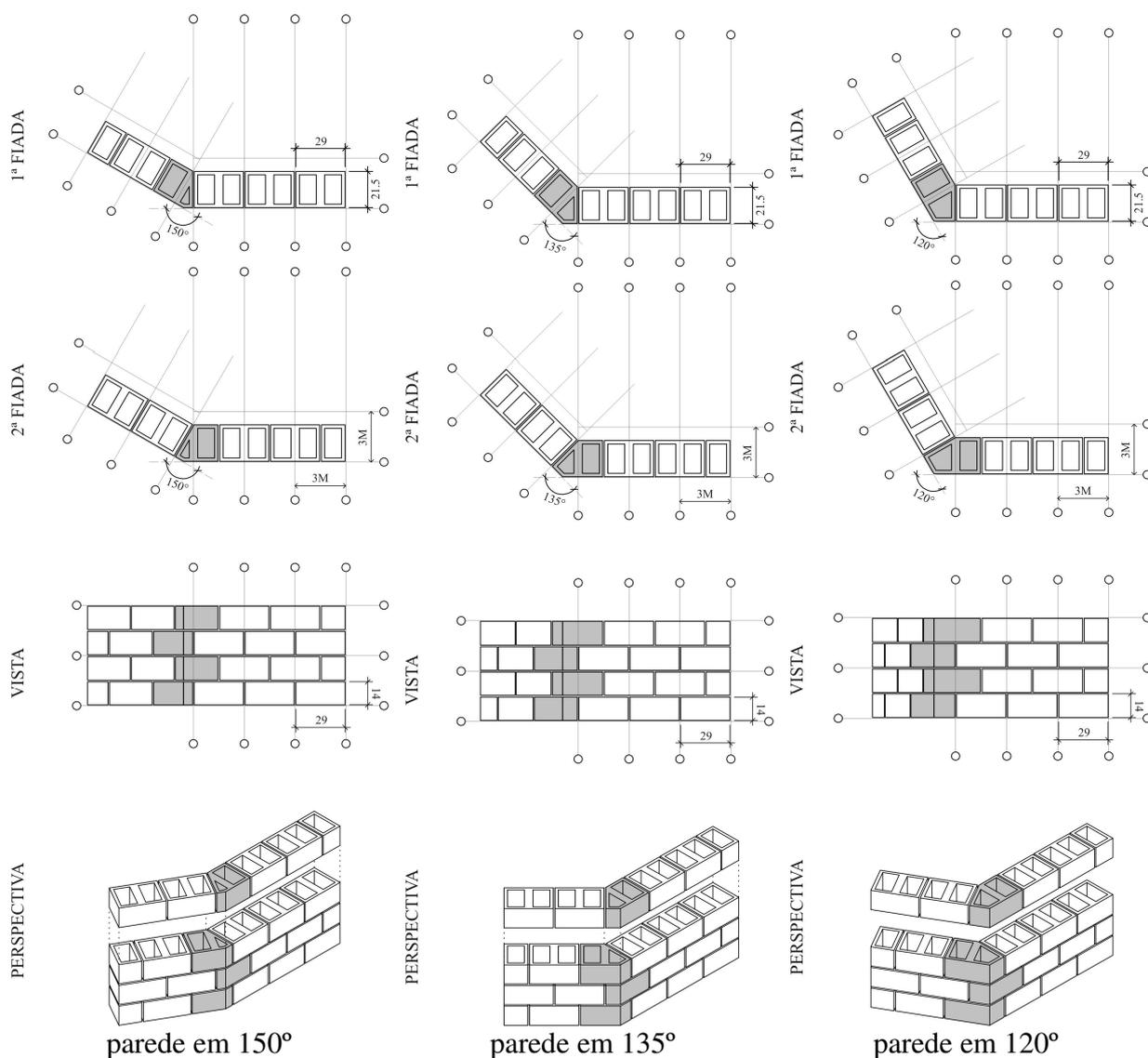


Figura 67: amarrações de parede em ângulo da família 15 x 30 x 30

O mesmo acontece na figura 68 onde podem ser vistas as amarrações de paredes ângulos de 150°, 135° e 120° para a família de 22,5 x 15 x 30 cm. Nestes casos, serão utilizadas peças especiais, que são peças em ângulo e as demais peças serão a unidade principal e as meia unidade desta família.



parede em 150°

parede em 135°

parede em 120°

Figura 68: amarrações de parede em ângulo da família 22,5 x 15 x 30

A família 22,5 x 30 x 30 também pode ter amarrações de paredes ângulos de 150°, 135° e 120°, como pode ser visto na figura 69. Nestes casos também serão utilizadas peças especiais, que são peças em ângulo e as demais peças serão a unidade principal e as meias unidades desta família. Outras composições também são possíveis, este estudo não tem por objetivo esgotar todas as possibilidades de combinações para os arranjos de paredes. Estas amarrações ilustradas nas figuras 60 a 69 são uma amostra de como as unidades de alvenaria estrutural propostas atingem os objetivos de racionalização que este processo de alvenaria estrutural se propõe.

Assim, conforme apontado anteriormente, Franco (1992) afirma que o uso da coordenação modular tem reflexos em praticamente todas as fases do empreendimento em alvenaria estrutural. Por um lado permite a introdução de procedimentos padronizados na execução e aumenta a precisão com que se produz a obra, facilitando a introdução de técnicas que exigem

maior precisão. Por outro lado, otimiza a execução do projeto, já que possibilita a criação de métodos de execução e a padronização de detalhes.

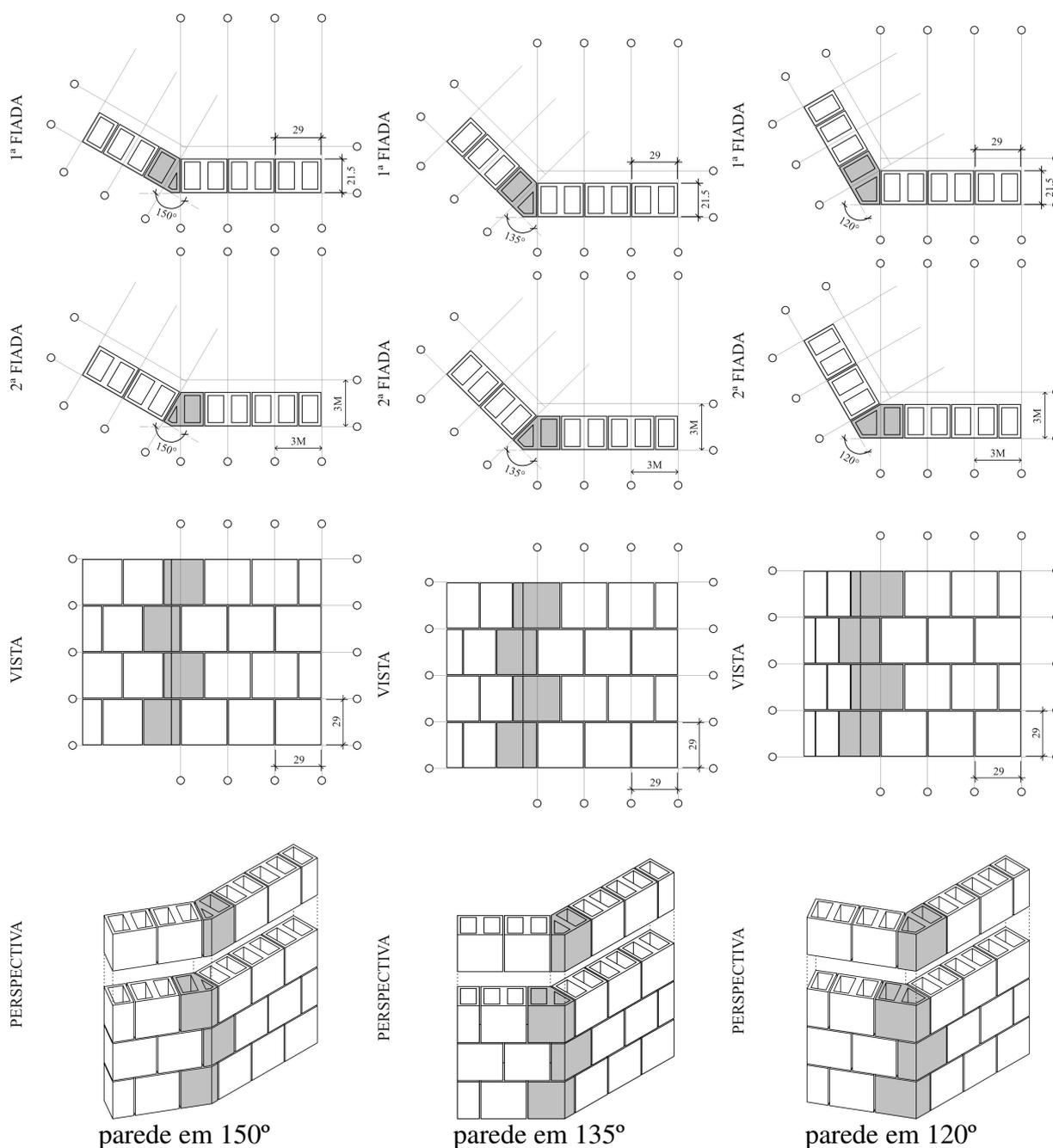


Figura 69: amarrações de parede em ângulo da família 22,5 x 30 x 30

6.4 PROJETO PILOTO COM AS UNIDADES DE ALVENARIA ESTRUTURAL PROPOSTAS

Com base nas dimensões propostas para as unidades de alvenaria estrutural no Brasil e no o arranjo de paredes apresentado anteriormente foi desenvolvido um projeto piloto, para

verificar a racionalização que o processo construtivo em alvenaria estrutural se propõe. Este projeto foi baseado na regra de combinação para projetos coordenados modularmente onde (figura 70):

- a) medida externa ($mE = n.3M - 1$): é a medida múltipla do módulo básico menos 1 cm da junta;
- b) medida de abertura ($mA = n.3M + 1$): é a medida múltipla do módulo básico + 1 cm de junta;
- c) medida de saliência ($mS = n.3M$): é a própria medida do módulo básico ou de seu múltiplo.

n	mE (n.3M-1)	mS (n.3M)	mA (n.3M+1)
1	29	30	31
2	59	60	61
3	89	90	91
4	119	120	121
5	149	150	151
6	179	180	181
7	209	210	211
8	239	240	241
9	269	270	271
10	299	300	301
11	329	330	331
12	359	360	361
13	389	390	391
14	419	420	421
15	449	450	451
16	479	480	481
17	509	510	511
18	539	540	541
19	569	570	571
20	599	600	601

Figura 70: medidas externa (mE), medida de saliência (mS) e medida de abertura (mA) de 1.(3M) à 20.(3M), para M = 10 cm.

A medida externa (mE) será sempre a medida de projeto de qualquer parede em alvenaria sem revestimento quando verificada externamente. A medida de abertura (mA) será sempre a medida do vão onde será inserida a abertura, sem o revestimento ou a medida de uma parede compreendida entre duas paredes paralelas. A medida de saliência (mS) será a medida de qualquer parede que inicie em outra parede e tenha sua outra extremidade livre. Estas medidas podem ser observadas na figura 71.

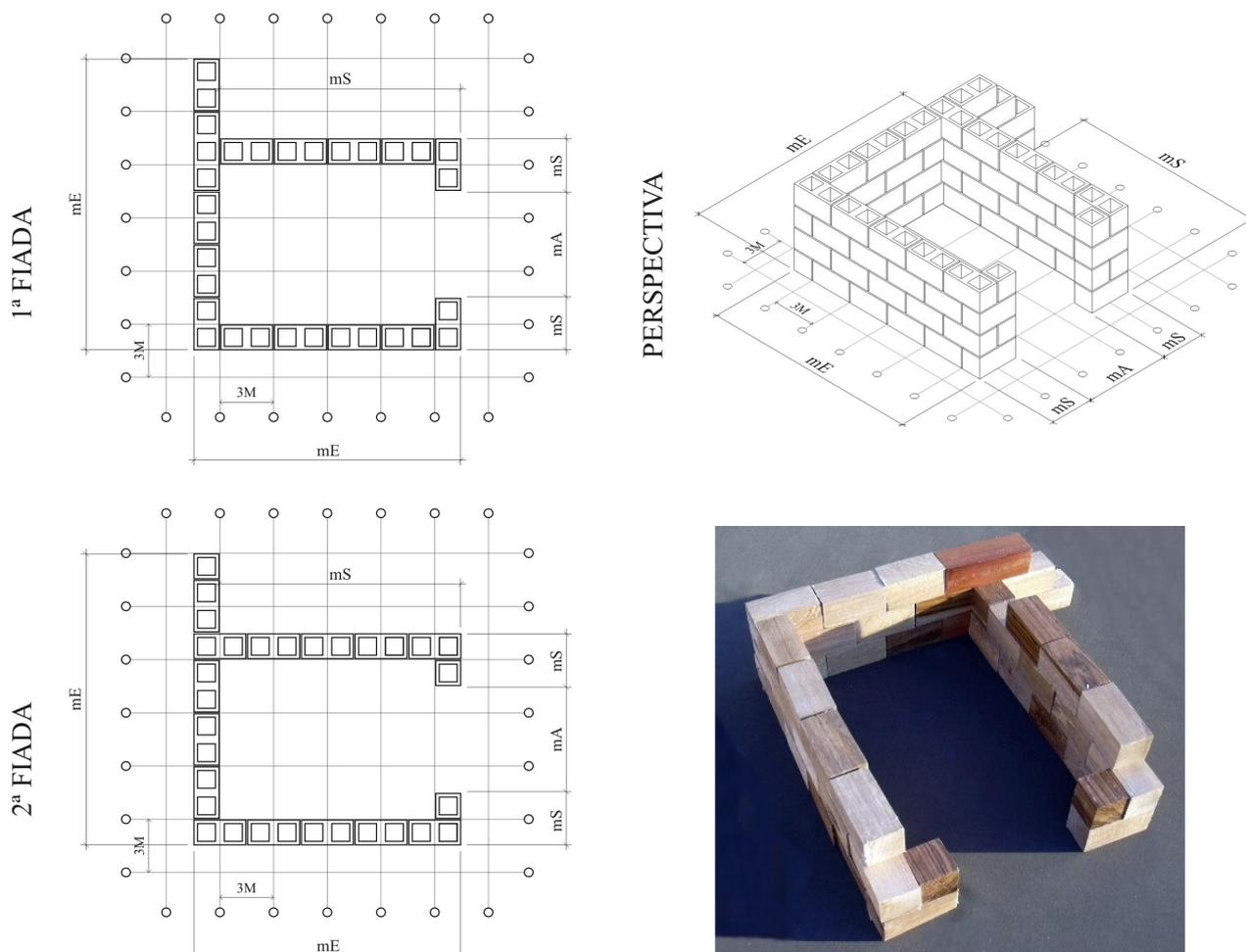


Figura 71: medidas externa (mE), medida de saliência (mS) e medida de abertura (mA)

O projeto desenvolvido tomou como base um projeto existente, executado em alvenaria estrutural. Este projeto é um exemplo de um dos problemas enfrentados no Brasil, pois é uma adaptação de um projeto arquitetônico de um edifício em concreto armado para um projeto em alvenaria estrutural. Apesar disto o projetista, deste projeto em particular, conseguiu uma boa combinação entre os blocos, o que resultou no uso de poucas unidades complementares, se comparado a outros projetos comumente encontrados no Brasil. Assim, a figura 72 mostra o projeto de paginação original, a figura 73 o projeto piloto que é a modificação do projeto original segundo o quadriculado multimodular 3M, desenvolvido com as unidades de alvenaria estrutural propostas e na figura 74 está a paginação do projeto piloto, que aos poucos, com a experiência adquirida, não será mais necessária, conforme visto no exemplo da Alemanha.

