FABÍOLA AZUMA

UMA CONTRIBUIÇÃO ATRAVÉS DE UM SISTEMA CAD BASEADO NA WEB PARA APLICAÇÃO DA COORDENAÇÃO MODULAR NAS HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre, pelo curso de Pós-Graduação em Construção Civil, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Sérgio Scheer, Dr.

CURITIBA

2008

TERMO DE APROVAÇÃO

FABÍOLA AZUMA

UMA CONTRIBUIÇÃO ATRAVÉS DE UM SISTEMA CAD BASEADO NA WEB PARA APLICAÇÃO DA COORDENAÇÃO MODULAR NAS HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL.

Dissertação aprovada como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

Orientador:

Prof. Dr. Sérgio Scheer (Doutorado PUC-RJ)
Programa de Pós-Graduação em Construção Civil – UFPR

Examinadores:

Prof. Dr. Aguinaldo dos Santos (Doutorado University of Salford – Inglaterra)
Programa de Pós-Graduação em Construção Civil - UFPR

Prof. Dr. Sérgio Roberto Leusin de Amorim (COPPE – UFRJ)
PPGARQURB – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Fluminense - UFF

Curitiba, 18 de março de 2008.

AGRADECIMENTOS

À minha família, pelo incentivo e amor incondicional.

Aos amigos do mestrado, em especial à Michelle, Mozart, Claudio, Cervantes, Micheline e Maria de Fátima. Muito obrigada pela amizade demonstrada e pelo apoio nos momentos de dificuldade e nas alegrias compartilhadas.

Ao meu orientador Sérgio Scheer, pela sua sabedoria e habitual dedicação em todas as fases da pesquisa.

Ao professor Aguinaldo dos Santos, pela sua firmeza e abertura ao projeto “Kits Divisória-Mobiliário *Do-it- yourself* para Habitação de Interesse Social”.

Ao Programa de Tecnologia da Habitação (HABITARE) da FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos), pela concessão da bolsa de pesquisa, fundamental para a realização deste trabalho.

Ao Núcleo de Design e Sustentabilidade, pela gentiliza e hospitalidade com que me recebeu durante a pesquisa.

Ao professor Hélio Adão Greven, pela elucidação sobre coordenação modular.

Ao professor Ney Nascimento, À Maristela e à Ziza, pela presteza e carinho.

À COHAB-CT, pela abertura à pesquisa em campo no Conjunto Habitacional Moradias Sambaqui e pela disponibilização dos dados.

Às Universidades UFSC, UFPR, UFRGS, USP, UFMG, UFC, UFAL, UFPB e às empresas participantes do Método Delphi. Obrigada pela colaboração e atenção dispensadas.

Ao Maikon, Allan e Eduardo. Muito obrigada pela ajuda durante o desenvolvimento dos sistemas CAD-WEB, que foi essencial para a realização deste trabalho.

À Deus pela Vida!

Certa palavra dorme na sombra
de um livro raro.
Como desencantá-la?
É a senha da vida
a senha do mundo
Vou procurá-la.

Vou procurá-la a vida inteira
no mundo todo.
Se tarda o encontro, se não a encontro,
não desanimo,
procuro sempre.

Procuro sempre, e minha procura
ficará sendo
minha palavra.

Carlos Drummond de Andrade

(A palavra mágica, 1997)