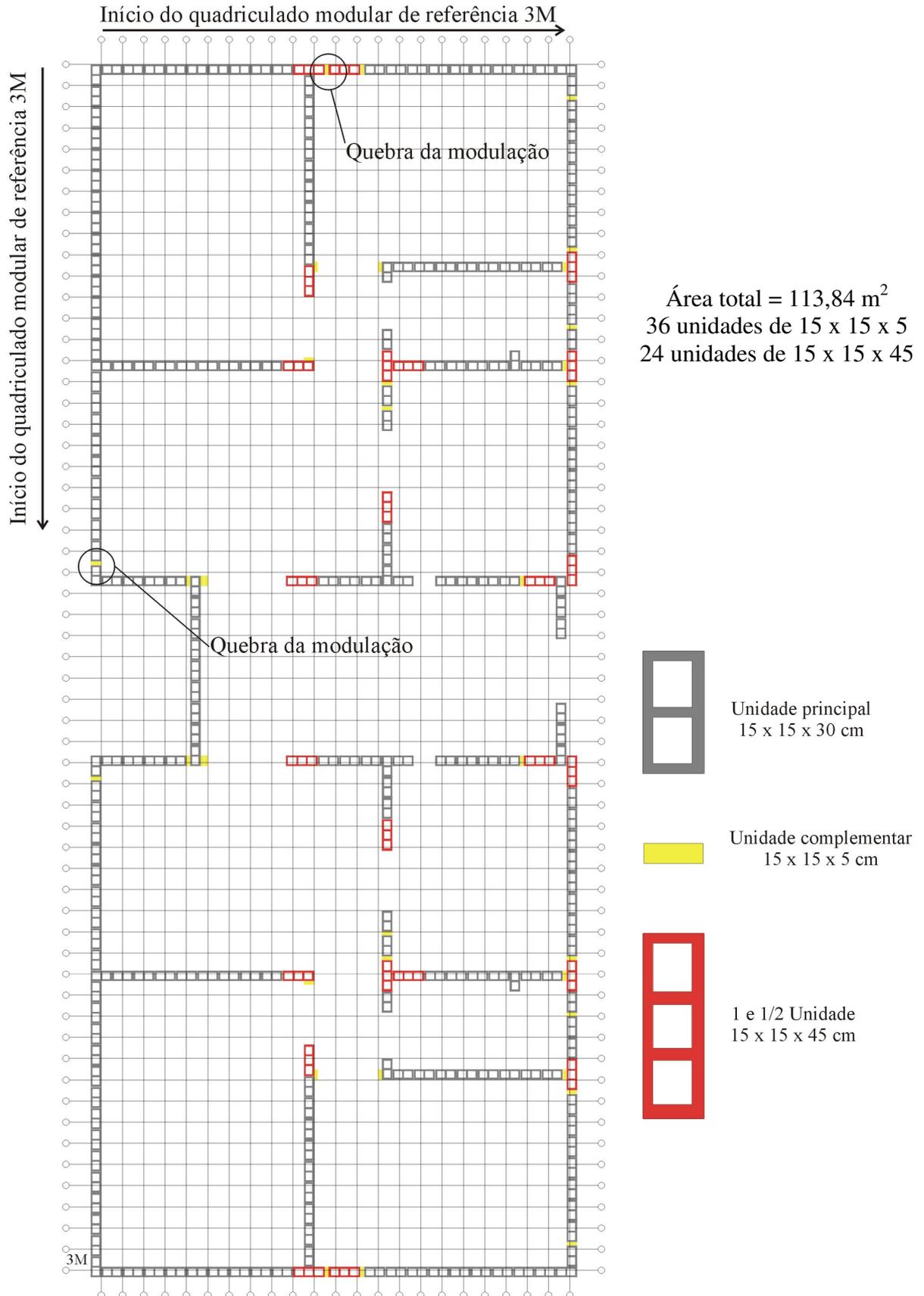


Figura 72: paginação da primeira fiada do pavimento tipo de um projeto de edifício multifamiliar adaptado de um projeto arquitetônico de um edifício em concreto armado para um projeto em alvenaria estrutural

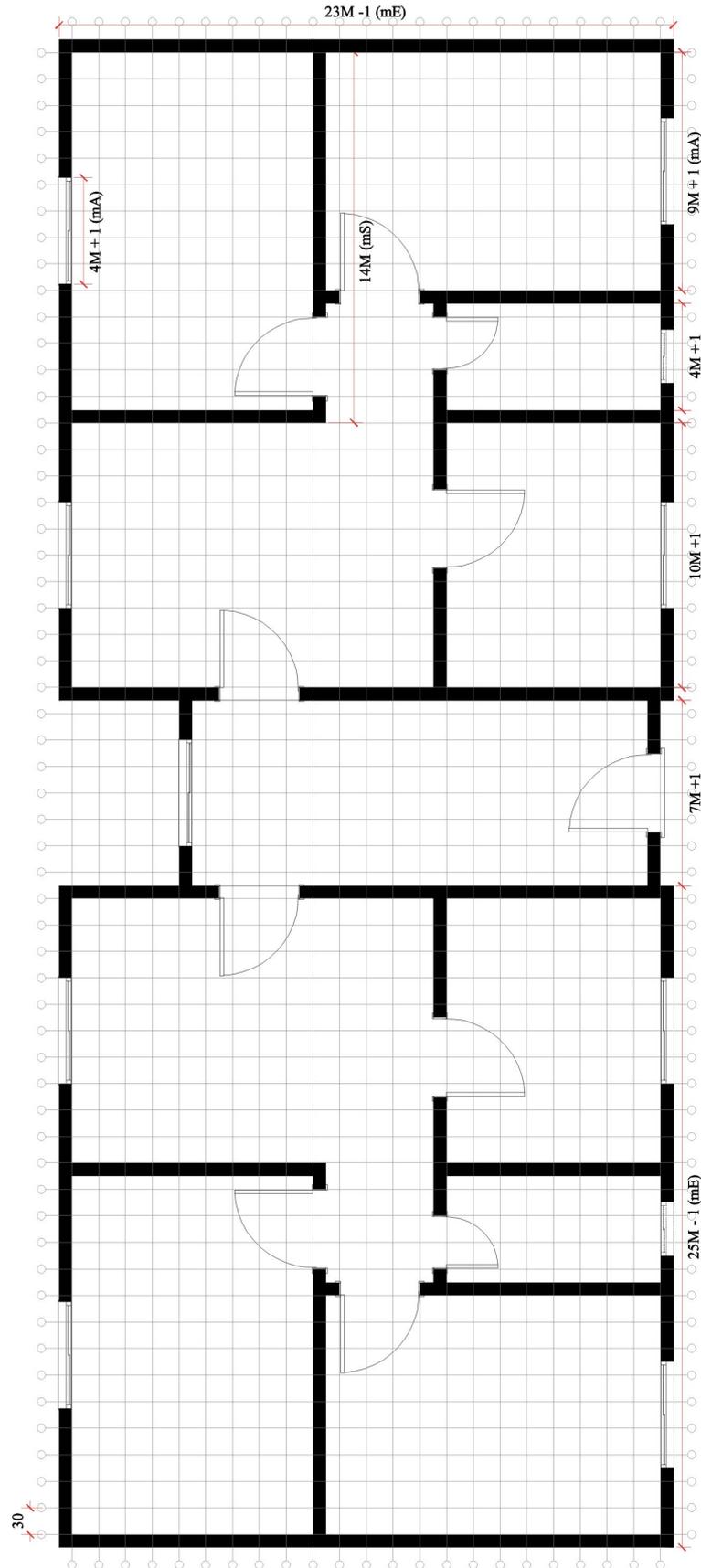


Figura 73: planta baixa do pavimento tipo do projeto piloto, segundo o quadriculado multimodular de referência 3M, com base no projeto da figura 97

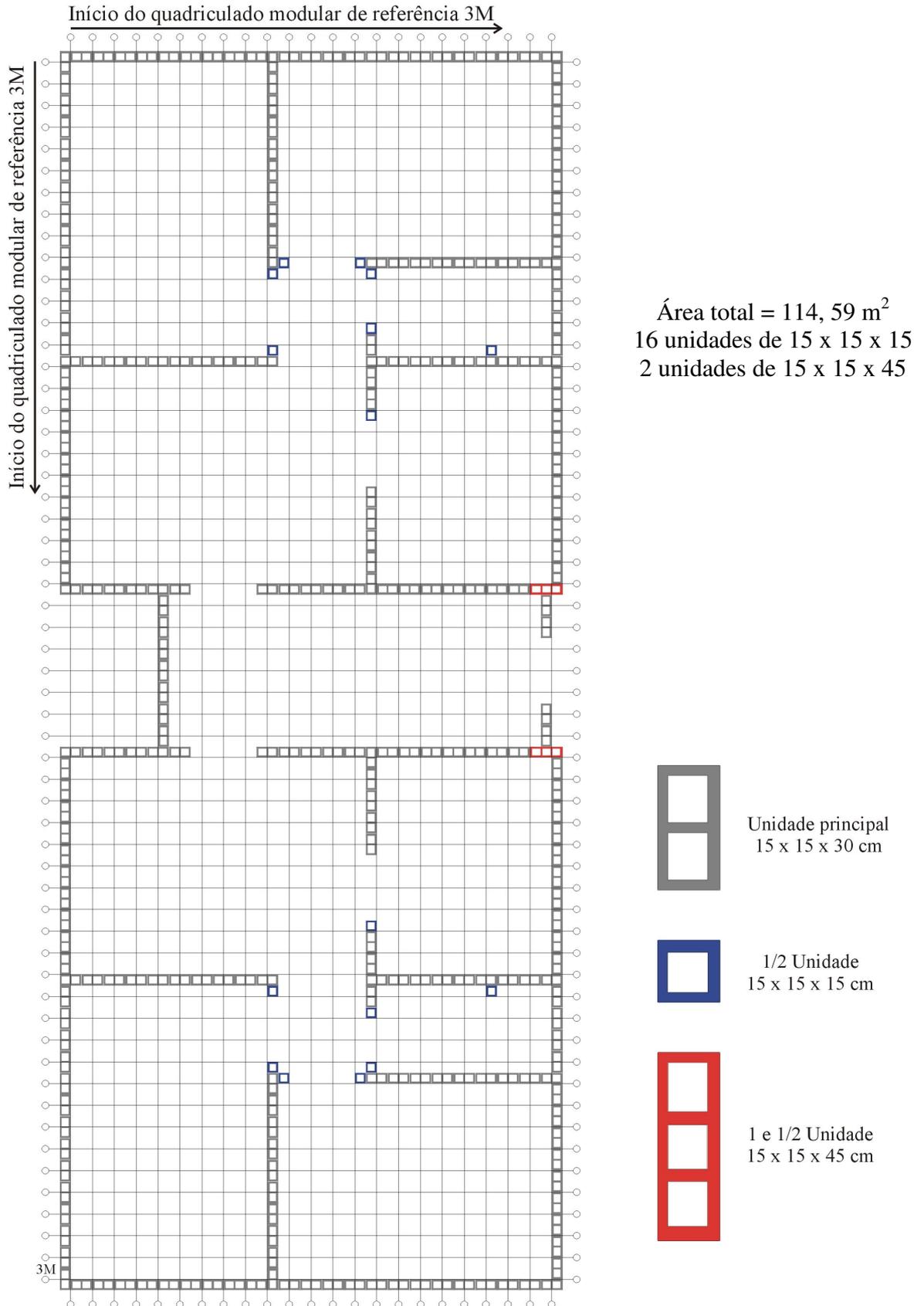


Figura 74: paginação da primeira fiada do pavimento tipo do projeto piloto com as unidades de alvenaria estrutural propostas

Para fazer este projeto piloto foram tomadas como base as medidas do projeto original, mas diferentemente de uma simples adaptação, estas medidas foram elaboradas a partir do quadriculado de projeto de 3M, ou seja, 30 cm. Primeiramente foi escolhida a família de unidades a ser utilizada, ou seja, a de 15 x 15 x 30 cm. Em seguida foi elaborado o quadriculado multimodular de referência de 3M, onde as unidades foram posicionadas lateralmente de acordo com as medidas originais do projeto. As medidas de projeto que não estavam de acordo com o quadriculado de projeto foram ajustadas para encaixar no quadriculado, ora aumentando, ora diminuindo, mas sem mudar a concepção do projeto original.

Desta maneira, o projeto proposto difere do projeto original, possuindo 5 cm a mais na largura total e 10 cm a menos no comprimento total, tendo, apenas 0,75 m² a mais. Outra diferença importante é o número de unidades complementares. Neste caso só está sendo comparada a primeira fiada de cada um dos projetos. Percebe-se que na primeira fiada do projeto original são utilizadas 36 unidades com dimensões modulares de 15 x 15 x 5 cm, conhecidas popularmente como bolachas e 24 unidades de dimensões modulares de 15 x 15 x 45 cm. Enquanto isso, no projeto piloto são utilizadas 16 unidades de dimensões modulares de 15 x 15 x 15 cm, denominadas meia unidade e 2 unidades de dimensões modulares de 15 x 15 x 45 cm, denominadas uma unidade e meia.

Enfim, este é um pequeno exemplo de como a utilização de princípios de coordenação modular podem induzir à contrutibilidade mediante projetos mais simplificados, e portanto mais racionalizados, sem interferência na liberdade criativa dos arquitetos. Pois o aumento ou a redução de 5 ou 10 cm no contexto global do projeto não interferem na concepção arquitetônica da obra a ser edificada.

7 CONCLUSÕES

O objetivo principal da pesquisa foi sugerir à indústria brasileira uma série de medidas preferidas para a padronização das dimensões de unidades de alvenaria estrutural no Brasil, apresentando os possíveis arranjos de paredes e elaborando um projeto piloto coordenado modularmente. Para atingir este objetivo dividiu-se o trabalho em quatro partes, ou seja, os capítulos 3, 4, 5 e 6 respectivamente.

A primeira parte foi discutida no capítulo 3 e trata da aplicação da teoria da coordenação modular na alvenaria estrutural, através de sua relação com a arquitetura e da síntese dos seus princípios fundamentais. Tendo sempre o foco na padronização do componente modular e no seu uso em projetos coordenados modularmente. Em relação à redução da liberdade criativa do arquiteto fica claro que a padronização de elementos ou processos, e não dos projetos ou edifícios, impõe pequenos limites na ação criadora, mas não restringe as possibilidades de criação, nem, tão pouco, uniformiza as edificações.

No capítulo 4 foi apresentada a situação da alvenaria estrutural no Brasil, observando principalmente o uso da coordenação modular, as características das unidades, do projeto e da execução nesse processo construtivo. Foi destacado que um dos principais problemas enfrentados no Brasil é a adaptação de projetos arquitetônicos de edifícios em concreto armado para projetos em alvenaria estrutural. A principal razão apontada para este problema foi que as unidades de alvenaria não são coordenadas modularmente e necessitam rigorosa padronização.

A falta de padronização das unidades de alvenaria ocasiona perdas não somente no uso desses elementos, mas também na sua compatibilização com os demais. Uma das maiores perdas é na produtividade, pois devido à baixa construtibilidade dos projetos, a mão-de-obra precisa ter cuidado dobrado na execução. Assim, ficou evidenciado que a padronização das unidades de alvenaria no Brasil é extremamente necessária, pois estes elementos são o centro de praticamente toda a atividade construtiva, principalmente habitacional. E a principal vantagem da alvenaria estrutural em relação à construção tradicional com estrutural reticulada em concreto armado é o aumento da produtividade no canteiro de obras, resultando em economia no processo construtivo.

Também neste capítulo foram comparadas as normas sobre coordenação modular e as para a definição das dimensões das unidades de alvenaria. Com relação às normas sobre dimensões

foi salientado que não existe uma norma técnica que especifique dimensões para unidades de alvenaria sem estar relacionada ao seu material constituinte. Em geral não há uma separação clara quanto ao uso específico para alvenaria estrutural. Somente a NBR 6136 é específica para blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural. Entretanto, está em fase de desenvolvimento uma norma que irá suprir a carência de normas para blocos cerâmicos para alvenaria estrutural que é o Projeto NBR 02:101.01-002/2.

Com relação à comparação entre as normas, a primeira constatação a ser feita a respeito das normas sobre unidades de alvenaria, é que apenas a NBR 6136 e o Projeto NBR 02:101.01-002/2 sugerem como documento complementar alguma norma de coordenação modular. Na análise das normas foram indicadas 2 aspectos de modularidade e 3 aspectos de não modularidade. Das nove normas analisadas, foram evidenciadas 51 % de aspectos de não modularidade. Destas, a de maior recorrência foi a de que o comprimento e a largura das unidades não eram múltiplos entre si, com 22 % das ocorrências. A partir dos resultados acima descritos conclui-se que, para que a padronização seja efetiva, as normas sobre dimensões das unidades de alvenaria devem ser revistas e adaptadas às normas de coordenação modular.

Em relação aos tijolos, foi apontada a perda de produtividade quando são utilizadas peças muito pequenas, sendo, por isso, recomendado o uso de unidades maiores. Também foi constatado que a falta de padronização dos blocos de concreto e cerâmicos não é tão crítica como a dos tijolos. Com relação à falta de padronização dos blocos, o maior problema apontado foi da unidade básica mais utilizada no Brasil, com dimensão nominal de 15 x 20 x 40 cm. Essa dimensão não permite utilização de uma malha horizontal modular de projeto nem de 2M, nem de 3M. Assim, dificulta a amarração entre os elementos e a racionalização do projeto arquitetônico. A utilização de blocos de 15 x 20 x 40 cm exige o emprego de blocos especiais, pois, sua largura não é múltipla do seu comprimento. O uso desta unidade deve, portanto ser evitado.

No capítulo 5 foi apresentada a situação da alvenaria estrutural na Alemanha. A pesquisa bibliográfica mostrou que na década de 50 a coordenação modular foi amplamente discutida, tanto na Alemanha, como em outros países (França, Bélgica, Finlândia, etc.) Devido a facilidade de acesso às informações e à ampla discussão deste assunto, a Alemanha foi escolhida para ser objeto de estudo neste trabalho. A pesquisa também apontou que a alvenaria sempre teve um importante papel na indústria da construção daquele País, pois cerca de 82% das novas residências são construídas nesse processo construtivo. Também foi observado que dentre as indústrias de unidades de alvenaria, a que mais se destaca, é a indústria cerâmica, com cerca de 45% das unidades produzidas.

Foi visto neste capítulo que, segundo o modelo de coordenação alemão, todas as dimensões das unidades de alvenaria normatizadas são definidas por uma regra única. Esta regra se baseia nas combinações de uma unidade básica que dá origem às dimensões de todos os outros formatos das unidades. Isso garante não somente a lógica das dimensões dos formatos, como também que estes sejam combináveis entre si. Esta foi a base para a proposta das dimensões das unidades de alvenaria estrutural no Brasil.

Neste capítulo foi visto que as normas que tratam dos aspectos fundamentais da coordenação na construção na Alemanha são a DIN 4172 e a DIN 18000. Apesar da DIN 18000 ser mais recente e estar baseada no sistema decimétrico, as dimensões dos formatos das unidades de alvenaria são definidas pela DIN 4172, segundo o sistema octamétrico. Um dos entrevistados afirmou que a Alemanha está passando pela transição entre estes dois sistemas, mas mesmo assim, os envolvidos no setor construtivo não demonstram interesse neste tema. Também foi constatado que essa mudança não está próxima de ocorrer, pois o sistema octamétrico continua arraigado à tradição construtiva naquele País.

Assim conclui-se que a adaptação ao sistema decimétrico deve ser buscada com a mesma profundidade que foi dedicada aos estudos sobre o sistema octamétrico na década de 50. Também os arquitetos devem ser estimulados a utilizar os princípios de coordenação modular em seus projetos, pois isso não é um entrave à liberdade criativa, mas um meio de proporcionar maior racionalidade aos processos construtivos.

No capítulo 6 foi apresentada a proposta de padronização das dimensões das unidades de alvenaria estrutural no Brasil. Primeiramente foram vistos os aspectos condicionantes para as dimensões das unidades de alvenaria estrutural no Brasil, logo em seguida foi feita uma apresentação das unidades propostas. De posse do conjunto de unidades padronizadas foram verificados os arranjos de paredes mais recorrentes, como os encontros em I, L, T e X. Finalmente, foi elaborado o projeto piloto tomando como base um projeto desenvolvido para estrutura em concreto armado, que foi adaptado para a alvenaria estrutural, a fim de demonstrar a viabilidade de utilização das unidades de alvenaria estrutural propostas.

Dentre os requisitos de coordenação modular, estruturais, culturais, de conforto ambiental, legais, de trabalhabilidade, de intercambiabilidade, bem como, o exemplo da Alemanha na composição das dimensões destas unidades destaca-se que módulo básico (M) no Brasil é 10 cm e as dimensões de todos os formatos das unidades de alvenaria devem ser múltiplas para facilitar o uso de apenas um multimódulo a reger a construção civil. Assim, segundo recomendações internacionais e se comparado ao sistema pé-polegada, a série modular que foi adotada é a de razão 3 e o multimódulo adotado foi de 3M.

A amarração adotada foi a meio bloco, principalmente pela facilidade de entendimento pela mão-de-obra menos qualificada. Logo, o comprimento adotado (C) para a unidade básica foi de 30 cm e a largura (L) de 15 cm, obedecendo à regra da proporção ($C = 2 \times L$). A altura (A) adotada foi de 7,5 cm uma vez que atende tanto a regra da proporção 4: 2: 1 (C: L: A) quanto à do submódulo ($n.M/4$). Assim, a unidade básica adotada foi de 15 x 7,5 x 30 cm. Devido a restrições estruturais a largura modular de 10 cm não pode ser adotada. Assim, foi estabelecida como largura modular mínima (L) de 15 cm para a unidade básica, atendendo, portanto a série modular de razão 3.

Em relação aos requisitos culturais, foi apontado que atualmente não existe uma dimensão padrão para tijolos, mas no caso dos blocos, há uma tendência, verificada principalmente na região sudeste, de utilização dos blocos com dimensões 15 x 20 x 30 cm. Outra unidade largamente utilizada é a de 15 x 20 x 40 cm, mas, como já foi visto anteriormente, esta dimensão não permite a utilização de uma malha modular horizontal nem de 2M nem de 3M e exige a utilização de unidades complementares com larguras de 5, 35 e 55 cm. Assim, em função dos requisitos culturais, devem ser mantidas as unidades com base na série de medidas de razão 3.

Em relação aos requisitos de conforto térmico, a dimensão modular de 15 cm, largura (L) mínima da unidade de alvenaria estrutural, é suficiente para garantir o desempenho térmico do componente construtivo em si, para a maior parte do território brasileiro. Em relação às zonas bioclimáticas brasileiras 4, 6 e 7, como são recomendadas paredes pesadas pelo Projeto NBR 02:135.07-003, sugere-se que sejam especificadas paredes mais espessas ou ainda paredes duplas. Em relação aos requisitos de acústica foi verificado que a dimensão modular de 15 cm, largura (L) mínima da unidade de alvenaria estrutural, é satisfatória ao desempenho do componente.

Conforme foi visto até este ponto, a dimensão da menor unidade de alvenaria estrutural para o Brasil é de 15 x 7,5 x 30 cm, que é a unidade básica (UB). A exemplo da Alemanha, as dimensões dos formatos das unidades de alvenaria estrutural surgem da composição de unidades básicas. Assim, todas as dimensões das unidades de alvenaria foram definidas por uma regra única. Esta regra se baseia nas combinações de uma unidade básica que dá origem às dimensões de todos os outros formatos das unidades. A diferença entre o sistema alemão e esta proposta é o módulo adotado. Enquanto na Alemanha é utilizado o módulo 12,5 cm e o multimódulo 2M, aqui foi adotado o módulo 10 cm e o multimódulo 3M.

Conforme foi visto, a largura de 15 cm é satisfatória para atender requisitos de desempenho térmico e acústico, entretanto, existem restrições legais quanto à adoção desta dimensão

principalmente para paredes externas para algumas cidades brasileiras. Para os casos onde a legislação exige espessuras maiores, como o de Porto Alegre, recomenda-se que as paredes tenham a espessura exigida, sendo esta medida escolhida dentro das medidas preferidas sugeridas neste trabalho.

Como não foi possível determinar exatamente a dimensão máxima da unidade de alvenaria estrutural, recomenda-se que sejam feitos estudos específicos, sobre a força máxima do pedreiro e quantas repetições contínuas são possíveis para que este realize a tarefa em seu máximo esforço, dentro de parâmetros considerados saudáveis para a execução da tarefa.

A unidade básica ficou então definida com as medidas modulares de 15 x 7,5 x 30 cm, identificada pela sigla UB e dando origem a todos os demais formatos. Nesta proposta foi definida apenas a medida modular, pois cada fabricante pode especificar a dimensão da junta e descontá-la da medida modular para obter a medida de projeto de cada unidade. Estas unidades podem ser vazadas, perfuradas ou mesmo maciças, dependendo do material utilizado ou segundo a especificação dos fabricantes. Mas é importante verificar que os furos devem ser sempre na vertical, pois são unidades com função estrutural.

Foi também definido que o modelo de composição de unidades apresentado neste estudo não deve ser restrito às unidades aqui apresentadas. Este modelo pode servir também para a determinação de unidades com dimensões maiores, para assentamento com auxílio mecânico, como já é feito em países desenvolvidos, por exemplo, na Alemanha. Para isto, é preciso apenas acrescentar unidades básicas a este modelo e identificar a nova dimensão que se constitui através desta composição.

Para elaborar um projeto com as unidades de alvenaria estrutural propostas, foi sugerido escolher, já no início do projeto, a família que a ser utilizada. Foi recomendado que fossem utilizadas unidades sempre da mesma família. Também foi registrado que é importante utilizar em maior quantidade as unidades principais, e que as demais unidades devem apenas ser utilizadas para encontros de paredes ou locais específicos, onde se fizerem necessárias. Também foi recomendada uma regra de combinação para projetos coordenados modularmente onde a medida externa ($mE = n.M - 1$) é a medida múltipla do módulo básico menos 1 cm da junta, a medida de abertura ($mA = n.M + 1$) é a medida múltipla do módulo básico + 1 cm de junta e a medida de saliência ($mS = n.M$) é a própria medida do módulo básico ou de seu múltiplo.

Por último foi desenvolvido o projeto piloto que tomou como base um projeto existente, executado em alvenaria estrutural. Para fazer este projeto piloto foram tomadas como base as

medidas do projeto original, mas diferentemente de uma simples adaptação, estas medidas foram elaboradas a partir quadriculado de projeto de 3M, ou seja, 30 cm. Primeiramente foi escolhida a família de unidades a ser utilizada, e sobre o reticulado multimodular de referência de 3M, foram posicionadas as unidades lateralmente. As medidas de projeto que não estavam de acordo com o quadriculado de projeto foram ajustadas, mas sem mudar a concepção do projeto original. Desta maneira, o projeto proposto difere do projeto original, contendo 5 cm a mais na largura total e 10 cm a menos no comprimento total, mas com a vantagem de ter um reduzido número de unidades complementares, facilitando a construtibilidade do edifício.

Esta proposta proporciona a redução do número de elementos complementares na obra, o que se traduz em maior construtibilidade e, portanto maior racionalização do processo construtivo. Os formatos padronizados são o caminho para a industrialização na construção civil, que deve ser seguido pelos demais componentes construtivos. Por fim, os resultados esperados com a padronização das unidades de alvenaria no Brasil são os seguintes:

- a) independência de um mesmo fornecedor ao longo de toda obra, gerando assim, maior competitividade entre as indústrias e permitindo a participação de pequenas cerâmicas;
- b) intercambiabilidade entre as unidades de alvenaria, agregando maior valor ao produto, reduzindo os custos de produção;
- c) indução da componentização dos demais componentes de construção;
- d) modernização da construção através da redução do número de unidades de alvenaria na obra, transformando-a em uma montadora de componentes;
- e) aumento da produtividade da mão-de-obra no canteiro através da construtibilidade que o projeto racionalizado possibilita;
- f) flexibilidade de combinações entre as unidades de alvenaria nos mais variados tamanhos, que, ao serem regidos por um sistema modular, poderão gerar desenhos mais elaborados na alvenaria aparente;
- g) maior construtibilidade do projeto arquitetônico que será baseado nos princípios da coordenação modular;
- h) redução do número de adaptações nas amarrações de paredes a partir da padronização de soluções construtivas;
- i) racionalização do processo construtivo com a redução de retrabalhos e de desperdício de material, pois, os cortes, recortes e adaptações são minimizados;
- j) padronização de procedimentos da mão-de-obra através de um processo racionalizado, entre outras.

Finalmente, isso leva a concluir, que a padronização das unidades de alvenaria apresenta-se como uma ferramenta importante para a difusão da qualidade da habitação, porém, para seu

uso efetivo é necessária a participação de todos os envolvidos na cadeia de produção, desde os desenhistas industriais, projetistas, até os responsáveis pela produção da obra, nos diversos estágios da construção. Assim, a seguir, são apresentadas algumas sugestões para trabalhos futuros:

- a) padronização de outros elementos de construção como materiais para revestimento, portas, janelas, mobiliário, segundo os princípios de coordenação modular;
- b) realização de estudos específicos para determinação da máxima dimensão das unidades de alvenaria, dentro de parâmetros considerados saudáveis para a execução da tarefa;
- c) elaboração de uma norma específica para determinação da geometria básica das unidades de alvenaria estrutural e de vedação, sem levar em conta o material constituinte da unidade, baseados nas dimensões propostas neste estudo;
- d) revisão das normas sobre alvenaria estrutural e coordenação modular;
- e) elaboração de proposta de unidades com formatos especiais, como os apresentados no capítulo 5, baseados nas dimensões propostas neste estudo;
- f) elaboração de proposta de unidades com formatos maiores, para assentamento com auxílio mecânico, seguindo a lógica das dimensões propostas neste estudo;
- g) realização de estudo sobre tolerância dimensional para cada tipo de material;
- h) elaboração de proposta de unidades com dimensões mais precisas, para juntas horizontais finas;
- i) realização de estudo sobre as possibilidades de diferentes geometrias internas das unidades de alvenaria estrutural;
- j) elaboração de estudo sobre o projeto arquitetônico para a alvenaria estrutural baseado na teoria da coordenação modular, abrangendo a interferência dos demais sub-sistemas (esquadrias, revestimentos, etc.).

REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas e Técnicas. **NBR 5706**: coordenação modular da construção. Rio de Janeiro, 1977.

_____. **NBR 5707**: posição dos componentes da construção em relação a quadricula modular de referência. Rio de Janeiro, 1982a.

_____. **NBR 5708**: vãos modulares e seus fechamentos. Rio de Janeiro, 1982b.

_____. **NBR 5709**: multimódulos. Rio de Janeiro, 1982c.

_____. **NBR 5711**: tijolo modular de barro cozido. Rio de Janeiro, 1982d.

_____. **NBR 5712**: bloco vazado modular de concreto. Rio de Janeiro, 1982e.

_____. **NBR 5718**: alvenaria modular. Rio de Janeiro, 1982f.

_____. **NBR 5725**: ajustes modulares e tolerâncias. Rio de Janeiro, 1982g.

_____. **NBR 5726**: série modular de medidas. Rio de Janeiro, 1982h.

_____. **NBR 5729**: princípios fundamentais para a elaboração de projetos coordenados modularmente. Rio de Janeiro, 1982i.

_____. **NBR 5731**: coordenação modular da construção. Rio de Janeiro, 1982j.

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

_____. **NBR 7170**: tijolo maciço cerâmico para alvenaria. Rio de Janeiro, 1983a.

_____. **NBR 8041**: tijolo maciço cerâmico para alvenaria: forma e dimensões. Rio de Janeiro, 1983b.

_____. **NBR 10847**: cálculo de alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto. Rio de Janeiro, 1989.

_____. **NBR 7171**: bloco cerâmico para alvenaria. Rio de Janeiro, 1992a.

_____. **NBR 8042**: bloco cerâmico para alvenaria: formas e dimensões. Rio de Janeiro, 1992b.

_____. **NBR 6136**: bloco vazado de concreto simples para alvenaria estrutural. Rio de Janeiro, 1994.

_____. **NBR 13749**: revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas. Rio de Janeiro, 1996.

_____. **Projeto NBR 02:135.07-002**: desempenho térmico de edificações: parte 2: métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2003a.

_____. **Projeto NBR 02:135.07-003**: desempenho térmico de edificações: parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2003b.

_____. **Projeto NBR 02:101.01-002/2**: componentes cerâmicos para alvenaria estrutural: parte 2: blocos cerâmicos para alvenaria estrutural. Rio de Janeiro, 2004.

_____. ABNT Digital. **Gerenciador eletrônico de normas**. Disponível em: <<http://www.abntdigital.com.br>> Acesso em: 10 jan. 2005.

ALEMANHA. Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau. **Schriftenreihe 04 - Bau- und Wohnforschung**: Modulordnung Toleranzen und Passungen. Heft n. 35. Bonn: Waisenhaus, 1978.

ANDRADE, M. **Coordenação dimensional como ferramenta para qualidade em projetos de habitação popular**. 2000. 196 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2000.

ASHRAE – American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers. **Handbook of Fundamentals**. Nova Iorque: ASHRAE, 1993.

BALDAUF, A. S. F. **Contribuição à Implementação da Coordenação Modular da Construção no Brasil**. 2004. 146 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

BEAL, C. **Masonry design and detailing for architects, engineers and builders**. [s.l.]: McGraw-Hill, 1987.

BIA - Brick Institute of America. **Bricklaying: brick and block masonry**. Orlando: Harcourt Brace & Company, 1988.

BNH/IDEG - Banco Nacional da Habitação/Instituto de Desenvolvimento Econômico e Gerencial. **Coordenação modular da construção**. Rio de Janeiro: BNH/IDEG, 1976.

BSI - British Standards Institution. **BS 5628: Part 1**: Code of practice for structural use of masonry: Unreinforced masonry. Reino Unido, 1978.

CAPORIONI; GARLATTI; TENCA-MONTINI. **La coordinación modular**. Barcelona: GG, 1971.

CARVALHO, M. C. R. **Avaliação do uso de cursos como mecanismo de transferência de tecnologia em alvenaria estrutural**. 2000. 142 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 2000.

CAVALHEIRO, O. P.; GOMES, N. dos S. Alvenaria estrutural de blocos vazados: resultados de ensaios de elementos e de redutores de resistência à compressão. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON STRUCTURAL MASONRY FOR DEVELOPING COUNTRIES, 7, 2002. Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: [s.n], 2002.

CHING, F. D. K. **Arquitectura: forma, espacio y orden**. México: GG, 1998.

COZZA, E. Filão estruturado. **Téchne**, São Paulo, n.34, p. 26-31, 1998.

CZIESIELSKI, E. **Lehrbuch der Hochbaukonstruktionen**. Stuttgart: Teubner, 1993.

COLUMBIA ENCYCLOPEDIA, THE. **English units of measurement**. 6 ed. Nova Iorque: Columbia University, 2001. Disponível em: <<http://www.bartleby.com/65/en/English-u.html>>. Acesso em: 05 maio 2004.

DIAS, José Luciano de Mattos. **Medida, normalização e qualidade**: aspectos da história da metrologia no Brasil. Rio de Janeiro: Ilustrações, 1998. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/noticias/livroMetrologia.asp>>. Acesso em: 30 abr. 2004.

DIN - Deutsches Institut für Normung. **DIN 4172**: Maßordnung im Hochbau. Berlim, 1955.

_____. **DIN 323-1**: Normzahlen und Normzahlreihen; Hauptwerte, Genauwerte, Rundwerte. Berlim, 1974

_____. **DIN 398**: Hüttensteine; Vollsteine, Lochsteine, Hohlblocksteine. Berlim, 1976.

- _____. **DIN 18000**: Modulordnung im Bauwesen. Berlin, 1984.
- _____. **DIN 1053-1**: Mauerwerk - Teil 1: Berechnung und Ausführung. Berlin, 1996.
- _____. **DIN 4166**: Porenbeton-Bauplatten und Porenbeton-Planbauplatten. Berlin, 1997a.
- _____. **DIN 18201**: Toleranzen im Bauwesen - Begriffe, Grundsätze, Anwendung, Prüfung. Berlin, 1997b.
- _____. **DIN 18148**: Hohlwandplatten aus Leichtbeton. Berlin, 2000a.
- _____. **DIN 18162**: Wandbauplatten aus Leichtbeton, unbewehrt. Berlin, 2000b.
- _____. **Economical benefits of standardizatoin**: summary results. Berlin: DIN, 2000c.
- _____. **DIN V 105-1**: Mauerziegel - Teil 1: Vollziegel und Hochlochziegel der Rohdichtenklassen 1,2. Berlin, 2002.
- _____. **DIN V 106-1**: Kalksandsteine - Teil 1: Voll-, Loch-, Block-, Hohlblock-, Plansteine, Planelemente, Fasansteine, Bauplatten, Formsteine. Berlin, 2003a.
- _____. **DIN V 106-2**: Kalksandsteine - Teil 2: Vormauersteine und Verblender. Berlin, 2003b.
- _____. **DIN 4165**: Porenbetonsteine - Plansteine und Planelemente. Berlin, 2003c.
- _____. **DIN 18151**: Hohlblöcke aus Leichtbeton. Berlin, 2003d.
- _____. **DIN 18152**: Vollsteine und Vollblöcke aus Leichtbeton. Berlin, 2003e.
- _____. **DIN 18153**: Mauersteine aus Beton (Normalbeton). Berlin, 2003f.
- _____. **DIN Deutsches Institut für Normung e.V.** Disponível em: <<http://www.normung.din.de>>. Acesso em: 15 jul. 2004.
- DRYSDALE, R. G.; HAMID, A. A.; BACKER, L. R. **Masonry structures**: behavior and design. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1994.
- DUARTE, R. B. **Recomendações para o projeto e execução de edifícios de alvenaria estrutural**. Porto Alegre: ANICER, 1999.
- _____. Vantagens estruturais do bloco cerâmico. **Jornal da Anicer**. Porto Alegre, dez./jan. 1998.
- EDER Ziegelwerk Freital. **Ziegelwerk Freital Eder GmbH: Damit Bauen Wir Sachsen**. Disponível em: <<http://www.ziegel-eder.de>>. Acesso em: 10 jul. 2004.
- ELADIO DIESTE, Continuidà e repetizione / Continuity and Repetition. **Area 35 internet**. Madrid: Progetto Editrice Srl, 1997. Disponível em: <<http://www.area.progetto-ed.it/ar35/d/d1.htm>> acesso em: 12 fev. 2003.
- ENCICLOPÉDIA MIRADOR INTERNACIONAL. **Metrologia**. v 14. São Paulo: Encyclopaedia Britannica do Brasil Publicações, 1987.
- FABRÍCIO, M. M.; MELHADO, S. B. A importância das parcerias Construtora-Projetistas para a qualidade na construção de edifícios. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON STRUCTURAL MASONRY FOR DEVELOPING COUNTRIES, 7, 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, v.2, 1998. p. 453-459.
- FRANCO, L. S. **Aplicação de diretrizes de racionalização construtiva para a evolução tecnológica dos processos construtivos em alvenaria estrutural não armada**. 1992. 319 p.

Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.

FRICK, O.; KNÖLL, K. **Baukonstruktionslehre**. Leipzig: Teubner, 1954.

FJP/CEI - Fundação João Pinheiro/Centro de Estatística e Informações. **Déficit habitacional no Brasil 2000**. Belo Horizonte: FJP, CEI, 2001. Disponível em:
<<http://www.cidades.gov.br/pbqp-h/deficit2000/apresentacao>> Acesso em: 05 nov. 2003.

GOMEZ, G. O. **Acústica aplicada a la construcción**: el ruído. Santiago de Cuba: ISPJAM, 1988.

GREVEN, H. A. Coordenação Modular. In: GREVEN, H. A. **Técnicas não convencionais em edificação I**. Porto Alegre: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000. Notas de aula.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; MERRILL, J. **Fundamentos da física 1**: Mecânica. Rio de Janeiro: Livros técnicos e científicos, 1991.

HEINECK, L. F. M. Tamanho dos tijolos e a produtividade nas alvenarias. In: SIMPÓSIO DE DESEMPENHO DE MATERIAIS E COMPONENTES DE CONSTRUÇÃO CIVIL, 3, 1991, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Ed. da UFSC, 1991. p 45-50.

HENDRY, A. W.; KAHLAF, F. M. **Masonry wall construction**. Londres: Spon Press, 2001.

INMETRO. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. **Blocos de concreto para alvenaria sem função estrutural**. Disponível em:
<<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtos/blocoConcreto.asp>>. Acesso em: 18 jul. 2003a.

_____. **Sistema Internacional de Unidades – SI**. 8 ed. Rio de Janeiro: Inmetro, 2003b.

ISO - International Organisation for Standardization. **ISO 6514**: Building construction - Modular coordination: Sub-modular increments. Genebra, 1982.

_____. **ISO 1006**: Building construction - Modular coordination: Basic module. Genebra, 1983a.

_____. **ISO 1040**: Building construction - Modular coordination: Multimodules for horizontal coordinating dimensions. Genebra, 1983b.

_____. **ISO 1791**: Building construction - Modular coordination: Vocabulary. Genebra, 1983c.

_____. **ISO 2848**: Building construction - Modular coordination: Principles and rules. Genebra, 1984.

JÄGER, W.; SCHNEIDER, K. J.; WEICKENMEIER, N. **Mauerwerksbauaktuel**: Praxishandbuch. Berlim: Bauwerk, 2003.

KALKSANDSTEIN. **Der Kalksandstein KS*: das original**. Disponível em:
<<http://www.kalksandstein.de>> Acesso em: 10 jul. 2004.

KOPACEK, J. **Re: DIN-Normen für den Mauerwerksbau** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <dozech@terra.com.br> em 26 jul. 2004.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. Florianópolis: PW, 1997.

LEWICKI, B. **Edifícios de Viviendas Prefabricadas com Elementos de Grandes Dimensiones**. Madrid: Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento, 1968.

LIVE-LINK-HELP. **Re: Sind die DIN Normen pflicht?** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <dozech@terra.com.br> em 23 de jul. 2004.

LISBOA, Ministério das Obras Públicas. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. **Racionalização do processo de projecto 1 - coordenação dimensional modular: princípios e aplicações.** Lisboa: Ministério das Obras Públicas, 1970.

LUCINI, H. C. **Manual técnico de modulação de vãos de esquadrias.** São Paulo: Pini, 2001.

LUKAS Areal. **Willkommen im Lukas-Areal: Petersen Immobilien GmbH.** Disponível em: <<http://www.lukasareal.de>>. Acesso em: 10 jul. 2004.

MACHADO, S. L. **Sistemática de concepção e desenvolvimento de projetos arquitetônicos para alvenaria estrutural.** 1999. 181 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

NEUFERT, E. **Bauordnungslehre: Handbuch für rationelles nach geregelter mass.** Berlin: Ullstein, 1961.

_____. **Bauentwurfslehre: Allgemeiner Bauentwurf.** Wiesbaden: Vieweg, 2000. 1 CD-ROM.

NISSEN, H. **Construcción industrializada y diseño modular.** Madrid: H. Blume, 1976.

OHASHI, E. A. M. **Sistema de informação para coordenação de projetos de alvenaria estrutural.** 2001. 122 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

OLIVEIRA, E. A.; SILVA, R. M. da. Determinação da esbeltez de paredes de edifícios em alvenaria estrutural segundo o EUROCODE 6. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON STRUCTURAL MASONRY FOR DEVELOPING COUNTRIES, 7, 2002. Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: [s.n], 2002.

PFEIFER, G.; RAMCKE, R.; ACHTZIGER, J.; ZILCH, K. **MauerwerkAtlas.** Berlin: Birkhäuser, 2001.

PREFEITURA MUNICIPAL DE FLORIANÓPOLIS. **Código de obras e edificações.** Disponível em: <http://www.pmf.sc.gov.br/prefeitura/codigo_obras_edificacoes/cap6.html>. Acesso em: 15 jan. 2005.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE. **Código de edificações de Porto Alegre.** Lei complementar 284, de 27 de outubro de 1992. Porto Alegre: Corag, 2001. 5 ed.

_____. Secretaria Municipal de Obras e Viação. **Projeto do novo código de edificações.** Disponível em: <<http://www.portoalegre.rs.gov.br/smov/default.asp?proj=840&secao=2209&mat=26929>>. Acesso em: 15 jan. 2005.

RAMALHO, M. A.; CORRÊA, M. R. S. **Projeto de Edifícios de alvenaria estrutural.** São Paulo: Pini, 2003.