RESUMO

Esta dissertação tem como objetivo buscar subsídios para a concepção de um sistema CAD baseado na WEB para aplicação da coordenação modular nas Habitações de Interesse Social. O uso dos módulos na construção civil tem seus primórdios na antiguidade e no Brasil esses estudos iniciaram a partir da década de 40, seguindo exemplos dos países europeus. No entanto, apesar dos estudos e da divulgação de um sistema modular, a construção civil não praticou seus conceitos. A falta de conceitos de modulação em projetos de edificações pode trazer diversos problemas de moradia, como pouca flexibilidade nos ambientes e dificuldades em futuras adaptações. Esses problemas foram verificados em um estudo de casos multiplos no Conjunto Habitacional Moradias Sambaqui, construído pela COHAB-CT. Com o objetivo de identificar os gargalos para disseminação da coordenação modular na cadeia produtiva, foi realizada uma pesquisa com o Método Delphi. Essa pesquisa abrangeu empresas de componentes construtivos, como: blocos cerâmicos, blocos de gesso, blocos de concreto, revestimentos cerâmicos, esquadrias, projetos de estruturas de concreto e pré-fabricados de concreto. O resultado da pesquisa aponta que os principais gargalos são: a falta de formação nas Universidades e escolas técnicas e a contratação tardia dos projetos para produção. Por fim, o trabalho apresenta o desenvolvimento de dois protótipos de sistemas CAD baseados na WEB para aplicação da coordenação modular nas Habitações de Interesse Social e uma avaliação de usabilidade de sistemas gráficos interativos. Através da validação do sistema escolhido, foi possível observar que, além de orientar o usuário quanto às regras de coordenação modular, o sistema, através do modelo 3D, contribui para uma melhor compreensão da representação bidimensional, da distribuição dos espaços e da proporção dos objetos.

Palavras-Chaves: Modularização. Sistemas CAD. *World Wide Web*.

Autora: Fabíola Azuma

Curso: Pós Graduação em Construção Civil, Mestrado

Instituição: Universidade Federal do Paraná

Curitiba, 18 de março de 2008.

ABSTRACT

This Master Thesis aims to develop studies on WEB-based CAD systems to support modular coordination for Low Income Dwellings. The use of the modules in the building industry started in the ancient times and in Brazil, these studies began at the 1940s, following examples of European countries. However, despite these studies and the spread of a modular system practice, the civil construction still did not perform it. The lack of modulation concepts in building designs results in various housing problems such as little flexibility for changes and difficulties for future adaptation of dwelling by the occupant. These problems were verified in a multiple case studies at Sambaqui Housing, constructed by COHAB-CT. With the goal of identifying the modular coordination bottlenecks for its spread out in the production chain, a research was conducted through the Delphi Method. This research covered diverse constructive components such as: ceramic blocks, plaster blocks, concrete blocks, ceramic coatings, door and window, concrete structure projects and manufactured concrete structure. The research result shows that the main bottlenecks are: the lack of training in Universities and technical schools and the late hiring of execution projects. Finally, this work presents the development of two prototypes of WEB-based CAD system to support modular coordination for Low Income Dwelling and a usability evaluation of interactive graphic system. Through the chosen system for validation was possible to verify that, in addition to assist the user to ensure that the modular coordination rules are followed, the system, through the 3D model, also contributes for a better understanding of the two-dimensional representation, the space distribution and the objects proportion.

Key words: Modularization. CAD Systems. World Wide Web.