RAMOS, A. S.; SANTOS, D. de G.; AMARAL, T. G. do; ROMAN, H. R. The influence of modular dimension on productivity of concrete block masonry. **Masonry International: Journal of the British Masonry Society**, Londres, v.16, n. 1, p. 26-30, 2003.

RECCHIA, C. A. **Estudo do desempenho acústico dos elementos construtivos que compõe a fachada**. 2002. 131 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2002.

ROMAN, H. R.; MUTTI, C. N.; ARAÚJO, H. N. de **Construindo em alvenaria estrutural**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1999.

ROSSO, T. **Teoria e prática da coordenação modular**. São Paulo: FAUUSP, 1976.

ROVERE, H. L. La; PIGNOLO, G. J. Estabilidade e dimensionamento de paredes de alvenaria não-armada sobre cargas de compressão. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON STRUCTURAL MASONRY FOR DEVELOPING COUNTRIES, 7, 2002. Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: [s.n], 2002.

RUAS, A. C. **Sistematização da avaliação de conforto térmico em ambientes edificados e sua aplicação num software**. 2002. 182 p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

SABBATINI, F. H. **O processo construtivo de edifícios de alvenaria estrutural sílico-calcária**. 1984. 298 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1984.

_____. **Alvenaria estrutural**: materiais, execução da estrutura e controle tecnológico: requisitos e critérios mínimos a serem atendidos para solicitação de financiamento de edifícios em alvenaria estrutural junto à Caixa Econômica Federal. Brasília: Caixa Econômica Federal - Superintendência Nacional de Parcerias e Apoio ao Desenvolvimento Urbano, 2002.

SAHLIN, S. **Structural Masonry**. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1971.

SANTOS, I. S. S.; SILVA, N. W. da. Tijolos e blocos cerâmicos: um diagnóstico na região do Vale do Rio dos Sinos. **Téchne**, São Paulo, n. 15, p. 22-23, mar/abr 1995.

SCHMITT, H.; HEENE, A. **Hochbaukonstruktion**: die Bauteile und das Bauegefüge Grunlagen des heutigen Bauens. 15 ed. rev. Wiesbaden: Vieweg, 2001

SCHÖPS, P. Typical Masonry constructions in Germany. In: JÄGER, W. et al. **From research to practice in construction**: International Quality Network: Traditional and Innovative Structures in Architecture: First Report. v.2. Dresden: Alinea Dresden, 2003. p. 29-41.

SILVA, D. T. da. **Estudo da isolamento sonora em paredes e divisórias de diversas naturezas**. 2000. 126 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

TAUIL, C. A. (coord.). **Manual técnico de alvenaria**. São Paulo: ABCI/Projeto/Pw, 1990.

TECHNISCHE HOCHSCHULE HANNOVER. Massordnung im Bauwesen: Stand in den ECE-Ländern. In: **Lehrgebiet für Präfabrikation im Bauwesen**. 1967.

VILLAGRA, R. M. T. V. A; FORMOSO, C. T. Avaliação da carga física de trabalho do pedreiro na execução de paredes de alvenaria de blocos cerâmicos. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9, 2002. Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: [s.n], 2002.

WEINECK, J. **Biologia do esporte**. São Paulo: Malone, 1991.

WENDLER, A. **Curso sobre projeto de alvenaria estrutural com blocos vazados de concreto**. São Paulo: ABCP, 1999.

ZECHMEISTER, D. Perspective on the introduction of a modular system for the improvement of the standards of masonry structures in Brazil. In: JÄGER, W. et al. **From research to practice in construction:** International Quality Network: Traditional and Innovative Structures in Architecture: First Report. v.2. Dresden: Alinea Dresden, 2003. p. 3-22.

ZECHMEISTER, D; DUARTE, R. B. Uma proposta para unidades modulares em alvenaria estrutural. In: JORNADAS SUD-AMERICANAS DE INGENIERÍA ESTRUCTURAL, 31, 2004. Mendonça. **Anais...** Mendonça: [s.n], 2004. 1 CD-ROM.

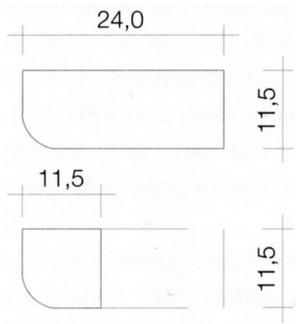
**APÊNDICE 1 – CONSIDERAÇÕES SOBRE A ALVENARIA
ESTRUTURAL NA ALEMANHA**

1.1 A UNIDADE DE ALVENARIA ESTRUTURAL NA ALEMANHA

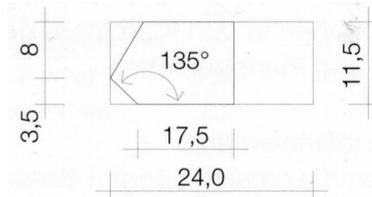
As unidades de alvenaria são classificadas na Alemanha quanto ao material constituinte, a área útil, a densidade, a resistência à compressão, a resistência ao congelamento e a geometria (tamanho e forma) (JÄGER et al., 2003). No entanto, conforme foi visto anteriormente, as unidades somente serão normatizadas nessas classificações conforme o material que as constitui.

Em relação ao tamanho, a classificação já foi vista anteriormente, e pode ser NF, DF, 2DF, 3DF até 24DF (PFEIFER et al., 2001). A respeito da forma, para cada grupo de unidades, independente de seu material constituinte, existe uma variada gama de formatos e peças que possibilita obter uma combinação ideal para o processo de alvenaria. Estes formatos especiais (figuras 75 e 76) permitem uma maior racionalização das etapas de execução da alvenaria e podem ser classificados em (PFEIFER et al., 2001):

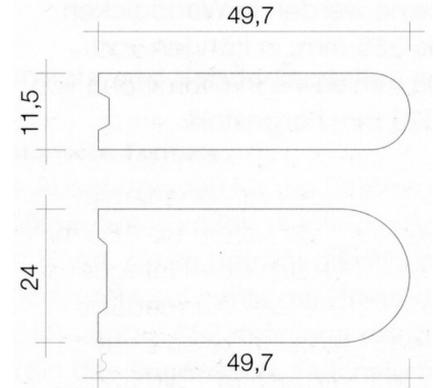
- a) unidade de forma: se diferencia da forma cúbica para facilitar a execução de detalhes especiais, como por exemplo, curvas;
- b) unidade de ajuste: absorve as variações dentro da modulação, podendo substituir qualquer formato de 11 a 26 cm de comprimento, como por exemplo, no ajuste das dimensões das aberturas;
- c) unidade de ornamento: decorativa ou também usada para revestir elementos de outros materiais, por exemplo, para lajes apoiadas sobre a alvenaria;
- d) unidade acústica;
- e) unidade vazada: com cavidades maiores que podem ser preenchidas com graute;
- f) unidade em U (canaleta);
- g) unidade para verga: pré-fabricada já com armadura e concreto, usada em aberturas;
- h) unidade em L (canaleta);
- i) unidade com duto: facilita a instalação elétrica horizontal e vertical;
- j) unidade para embutir persiana;
- k) unidade para batente de portas e janelas.



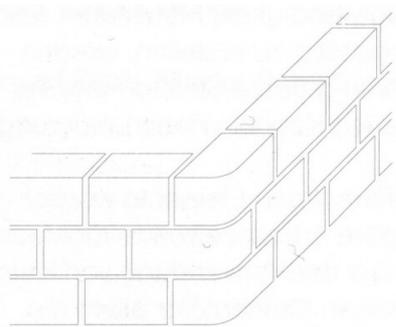
unidade de canto arredondado



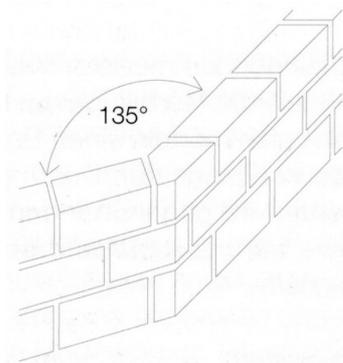
unidade para ângulos



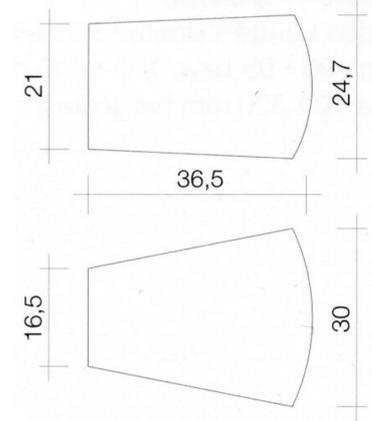
unidade com terminação curva



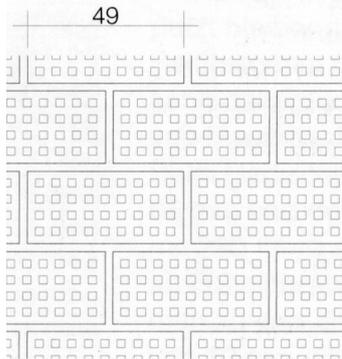
unidade de canto arredondado



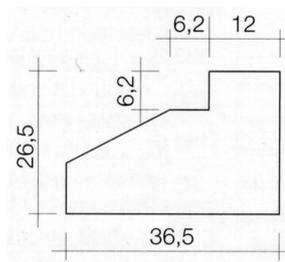
unidade para ângulos



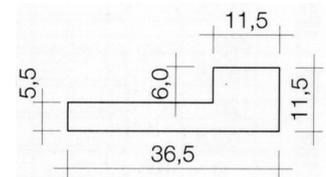
unidade para curvas



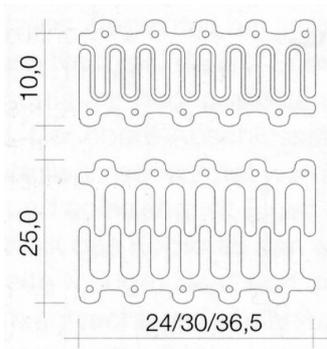
unidade acústica



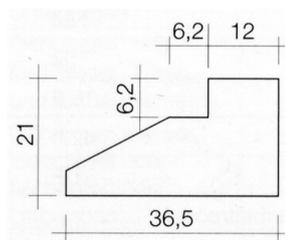
unidade para batente



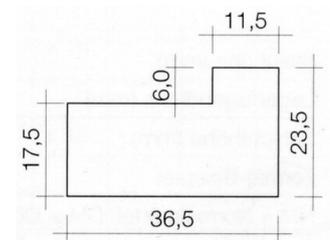
unidade para batente



unidade de ajuste



unidade para batente



unidade para batente

Figura 75: formatos especiais das unidades: unidades de forma com canto arredondado, para ângulos, para curvas, com terminação curva, de ajuste, acústica e para batente de portas e janelas (PFEIFER et al., 2001)

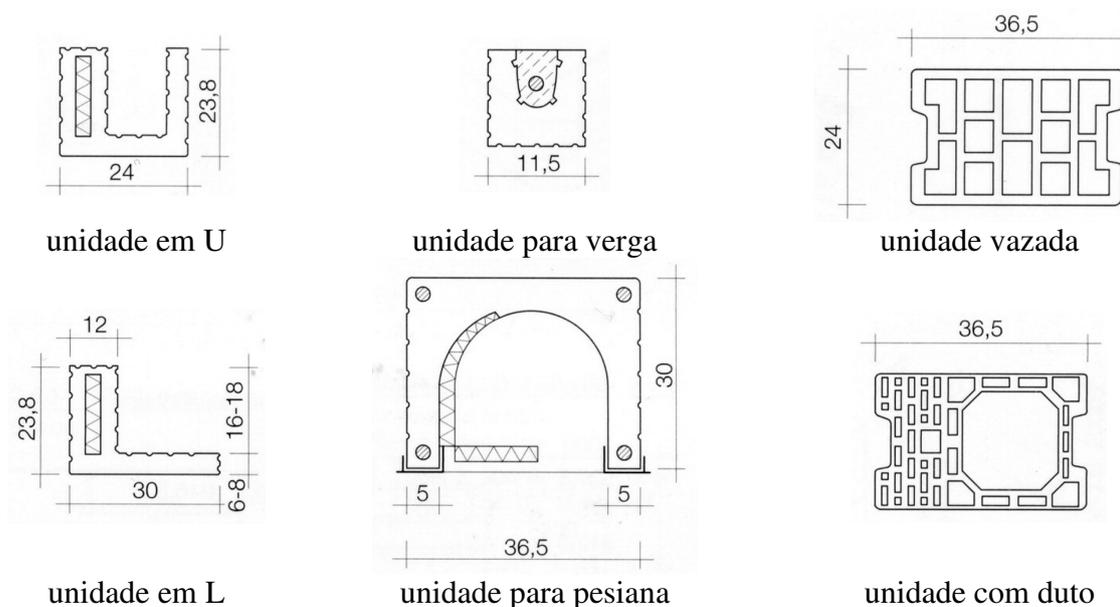


Figura 76: formatos especiais das unidades: unidades em U, para verga, em L, para persiana, com duto e vazada (PFEIFER et al., 2001)

As classes de resistência à compressão das unidades variam conforme seu material constituinte de 2 a 60 N/mm^2 enquanto que as classes densidade variam de 0,35 a 2,4 kg/dm^3 . Em relação a sua área útil, as unidades de alvenaria podem ser maciças ou vazadas. As maciças serão aquelas que têm até 15% de sua área vazada e as vazadas serão as que ultrapassarem este valor (PFEIFER et al., 2001). De acordo com seu material constituinte, as unidades de alvenaria permitidas pela DIN 1053-1 para compor a alvenaria podem ser de pedra natural, cerâmicas, sílico-calcárias, de concreto, de concreto celular autoclavado, de concreto leve e de concreto de escória de alto-forno (DIN, 1996).

As unidades cerâmica são normatizadas pela DIN 105 das partes 1 a 5. Conforme foi visto anteriormente, as unidades cerâmicas são as mais utilizadas em construções residenciais na Alemanha. Hoje em dia, os blocos são mais usados, mas antigamente eram os tijolos (SCHÖPS, 2003).

As unidades sílico-calcárias são normatizadas pelas DIN V 106-1 – Unidades sílico-calcárias de alvenaria: unidades maciças e perfuradas, blocos maciços e vazados, unidades e elementos de grande precisão, unidades chanfradas, placas, unidades de forma (DIN, 2003a) e DIN V 106-2 – Unidades sílico-calcárias de alvenaria: unidades aparentes e de ornamento (DIN, 2003b). As unidades sílico-calcárias são o segundo tipo mais usado de unidades na Alemanha e tem como importante vantagem a menor quantidade de energia embutida na sua produção (SCHÖPS, 2003).

Em terceiro lugar aparecem as unidades de concreto celular autoclavado seguidas das unidades de concreto simples e as de concreto leve. As unidades de concreto celular

autoclavado são normatizadas pelas DIN 4165 – Unidades e elementos de concreto celular autoclavado de alta precisão (DIN, 2003c) e DIN 4166 – Placas de concreto celular autoclavado e placas de concreto celular autoclavado de alta precisão (DIN, 1997a). As de concreto simples pela DIN 18153 – Unidades de alvenaria de concreto (DIN, 2003f). As unidades de concreto leve são normatizadas pelas DIN 18151 – Blocos vazados de concreto leve (DIN, 2003d) e DIN 18152 – Blocos e tijolos maciços de concreto leve (DIN, 2003e). Os painéis de concreto leve são normatizados pelas DIN 18148 – Placas para paredes vazadas de concreto leve (DIN, 2000a) e DIN 18162 – Placas para paredes de concreto leve (DIN, 2000b).

Também são utilizadas na Alemanha unidades de concreto de escória de alto-forno que são normatizadas pela DIN 398 – Unidades de concreto de escória de alto-forno: unidades sólidas, perfuradas e vazadas (DIN, 1976). Outras unidades que não estiverem contidas nestas normas deverão ser primeiramente certificadas pelo Instituto Alemão de Técnicas de Construção (PFEIFER et al., 2001).

Existem ainda outras caracterizações para as unidades, como por exemplo, em relação às juntas horizontais que podem ser finas, médias ou grossas e em relação à junta vertical que pode ou não ser preenchida. Cabe lembrar que as juntas finas somente poderão ser utilizadas em unidades com dimensões retificadas (PFEIFER et al., 2001). Isso só é possível porque hoje em dia a qualidade das unidades de alvenaria produzidas na Alemanha é bastante elevada (SCHÖPS, 2003).

Além das dimensões retificadas, há algum tempo, devido à necessidade de reduzir o custo de execução das alvenarias, foram desenvolvidas unidades de formato grande. Através desses elementos foram obtidos visíveis resultados, como por exemplo, uma maior produtividade, pois seu assentamento é muito mais rápido (PFEIFER et al., 2001). No entanto, essas unidades são em geral bastante pesadas e com isso, dificultam seu manuseio pelo pedreiro.

Assim, foram desenvolvidas facilidades ergonômicas, como cavidades (figura 77) para segurar melhor a unidade. Estas cavidades são colocadas de modo a não ficarem visíveis após a alvenaria ter sido assentada. No entanto, a partir de uma certa dimensão, o pedreiro não é mais capaz de trabalhar com essa unidade manualmente. Assim, foram desenvolvidas pequenas guas (figura 77) para mover a unidade fácil e rapidamente (SCHÖPS, 2003).



Cavidade para segurar melhor a unidade



Grua pequena para mover unidades maiores

Figura 77: facilidades desenvolvidas para facilitar o trabalho com unidades maiores (SCHÖPS, 2003)

O surgimento de unidades com maior porcentagem de pequenos furos verticais dificultou a aplicação da argamassa de assentamento. Assim, foram desenvolvidos carrinhos dosadores de argamassa para facilitar este trabalho (figura 78). Esse carrinho é preenchido com argamassa e puxado por sobre a parede. Assim é feita uma junta de assentamento uniforme com uma espessura ajustável (SCHÖPS, 2003).

O uso de paredes pré-fabricadas também é outro advento vantajoso porque elimina a necessidade de se fazer sua montagem no local (figura 78). Além destes últimos avanços, outra importante meta deve ser levada em conta para o futuro desenvolvimento da alvenaria na Alemanha, a melhoria das propriedades térmicas (SCHÖPS, 2003).



Carrinho dosador para execução da junta horizontal (KALKSANDSTEIN, 2004)



Ïaçamento de parede pré-fabricada (SCHÖPS, 2003)

Figura 78: exemplo de medidas para a racionalização do processo construtivo em alvenaria estrutural

Outro objetivo deve ser a redução da necessidade de utilização de mão-de-obra de forma que os custos de execução permitam que a alvenaria seja competitiva com construções em aço, concreto e vidro. Um possível enfoque para reduzir os custos de mão-de-obra é o

desenvolvimento de alvenaria seca. Isso eliminaria horas trabalhadas, pois no assentamento, as juntas não precisariam ser mais preenchidas (SCHÖPS, 2003).

1.2 O PROJETO E A EXECUÇÃO EM ALVENARIA ESTRUTURAL NA ALEMANHA

Durante a viagem de estudos à Alemanha, além da pesquisa bibliográfica sobre o tema desse trabalho foram feitas entrevistas com importantes profissionais do setor da alvenaria estrutural e da coordenação modular, cursos com especialistas, principalmente sobre o uso da coordenação modular na alvenaria estrutural, e visitas técnicas a obras e indústrias de unidades de alvenaria, indicadas pelos profissionais entrevistados, e segundo estes, representativas da realidade alemã. Tanto nas entrevistas como na pesquisa bibliográfica foi indicado que para simplificar o planejamento e a execução das construções em alvenaria estrutural é necessário o uso da coordenação modular.

1.2.1 A alvenaria estrutural na Alemanha sob o ponto de vista dos profissionais

Segundo a entrevista com o prof. Wolfram Jäger⁸, foi destacado que, do ponto de vista econômico, o ideal é usar o processo construtivo em alvenaria estrutural para edificações até 5 andares. Entretanto, a opção por esse processo deve ser feita já no início do projeto com a observação de alguns critérios. Por exemplo, para edifícios com desenho de planta muito diferente entre seus pavimentos ou com muitas aberturas, é preferível utilizar estrutura em concreto armado. Em geral, edifícios de escritórios exigem uma maior flexibilidade da planta e, portanto não são planejados para serem construídos em alvenaria estrutural. A alvenaria estrutural na Alemanha se destina principalmente a edificações residenciais. Nestes casos, a opção é em função da sua economia quando comparada às edificações de concreto armado. Mesmo assim, é comum ser feita uma estrutura de transição devido à utilização de garagens no subsolo.

Este mesmo entrevistado afirma que países desenvolvidos como a Alemanha têm elevados custos com a mão-de-obra na indústria da construção civil. Assim, a economia do processo

⁸ Prof. Wolfram Jäger: engenheiro civil, professor doutor titular da Faculdade de Arquitetura da Universidade Técnica de Dresden da disciplina de alvenaria estrutural. Representante alemão no comitê sobre alvenaria estrutural do EUROCODE 6 (norma de construção civil da Europa com ênfase em alvenaria estrutural). Engenheiro civil com importante escritório especializado em estruturas, recuperação de edifícios históricos e alvenaria estrutural. Entrevista realizada em março de 2003 na cidade de Dresden, Alemanha.

em alvenaria estrutural está basicamente na necessidade de se utilizar menor número de especialidades de mão-de-obra. Outra vantagem desse processo construtivo é a intensa mecanização de sua construção e a utilização de unidades maiores. Isto faz com que a execução seja mais fácil e rápida, quando comparada ao sistema em concreto armado.

Através da entrevista com o prof. David Wendland⁹ também foi identificado que na Alemanha o arquiteto tem um papel diferente do arquiteto no Brasil. O arquiteto é o administrador da obra, todos os contratos somente poderão ser feitos por ele. Na entrevista com o prof. Jäger também foi destacado que o arquiteto é o responsável técnico da obra, é o coordenador do projeto, é ele que organiza a obra. O arquiteto é quem contrata o engenheiro. Mas como foi observado pelo entrevistado, algumas vezes um pouco tarde demais. Ao terminar o projeto o arquiteto faz os orçamentos para sua execução e recomenda ao proprietário qual destes tem o melhor custo-benefício. Então prepara o contrato entre o proprietário e as firmas que irão executar a obra. Cabe ao arquiteto também fiscalizar a obra, durante e também depois de terminada.

No entanto, um dos problemas relatados na entrevista com o prof. Jäger é a dificuldade que alguns projetistas têm em fazer detalhes construtivos. Em alvenaria estrutural, em geral os problemas ocorrem no detalhamento do último pavimento. Também pode ocorrer do proprietário economizar nos custos com os projetos e só contratar o projeto para ser aprovado, deixando de lado o projeto executivo. Neste caso também aparecem problemas com medidas e detalhamentos.

Outro problema é que na execução de obras em alvenaria estrutural muitas vezes não se pensa em custo efetivo. Isso se observa, por exemplo, quando são cortadas unidades para serem ajustadas ao projeto não-coordenado modularmente. As perdas neste caso são de tempo, material e mão-de-obra. Mas esse quadro não está perto de mudar, pois, hoje em dia, ao contrário de antigamente, além da falta de interesse pela coordenação modular, se percebe que poucas pessoas ensinam esse tema nos cursos de arquitetura e engenharia na Alemanha.

1.2.1.1 A coordenação modular e a alvenaria estrutural na Alemanha

Conforme já foi visto anteriormente, através da coordenação modular é possível um ajuste mais preciso entre os componentes bem como a intercambiabilidade e compatibilidade de produtos de diferentes fabricantes e processos construtivos. Outra vantagem de sua aplicação

⁹ Prof. David Wendland: arquiteto, professor assistente e doutorando da Faculdade de Arquitetura da Universidade Técnica de Dresden, responsável pelo programa de pesquisa em alvenaria estrutural, IQN – *International Quality Network*. Entrevista realizada em março de 2003 na cidade de Dresden, Alemanha.

é o aumento da economia através da produção em larga escala e da redução da variedade dos componentes (PFEIFER et al., 2001).

Em relação ao seu uso em alvenaria estrutural, o prof. Scheidig explica que quando um projeto segue os princípios de coordenação modular, as dimensões modulares fluem naturalmente no projeto. É como se o arquiteto pensasse simplesmente nos números preferíveis para determinar as dimensões dos espaços. Da mesma forma na obra, os operários utilizam os conhecimentos sobre coordenação modular que aprenderam na escola técnica e a execução é facilitada. Eles já sabem de antemão como se constrói com unidades octamétricas e quais as dimensões que a soma destas unidades pode resultar. É por esse motivo que na Alemanha não se faz o projeto de paginação para alvenaria estrutural. Projetos de paginação só são feitos na construção pré-fabricada com grandes elementos, como projetos para fluxo e disposição da montagem.

No entanto, o prof. Jäger afirma que hoje em dia ninguém pensa em coordenação modular, ao contrário do que acontecia antigamente. Naquela época, quando os projetistas lançavam suas primeiras idéias, já determinavam eixos principais para desenvolver seu projeto. Hoje, como as medidas não seguem essa lógica, é necessário cortar muitas unidades. O prof. Scheidig explica que uma das causas prováveis para essa falta de interesse é o fato desse tema estar associado principalmente à habitação social. Explica que, por ter um déficit habitacional pequeno, por exemplo, com cerca de 1,5 milhões de moradias ociosas na antiga Alemanha Oriental, não há incentivo para seu uso em políticas habitacionais naquele País. Assim, os professores Peter Schöps e Torsten Pflücke¹⁰ destacam que os problemas da falta de coordenação modular são na maioria das vezes resolvidos no canteiro de obras.

Segundo informações do prof. Jäger, na Alemanha, em algumas obras os sistemas octamétrico e decimétrico necessitam ser usados conjuntamente. Como por exemplo, quando é usada uma estrutura metálica, geralmente orientada pelo sistema decimétrico, com vedação em alvenaria, orientada pelo sistema octamétrico. Quando isto ocorre, as seguintes medidas são tomadas para ajustar as dimensões octamétricas em decimétricas: ampliar ou reduzir a junta entre os elementos (de 8 a 13 mm), trabalhar com unidades que tenham largura de 17,5 cm e comprimento de 30 cm ou cortar os tijolos. No entanto, nenhuma destas medidas parece ser racionalizada, se comparada ao extenso trabalho que foi despendido no desenvolvimento da coordenação modular nas últimas décadas naquele País (ZECHMEISTER, 2003).

¹⁰ Prof. Peter Schöps e Prof. Torsten Pflücke: engenheiros civis, professores assistentes da disciplina de alvenaria estrutural da Faculdade de Arquitetura da Universidade Técnica de Dresden. Entrevista realizada em março de 2003 na cidade de Dresden, Alemanha.

De acordo com entrevistas com estes docentes, o conhecimento sobre coordenação modular ainda faz parte do currículo do curso de arquitetura na Alemanha, mas não é dada ênfase para sua aplicação em desenvolvimentos de projetos. Segundo estes depoimentos, atualmente, principalmente depois da queda do muro de Berlim e da reunificação da Alemanha em 1990, os projetistas começaram a buscar uma maior liberdade criativa para seus projetos, mais livre de regras. Desta forma é possível, por exemplo, determinar qualquer dimensão para uma abertura e não apenas aquelas estabelecidas nas normas (ZECHMEISTER, 2003).

Esta liberdade ou flexibilidade dimensional também é possível com o uso da coordenação modular. Porém, ela encaminha os projetos para dimensões preferíveis, que se ajustam a uma determinada malha de projeto. Desta forma, se o módulo básico for 10 cm, as composições do edifício poderão variar em 5 cm para mais ou para menos se comparadas a uma proposta não coordenada modularmente (ZECHMEISTER, 2003).

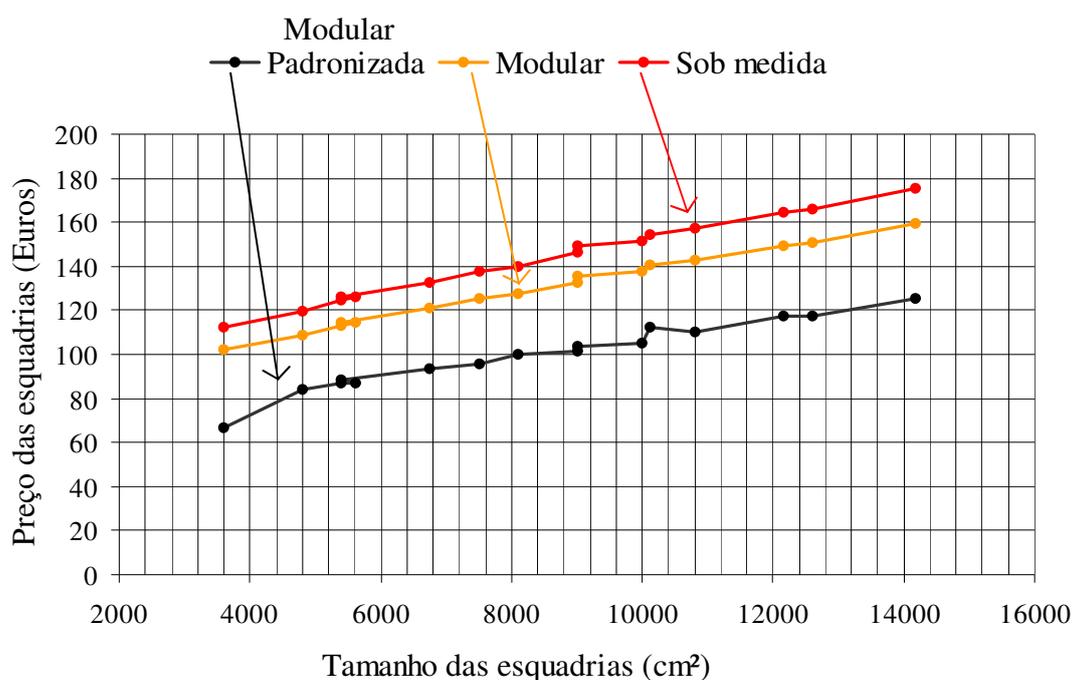


Figura 79: diferença de preço (Euros) entre esquadrias de dimensões modulares padronizadas, modulares e sob medida de uma indústria de esquadrias da Alemanha (ZECHMEISTER, 2003)

Esta diferença de 5 cm em termos de composição formal talvez não seja muito relevante, mas se por exemplo, por uma intenção formal, se fizer necessária uma dimensão para uma esquadria que não esteja dentro das medidas preferíveis ou normatizadas e por consequência adaptada a uma malha modular, será necessário fazer uma encomenda especial junto ao fabricante de esquadrias. Este tipo de encomenda sob medida é possível (figuras 79), no

entanto, se for comparado ao preço de uma esquadria dentro das dimensões modulares padronizadas pode custar quase duas vezes mais (ZECHMEISTER, 2003).