Autora: Fabíola Azuma

Curso: Pós Graduação em Construção Civil, Mestrado

Instituição: Universidade Federal do Paraná

Curitiba, 18 de março de 2008.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - COLUNA DÓRICA 29
FIGURA 2 - FACHADA DE TEMPLO DA ORDEM TOSCANA 29
FIGURA 3 - CASA TRADICIONAL JAPONESA 30
FIGURA 4 - POSICIONAMENTO DO BLOCO NO RETICULADO MODULAR DE REFERÊNCIA 33
FIGURA 5 - RETICULADO MODULAR ESPACIAL DE REFERÊNCIA 35
FIGURA 6 - QUADRICULADO MODULAR DE REFERÊNCIA 36
FIGURA 7 - POSICIONAMENTO TIJOLO MACIÇO (9 x 7 x 19) 37
FIGURA 8 - POSIÇÃO SIMÉTRICA 37
FIGURA 9 - POSIÇÃO ASSIMÉTRICA 38
FIGURA 10 - POSIÇÃO LATERAL 38
FIGURA 11 - COMPONENTES CONSTRUTIVOS MODULADOS 39
FIGURA 12 - RELAÇÃO ENTRE MEDIDA MODULAR E MEDIDA NOMINAL 40
FIGURA 13 - AJUSTE MODULAR POSITIVO 41
FIGURA 14 - AJUSTE MODULAR NEGATIVO 42
FIGURA 15 - AJUSTE MODULAR NULO 42
FIGURA 16 - SOBREPOSIÇÃO DOS QUADRICULADOS MODULARES DE REFERÊNCIA 43
FIGURA 17- INTERFACE E INTERAÇÕES ENTRE MÓDULOS E COMPONENTES 52
FIGURA 18 - DIAGRAMA DOS PRINCIPAIS NÍVEIS DE DECISÃO 58
FIGURA 19 - VISTA SUPERIOR DE UM EDIFÍCIO EM ALVENARIA ESTRUTURAL 61
FIGURA 20 - CASA MODULADA EM RIBEIRÃO PRETO/SP 63
FIGURA 21 - ESTRUTURA BÁSICA DE CÔMODOS PRÉ-FABRICADOS 65
FIGURA 22 - OPÇÕES PARA DIFERENTES NECESSIDADES 67
FIGURA 23 - MONTAGEM DE MÓDULOS 69
FIGURA 24 - EXEMPLOS DE PROJETOS BASEADOS NO CONCEITO WENSWONEN .. 70
FIGURA 25 - MORFOLOGIA DE EDIFÍCIOS IFD 77
FIGURA 26 - CONFIGURAÇÕES DE LEIAUTES PARA DIFERENTES GRUPOS DE USUÁRIOS 79
FIGURA 27 - CONFIGURAÇÕES MODULARES POSSÍVEIS 79
FIGURA 28 - ARQUITETURA DO SISTEMA 87
FIGURA 29 - FLUXO DE DADOS 89

FIGURA 30 - AMBIENTE GRÁFICO DO SISTEMA CAD-WEB 90
FIGURA 31 - CAMADAS DA ARQUITETURA DO SISTEMA 91
FIGURA 32 - INTERFACE DO SISTEMA CAD-WEB COLABORATIVO 92
FIGURA 33 - MECANISMO PARA GERAÇÃO DE CÓDIGO VRML 94
FIGURA 34 - BROWSER VRML PARA NAVEGAÇÃO AUTOMÁTICA 95
FIGURA 35 - APPLET JAVA PARA EDIÇÃO DAS SALAS..... 97
FIGURA 36 - MECANISMO DE COLABORAÇÃO ENTRE APPLET JAVA E SCRIPT CGI . 98
FIGURA 37 - CONSOLE DE NAVEGAÇÃO..... 103
FIGURA 38 - INTERFACE DO SWEET HOME 3D 105
FIGURA 39 - EXEMPLOS DAS OBSERVAÇÕES DOS TRABALHOS EM CAMPO 114
FIGURA 40 - SEQUÊNCIA DO MÉTODO DELPHI VIA INTERNET 116
FIGURA 41 - PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA CAD-WEB..... 120
FIGURA 42 - ETAPAS DO ENSAIO DE INTERAÇÃO 127
FIGURA 43 - INTERFACE DO ERGOLIST 128
FIGURA 44- ETAPAS DA ELABORAÇÃO DA PESQUISA..... 134
FIGURA 45 - MORADIAS SAMBAQUI PADRÃO CT2-34B 137
FIGURA 46 - MORADIAS SAMBAQUI PADRÃO CT2-33..... 137
FIGURA 47 - LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA MORADIAS SAMBAQUI..... 138
FIGURA 48 - ENTORNO DO LOTEAMENTO MORADIAS SAMBAQUI..... 139
FIGURA 49 - CARACTERIZAÇÃO DAS RESIDÊNCIAS ANALISADAS 141
FIGURA 50 - PAVIMENTO INFERIOR - MODULAÇÃO 15 x 20 143
FIGURA 51 - PAVIMENTO SUPERIOR - MODULAÇÃO 15 x 20..... 144
FIGURA 52 - COLOCAÇÃO DA ESQUADRIA..... 145
FIGURA 53 - CT2- 34B - MODULAÇÃO 15 x 30 146
FIGURA 54 - CT2-34B - MODULAÇÃO 15 x 20 147
FIGURA 55 - ESQUADRIAS CHUMBADAS 149
FIGURA 56 - SIMULAÇÃO DE DIFERENTES LEIAUTES CONFORME HÁBITOS DOS MORADORES 151
FIGURA 57 - PRESENÇA DE AMBIENTES MULTIUSOS E INTEGRADOS 151
FIGURA 58 – ABORDAGEM INTEGRADA ENTRE ARQUITETURA E MOBILIÁRIO 152
FIGURA 59 - INTERFACE DO PROTÓTIPO COM JMONKEYENGINE 183
FIGURA 60 - DIAGRAMA DE CASO DE USO: PROJETAR LEIAUTE MOBILIÁRIO-DIVISÓRIA 187
FIGURA 61 - DIAGRAMA DE CLASSES 188
FIGURA 62 - INTERFACE CAD-WEB..... 189
FIGURA 63 - VISUALIZAÇÃO 3D BROWSER VRML..... 190