Assim, por razões econômicas, o uso de dimensões que não estejam dentro dos padrões modulares só se justifica para uma arquitetura de exceção ou para um elemento diferenciado dentro de um projeto. Portanto, componentes não modulares devem ser evitados quando houver a repetição de um elemento no projeto. Ou ainda, quando seja necessário adaptá-los aos demais componentes devido sua dificuldade para composição. Neste último caso, resultando no mau uso dos demais componentes. Por exemplo, quando houver a necessidade de cortar tijolos para ajustar uma dimensão proposta ou requerida. Seguindo essas restrições é possível o uso mais racionalizado dos elementos construtivos (ZECHMEISTER, 2003).

1.2.2 Amarrações das paredes em alvenaria estrutural na Alemanha

As amarrações são as diversas formas de contrafiamento das unidades de alvenaria na execução da parede. Sua finalidade é aumentar a estabilidade da alvenaria, evitar fissuras e infiltrações e distribuir a carga uniformemente. A amarração é feita entre as unidades de fiadas sobrepostas, ligadas geralmente por uma camada de argamassa. Neste caso, a argamassa tem a função de distribuir as cargas uniformemente e também compensar as tolerâncias dimensionais do conjunto (PFEIFER et al., 2001).

A correta amarração depende da observância de requisitos técnicos para elaboração de projetos e de obras em alvenaria estrutural. Quando os entrevistados foram indagados sobre estes requisitos, responderam, com bastante convicção, que o projetista deve obedecer às recomendações das normas alemãs ou de literatura específica sobre o tema. Dentre estes requisitos, para que a carga possa ser distribuída uniformemente, o transpasse para o contrafiamento da alvenaria deve estar entre 0,4 vezes altura da unidade e 4,5 cm. Essa regra (figura 80) é válida tanto para o comprimento da parede (t) como para combinações na sua largura (T) (PFEIFER et al., 2001).

Outras regras para a amarração da alvenaria utilizadas são (PFEIFER et al., 2001):

- a) não pode haver coincidência de juntas verticais entre fiadas adjacentes;
- b) as unidades de mesma fiada precisam ter alturas iguais, com exceção das terminações das paredes (figura 81);
- c) para paredes mais espessas deve ser observada a regra de transpasse vista anteriormente e a altura da unidade não pode ser maior que a sua largura (figura 81);

- d) para ser possível uma ligação entre paredes estruturais e de vedação, com unidades de alturas diferentes, é necessário que a altura das fiadas seja mantida constante.

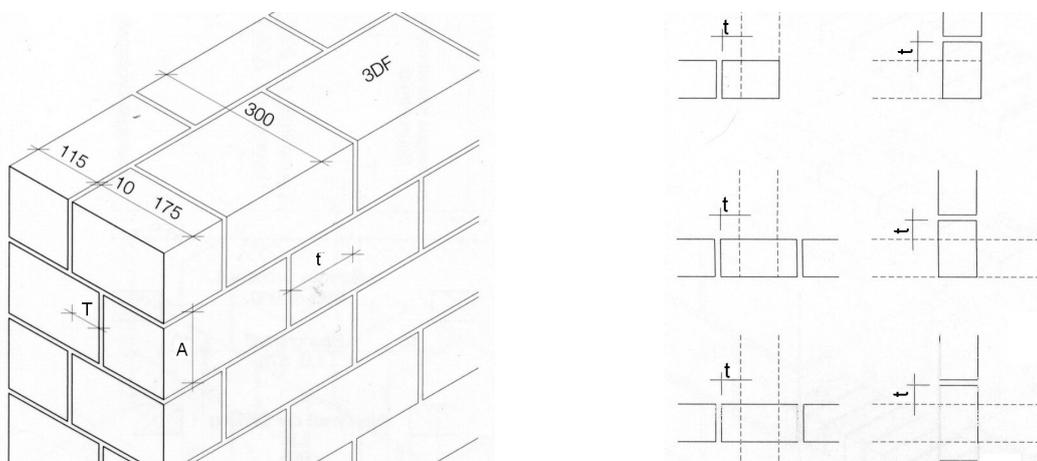


Figura 80: regra de transpasse (t ou T) para contrafiamento da alvenaria (PFEIFER et al., 2001)

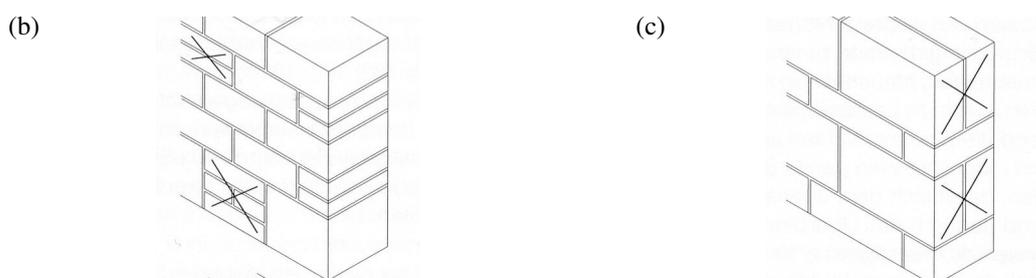


Figura 81: ilustração das regras de transpasse para contrafiamento da alvenaria (PFEIFER et al., 2001)

1.2.3 Visitas técnicas a obras com unidades de alvenaria na Alemanha

A seguir serão relatadas as observações feitas em três construções visitadas na Alemanha, que segundo os profissionais entrevistados eram bastante representativas quanto à realidade alemã. Essas obras estão localizadas na Saxônia, na cidade de Dresden e arredores. As duas primeiras utilizam unidades cerâmicas e a terceira utiliza unidades sílico-calcárias. A segunda observação foi de uma construção modelo de indústria na mesma região.

1.2.3.1 Casa geminada de dois pavimentos com unidades cerâmicas

Esta obra que utiliza unidades cerâmicas é uma casa geminada de dois pavimentos. A unidade básica utilizada para paredes externas tem formato 12DF, com dimensões reais de 36,5 x 24,9 x 24,7 cm. Pesa aproximadamente 17 quilos e permite uma largura de parede de 37,5 cm. Essa unidade tem ajuste modular bem pequeno, pois é considerada uma unidade com grande

precisão. Assim, seu assentamento é feito com junta horizontal fina de 0,1 cm e a junta vertical não é preenchida, pois o encaixe é do tipo macho-fêmea (figura 82).



Figura 82: unidade externa com encaixe macho-fêmea (EDER, 2004) e equipamento utilizado para cortar as unidades

Entretanto, a vantagem de se reduzir o tempo da mão-de-obra para o assentamento, através da utilização de juntas horizontais mais finas e juntas verticais não preenchidas, neste caso, é perdido pelo desperdício de cortar as unidades para ajuste dimensional. As causas observadas para este fato são:

- a) falta de coordenação dimensional do projeto;
- b) dificuldade da junta vertical absorver a variação dimensional.

Primeiramente, foi observado que não havia uma coordenação das dimensões do projeto, pois a cada instante o pedreiro precisava parar o assentamento para ajustar a unidade que não encaixava na parede. Para isso, a obra dispunha, na mesma laje do assentamento, de um equipamento específico para cortar as unidades (figura 82).

Segundo o fabricante, estas unidades tinham vantagem sobre outras, pois podiam ser cortadas em até 1 cm de espessura, já é sabido que isto não é uma vantagem, mas uma desvantagem, pois leva a projetos com menor atenção à coordenação modular. Isso realmente foi observado em uma das aberturas (figura 83). Neste caso, ocorreu que a variação dimensional das unidades foi acumulando tanto que foi preciso preencher o espaço que faltava para completar a medida em 1 cm. Observou-se então o segundo problema, a dificuldade da junta atender uma de suas funções principais que é absorver as imperfeições das unidades.



Figura 83: unidade cortada para preencher o espaço que faltava e completar a medida da parede em 1 cm

Nessa obra são utilizados alguns formatos especiais de unidades. Por exemplo, na parede divisória entre as residências, é utilizada uma unidade especial para isolamento acústico (figura 84). Essa unidade pesa aproximadamente 17 quilos e tem cavidades verticais que serão posteriormente preenchidas com graute. A junta horizontal também é fina e o encaixe vertical é do tipo macho-fêmea. Para executar essa junta fina é utilizado um carrinho dosador (figura 84).



Figura 84: execução da parede divisória entre as residências com unidade especial para isolamento acústico

Outros formatos especiais identificados nessa obra foram (figura 85):

- a) unidade de forma para ângulos;
- b) unidade de ornamento – usada para revestir a laje apoiada sobre a alvenaria.

Também foi observado que a ligação entre as paredes internas e externas não é feita por transpasse. São usadas gravatas para fazer essa amarração (figura 86).

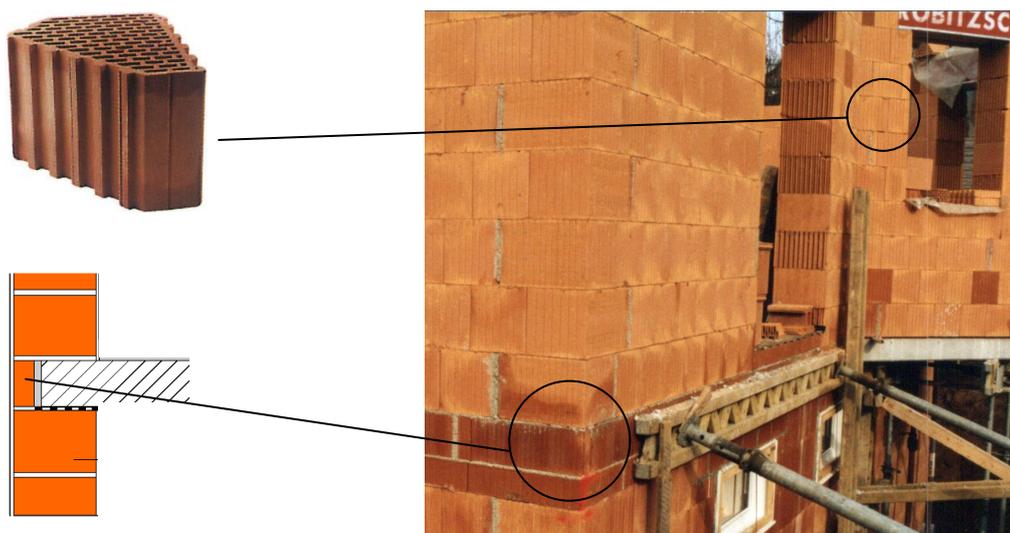


Figura 85: formatos especiais identificados na obra (EDER, 2004)



Figura 86: gravatas para amarração entre paredes internas e externas

1.2.3.2 Protótipo de uma indústria de unidades cerâmicas

Durante a visita a uma indústria de unidades cerâmicas foi apresentado um protótipo onde eram utilizados diversos formatos de unidades de alvenaria cerâmica. Dos formatos já vistos anteriormente foi possível identificar as unidades (figura 87):

- a) de forma para ângulos;
- b) de ornamento: usada para revestir a laje apoiada sobre a alvenaria;
- c) para verga (figura 88);
- d) para persiana (figura 89);
- e) para embutir a fita da persiana (figura 90).



Figura 87: formatos de unidades cerâmicas identificados na edificação modelo



Figura 88: unidade para verga



Figura 89: unidade para embutir persiana



Figura 90: unidade para enrolar a fita da persiana (EDER, 2004)

Percebeu-se também que as instalações elétricas são aparentes, por se tratar de um protótipo. Como não há revestimento sobre as unidades, estas ficam bem visíveis (figura 91). Esta forma de execução da instalação elétrica é mais racionalizada, pois não há necessidade de serem feitos rasgos nas paredes, entretanto tem o inconveniente de ser visível, prejudicando a estética desejada ao local.



Figura 91: instalações elétricas aparentes

1.2.3.3 Conjunto habitacional com utilização de unidades sílico-calcárias

A terceira obra visitada foi um conjunto habitacional formado por 11 edifícios residenciais. Quatro são edifícios multifamiliares de 5 pavimentos e os demais são casas em fita com 3 pavimentos. O processo construtivo utilizado é composto por paredes portantes e lajes de concreto armado e paredes de vedação em alvenaria de blocos sílico-calcários. Nas figuras 92 e 93 podem ser vistas a implantação e imagens do conjunto.

A visita à obra teve como foco a execução das paredes com unidades sílico-calcárias. A unidade básica utilizada tem dimensões nominais de 17,5 x 50 x 50 cm. Essa unidade é, portanto, um elemento de grandes dimensões que pesa aproximadamente 80 quilos. Assim, o primeiro aspecto verificado é a intensa mecanização desta etapa, realizada por apenas um pedreiro com auxílio de uma pequena grua (figura 94).



Implantação

Figura 92: implantação e imagens dos edifícios do conjunto habitacional (LUKAS, 2004)



Edifício com 5 pavimentos



Casas em fita com 3 pavimentos

Figura 93: imagens das casas em fita do conjunto habitacional (LUKAS, 2004)



Figura 94: assentamento das unidades de grande dimensão com auxílio de uma grua pequena

Estas unidades são denominadas retificadas, ou seja, são mais exatas e por isso necessitam de ajustes modulares menores, assim como a obra de unidades cerâmicas. O assentamento da junta horizontal fina também é feito com o auxílio de um carrinho dosador (figura 95). A junta vertical não é preenchida, pois o encaixe é do tipo macho-fêmea.



Figura 95: espessura da junta e carrinho dosador

Neste caso não foi observada a dificuldade da junta vertical absorver as variações dimensionais. No entanto, o projeto desta obra teve pouca ou nenhuma preocupação com a coordenação modular. O que se verifica na necessidade que o pedreiro tem de constantemente cortar as unidades para fazer seu encaixe nas paredes. Isto faz com que seja necessário o uso de um equipamento para cortar as unidades (figura 96). Esse equipamento fica localizado na mesma laje do assentamento, assim como na primeira obra de unidades cerâmicas.



Figura 96: equipamento utilizado para cortar as unidades e unidade em forma de verga

Devido a essa falta de coordenação dimensional, o pedreiro declarou que, no decorrer da obra, houve a necessidade de se fazer a paginação das paredes, pois assim poderiam ser mais bem aproveitadas as sobras das unidades cortadas. Como pode ser visto na figuras 97 e 98, se no projeto houvesse um cuidado maior com a coordenação modular, não seriam necessários tantos cortes e adaptações.



Figura 97: execução do projeto de paginação

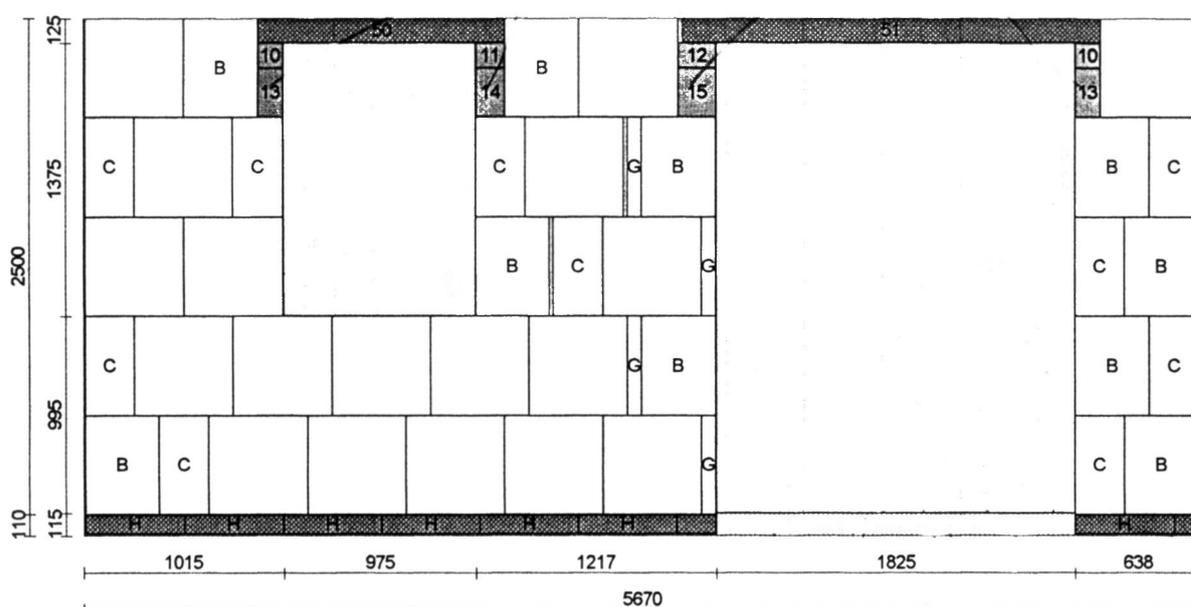


Figura 98: projeto de paginação da parede

Essa obra utiliza poucos formatos especiais, dentre estes foi observada apenas a unidade em forma de verga (figura 96) que por ser muito pesada é içada para que possa ser feito seu assentamento.

Devido ao pequeno isolamento térmico das unidades sílico-calcárias é necessário ser feito um revestimento térmico nas paredes. Neste caso, são utilizadas placas de lã de vidro. Em relação às instalações elétricas pode ser observado que as unidades são rasgadas para que sejam introduzidos os dutos elétricos (figura 99). Isto porque a alvenaria não é portante e as unidades usadas para dividir o espaço internamente não possuem dutos.



Figura 99: rasgos nas paredes para embutir a instalação elétrica

Entretanto, o fabricante de unidades sílico-calcárias orienta, para paredes portantes, a passagem dos dutos por dentro de cavidades verticais das unidades (figura 100), sendo necessário apenas o furo do embutimento do componente com uma serra-copo.

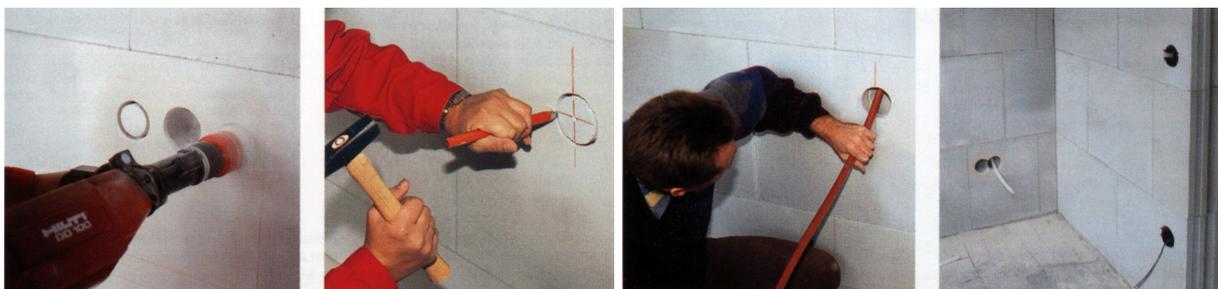


Figura 66: recomendação do fabricante para embutir instalações elétricas (KALKSANDSTEIN, 2004)

As instalações hidráulicas dessa obra estão todas embutidas em *shafts* fechados com paredes divisórias leves de gesso acartonado, como pode ser visto na figura 101.



Figura 101: *shafts* hidráulicos do banheiro e da cozinha

**APÊNDICE 2 – ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE PAREDES
COM UNIDADES DE ALVENARIA ESTRUTURAL**

2.1 EXEMPLO DE CÁLCULO DA PAREDE 1, SEGUNDO O PROJETO NBR 02:135.07-002

A parede 1 é uma parede formada por tijolos maciços com 14 cm de largura de projeto sem argamassa de revestimento e os dados para calcular a transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar, para que se possa identificar qual zona bioclimática esta parede atende são:

Dimensões do tijolo	= 14 x 6,5 x 29 cm	
$\rho_{\text{cerâmica}}$	= 1300 kg/m ³	
$\lambda_{\text{cerâmica}}$	= 0,70 W/(m.K)	(figura 72)
$C_{\text{cerâmica}}$	= 0,92 kJ/(kg.K)	(figura 72)
$\rho_{\text{argamassa}} = \rho_{\text{reboco}}$	= 2000 kg/m ³	
$\lambda_{\text{argamassa}} = \lambda_{\text{reboco}}$	= 1,15 W/(m.K)	(figura 72)
$C_{\text{argamassa}} = C_{\text{reboco}}$	= 1,00 kJ/(kg.K)	(figura 72)

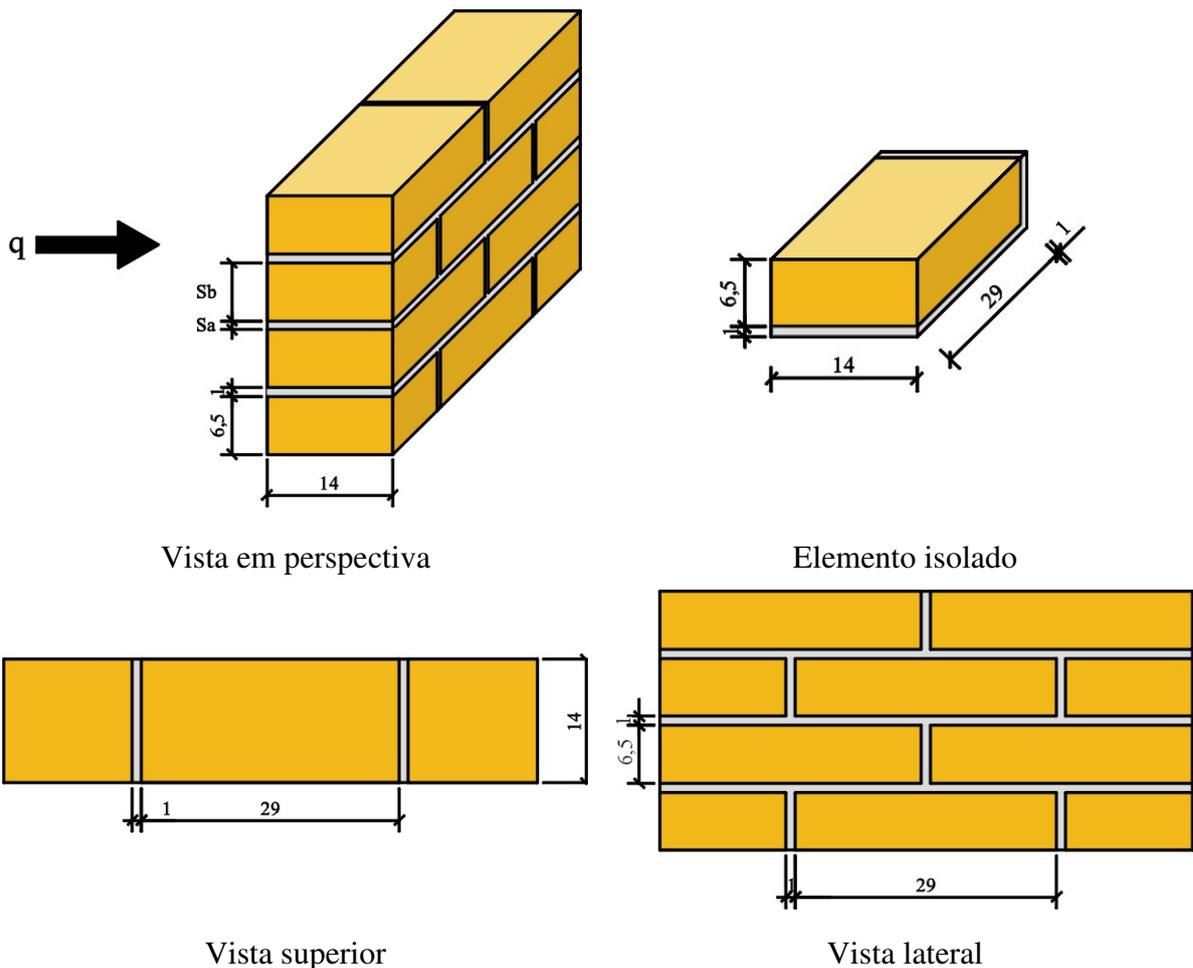


Figura 102: desenhos da parede 1

2.1.1 Resistência térmica da parede

Seção A (argamassa):

$$A_a = 0,01 \text{ m} \times 0,29 \text{ m} + 0,01 \text{ m} \times 0,075 \text{ m} = 0,00365 \text{ m}^2$$

$$R_a = \frac{e_{\text{argamassa}}}{\lambda_{\text{argamassa}}} = \frac{0,14}{1,15} = 0,1217 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Seção B (tijolo):

$$A_b = 0,29 \text{ m} \times 0,065 \text{ m} = 0,01885 \text{ m}^2$$

$$R_b = \frac{e_{\text{cerâmica}}}{\lambda_{\text{cerâmica}}} = \frac{0,14}{0,7} = 0,2 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Portanto, a resistência térmica da parede será:

$$R_t = \frac{A_a + A_b}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b}} = \frac{0,00365 + 0,01885}{\frac{0,00365}{0,1217} + \frac{0,01885}{0,2}} = 0,1811 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

2.1.2 Resistência térmica total

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se} = 0,13 + 0,1811 + 0,04 = 0,3511 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

2.1.3 Transmitância térmica

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{0,3511} = 2,85 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

2.1.4 Capacidade térmica da parede

$$C_{Ta} = (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{argamassa}}$$

$$C_{Ta} = 0,14 \times 1,00 \times 2000 = 280 \text{ kJ/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

$$C_{Tb} = (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{cerâmica}}$$

$$C_{Tb} = 0,14 \times 0,92 \times 1300 = 167 \text{ kJ/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

Portanto, a capacidade térmica da parede será:

$$C_T = \frac{A_a + A_b}{\frac{A_a}{C_{Ta}} + \frac{A_b}{C_{Tb}}} = 179 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

2.1.5 Atraso térmico

$$B_0 = C_T - C_{T\text{ext}} = 179 - 167 = 12$$

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{B_0}{R_t} = 0,226 \cdot \frac{12}{0,1811} = 14,97$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left(\frac{(\lambda \cdot \rho \cdot c)_{\text{ext}}}{R_t} \right) \cdot \left(R_{\text{ext}} - \frac{R_t - R_{\text{ext}}}{10} \right)$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left(\frac{(0,7 \cdot 1300 \cdot 0,92)_{\text{ext}}}{0,1811} \right) \cdot \left(\frac{0,14}{0,7} - \frac{0,1811 - \left(\frac{0,14}{0,7} \right)}{10} \right) = 191,33$$

$$\varphi = 1,382 \cdot R_t \cdot \sqrt{B_1 + B_2} = 1,382 \cdot 0,1811 \cdot \sqrt{14,97 + 191,33} = 3,6 \text{ horas}$$

2.1.6 Fator de calor solar

$$\text{FCS} = 100 \cdot U \cdot \alpha \cdot R_{\text{se}} = 100 \cdot U \cdot \alpha \cdot 0,04 = 4 \cdot U \cdot \alpha$$

Utilizando cor externa branca ($\alpha = 0,2$), o fator de calor solar será:

$$\text{FCS} = 4 \cdot 2,85 \cdot 0,2 = 2,28\%$$

Pode-se verificar, também, a absorptância máxima permitida em função do limite máximo de fator solar permitido para a zona bioclimática onde será executada a parede. Por exemplo, para as regiões 1 e 2, onde o FCS < 5,0%, a absorptância, referente a cor da superfície, será:

$$\alpha \leq \text{FCS}/(4 \cdot U) \leq 5,0/(4 \cdot 2,85) \leq 0,44$$

Para as regiões 3, 5 e 8, onde o FCS < 4,0%, a absorptância será:

$$\alpha \leq \text{FCS}/(4 \cdot U) \leq 4,0/(4 \cdot 2,85) \leq 0,35$$

Para as regiões 1 e 2, onde o FCS < 3,5%, a absorptância será:

$$\alpha \leq \text{FCS}/(4 \cdot U) \leq 3,5/(4 \cdot 2,85) \leq 0,31$$

2.2 ESPECIFICAÇÃO DAS PAREDES ANALISADAS

Foram analisadas 26 paredes, destas, metade sem revestimento e metade com revestimento externo em argamassa comum de 2 cm e revestimento interno em argamassa comum de 1 cm. Das 26 paredes, 8 são de tijolos maciços com medida de projeto de 14 x 6,5 x 29 cm. As demais são blocos vazados com medida de projeto de 14 x 14 x 29 cm. Destas, duas são de concreto, 8 são cerâmicas com as paredes internas vazadas e 8 são cerâmicas com paredes maciças e paredes internas vazadas, conforme foi indicado na figura 44. As unidades cerâmicas são em maior número devido a variação da densidade de massa aparente (ρ), que é pode ser de 1300, 1600, 1800 e 2000 kg/m^3 conforme pode ser visto na figura abaixo.

parede	material	tipo de unidade	rev. interno	rev. externo	ρ (kg/m^3)	λ (W/m.K)	c (kJ/kg.K)
01	cerâmica	maciça	-	-	1300	0,70	0,92
02					1600	0,90	
03					1800	1,00	
04					2000	1,05	
05			1 cm	2 cm	1300	0,70	
06					1600	0,90	
07					1800	1,00	
08					2000	1,05	
09	concreto	vazada	-	-	2400	1,75	1,00
10			1 cm	2 cm	2400	1,75	
11	cerâmica	paredes vazadas	-	-	1300	0,70	0,92
12					1600	0,90	
13					1800	1,00	
14					2000	1,05	
15			1 cm	2 cm	1300	0,70	
16					1600	0,90	
17					1800	1,00	
18					2000	1,05	
19		paredes maciças	-	-	1300	0,70	
20					1600	0,90	
21					1800	1,00	
22					2000	1,05	
23			1 cm	2 cm	1300	0,70	
24					1600	0,90	
25					1800	1,00	
26					2000	1,05	

Figura 103: especificação das paredes analisadas