FIGURA 64 - NOVA INTERFACE DO SISTEMA CAD-WEB 199
FIGURA 65 - DIAGRAMA DE CLASSES DA ATUALIZAÇÃO DO SISTEMA CAD-WEB ... 200
FIGURA 66 – PROJETO MEDIDO IN LOCO - PAVIMENTO INFERIOR - MODULAÇÃO: 15x30 250
FIGURA 67 – PROJETO MEDIDO IN LOCO - PAVIMENTO SUPERIOR - MODULAÇÃO: 15x30 251
FIGURA 68 - CT2-33 - MODULAÇÃO: 15x30 252
FIGURA 69 - CT2-33 - MODULAÇÃO: 15x20 253

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - ERGOLIST: CRITÉRIOS CONFORMES 191
GRÁFICO 2 - ERGOLIST: CRITÉRIOS NÃO CONFORMES 193
GRÁFICO 3 - ERGOLIST: CRITÉRIOS NÃO APLICÁVEIS 195
GRÁFICO 4 - ERGOLIST: AVALIAÇÃO GERAL 197

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - NORMAS BRASILEIRAS DE COORDENAÇÃO MODULAR 45
QUADRO 2 - MEDIDA MODULAR: TIJOLOS FURADOS 47
QUADRO 3 - MEDIDA DE PROJETO: TIJOLOS FURADOS 47
QUADRO 4 - MEDIDA MODULAR TIJOLOS MACIÇOS 47
QUADRO 5 - MEDIDA DE PROJETO TIJOLOS MACIÇOS 47
QUADRO 6 - DIMENSÕES REAIS DOS BLOCOS VAZADOS DE CONCRETO, MODULARES E SUB-MODULARES 48
QUADRO 7 - RELAÇÃO DIMENSIONAL DE VÃOS E ESQUADRIAS 50
QUADRO 8 - SISTEMA KITS COM FOCO NO CANTEIRO 53
QUADRO 9 - SISTEMA DE MÓDULOS INDUSTRIAIS 3D 54
QUADRO 10 - SISTEMA HÍBRIDO 55
QUADRO 11 - CENÁRIO POSSÍVEL DOS NOVOS PAPÉIS DOS STAKEHOLDERS 80
QUADRO 12 – TEMPO ESTIMADO DE UMA SESSÃO DE INTERAÇÃO 131
QUADRO 13 - PERFIL DOS MORADORES ENTREVISTADOS 140
QUADRO 14 - USO DE AMBIENTE CONFORME PERÍODO 150
QUADRO 15 - PARTICIPANTES DA PRIMEIRA RODADA DO MÉTODO DELPHI 155
QUADRO 16 - PARTICIPANTES DA SEGUNDA RODADA DO MÉTODO DELPHI 156
QUADRO 17 - PARTICIPANTES DA TERCEIRA RODADA DO MÉTODO DELPHI 157
QUADRO 18 - RANKING DO CONCEITO DE COORDENAÇÃO MODULAR 165
QUADRO 19 - RANKING DOS BENEFÍCIOS DA COORDENAÇÃO MODULAR 166
QUADRO 20 - RANKING DOS GARGALOS PARA A DISSEMINAÇÃO DA COORDENAÇÃO MODULAR 169
QUADRO 21 - MÓDULOS IDEAIS PARA COMPONENTES CONSTRUTIVOS 172
QUADRO 22- PERCENTUAIS POR CRITÉRIOS CONFORMES 192
QUADRO 23 - PERCENTUAIS POR CRITÉRIOS NÃO CONFORMES 194
QUADRO 24 - PERCENTUAIS POR CRITÉRIOS NÃO APLICÁVEIS 196
QUADRO 25 - PERFIL DOS PARTICIPANTES DO ENSAIO DE INTERAÇÃO 201
QUADRO 26 - SÍNTESE DOS SUBSÍDIOS COM BASE NAS EVIDÊNCIAS DA PESQUISA 214

LISTA DE SIGLAS

BNDES	– Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
BNH	– Banco Nacional da Habitação
CAD	– Computer Aided Design
CBC	– Centro Brasileiro da Construção Bouwcentrum
CD-ROM	– Compact Disc Read-Only Memory
CGI	– Common Gateway Interface
COHAB-CT	– Companhia de Habitação Popular de Curitiba
COPEL	– Companhia de Energia Elétrica do Paraná
DARPA	– Defense Advanced Research Projects Agency
DIY	– Do It-Yourself
DIYer	– Do-It-Yourselfers
DXF	– Drawing Interchange Format
EAI	- External Authoring Interface
FGTS	– Fundo de Garantia do Tempo de Serviço
FINEP	– Financiadora de Estudos e Projetos
GIF	– Graphics Interchange Format
GUI	– Graphical User Interface
HABITARE	– Programa de Tecnologia de Habitação
HIS	– Habitação de Interesse Social
HTML	– Hypertext Markup Language
HTTP	– Hypertext Transfer Protocol
IBGE	– Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFD	– Industrializado, Flexível e Desmontável
IHC	– Interação Homem Computador
INMETRO	– Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
JPEG	– Joint Photographic Experts Group
PBQP-H	– Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade no Habitat
SANEPAR	– Companhia de Saneamento do Paraná
SQL	– Structured Query Language

SVG – Scalable Vectorial Graphics
TCP/IP – Transmission Control Protocol/Internet Protocol
TI – Tecnologia da Informação
UFAL – Universidade Federal de Alagoas
UFC – Universidade Federal do Ceará
UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais
UFPB – Universidade Federal da Paraíba
UFPR – Universidade Federal do Paraná
UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina
UML – Unified Modeling Language
URL – Uniform Resource Locator
USP – Universidade de São Paulo
VRML – Virtual Reality Modeling Language
WEB – World Wide Web
XML – Extensible Markup Language

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 19
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA 20
1.2 OBJETIVO PRINCIPAL 20
1.2.1 Objetivos secundários 20
1.3 CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA 21
1.4 PRESSUPOSTOS 22
1.5 JUSTIFICATIVA 23
1.5.1 Quanto aos aspectos econômicos e sociais 23
1.5.2 Quanto aos fatores ambientais 24
1.5.3 Quanto ao desenvolvimento tecnológico 24
1.6 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO 26
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 27
2.1 COORDENAÇÃO MODULAR 28
2.1.1 Compreensão do módulo e coordenação modular 28
2.1.2 Sistema de Coordenação Modular para Construção Civil 33
2.1.2.1 Sistema de referência 35
2.1.2.2 Sistema modular de medidas 39
2.1.2.3 Sistema de ajustes e tolerâncias 41
2.1.2.4 Sistema de números preferenciais 42
2.1.2.5 Zona neutra 43
2.1.3 Normatização brasileira da coordenação modular para construção civil 44
2.1.3.1 NBR 5706/1977 – coordenação modular da construção: procedimento 46
2.1.3.2 Componentes construtivos com especificação de medidas 46
2.1.3.3 Componentes construtivos sem especificação de medidas 49
2.1.3.4 Discussão sobre a análise das normas de coordenação modular 50
2.1.4 Conectividade e Interações 51
2.1.4.1 Sistema de KITS com foco no canteiro 52
2.1.4.2 Sistema de módulos industriais 3D 54
2.1.4.3 Sistema Híbrido 55
2.1.4.4 Discussão 56
2.1.4.5 *Open Building System* 57
2.1.5 Experiências nacionais em construções modulares 59

2.1.5.1 Alvenaria de Blocos de Concreto 60
2.1.5.2 Construção Modular com Sistema de KITS 62
2.1.6 Experiências internacionais em construções modulares 63
2.1.6.1 Inglaterra: *Corus Living Solutions – Modular Building System* 65
2.1.6.2 Japão: *Sekisui Home* 66
2.1.6.3 Suécia: *Open House* 68
2.1.6.4 Holanda: *Wenswonen* 70
2.1.7 Barreiras para disseminação da coordenação modular 71
2.1.8 Estágio atual da aplicação da coordenação modular: *Open Building Manufacturing* 75
2.1.9 Estágio atual da aplicação da coordenação modular: *IFD Buildings* 77
2.1.9.1 Morfologia de edifícios residenciais IFD 78
2.1.9.2 Modelo de organização e processos de edifícios IFD 80
2.1.9.3 Conclusões sobre os edifícios IFD 81
2.1.10 Discussão sobre sistemas construtivos modulares 82
2.2 SISTEMAS CAD BASEADOS NA WEB 84
2.2.1 Sistema CAD-WEB: Universidade de Nanjing, China 86
2.2.1.1 Configuração do sistema 87
2.2.1.2 Fluxo de dados 88
2.2.1.3 Implementação 89
2.2.2 Sistema CAD-WEB para projetos colaborativos: Tailândia 91
2.2.2.1 Implementação 92
2.2.3 Sistema CAD-WEB e objetos multimídia: República Checa 93
2.2.3.1 Implementação 93
2.2.3.2 Navegação automática 94
2.2.3.3 Edição das salas, móveis e objetos multimídia 96
2.2.3.4 Aprimoramentos do sistema 98
2.2.4 BEAVER: Universidade de Bielefeld, Alemanha 99
2.2.4.1 Projeto virtual dos armários 100
2.2.4.2 Geração de lista de materiais e manual de montagem 101
2.2.4.3 Implementação do CAD na WEB 102
2.2.4.4 Visualização e montagem virtual através do VRML 103
2.2.4.5 Comunicação e geração de páginas dinâmicas: *JavaScript* 104
2.2.5 SWEET HOME 3D 104
2.2.6 Discussão sobre os Sistemas CAD baseados na WEB 106

3 MÉTODO DE PESQUISA 108
3.1 ESTUDO DE CASO 109
3.1.1 Critério de seleção do estudo de caso 110
3.1.2 Protocolo de coleta de dados 110
3.1.2.1 Etapa 1: revisão da literatura sobre o tema de estudo 111
3.1.2.2 Etapa 2: estabelecimento de parcerias e contato com informantes chaves 111
3.1.2.3 Etapa 3: realização de entrevistas com moradores 112
3.1.2.4 Etapa 4: estratégias de observação em campo 112
3.1.2.5 Etapa 5: condução de um estudo de caso piloto 113
3.2 MÉTODO DELPHI 115
3.2.1 Condução do Método Delphi 117
3.3 DESENVOLVIMENTO SISTEMA CAD-WEB PARA APLICAÇÃO DA COORDENAÇÃO MODULAR 118
3.4 ESTRATÉGIA DE ANÁLISE 121
3.4.1 Estratégia de análise do Estudo de Caso 121
3.4.2 Estratégia de análise do Método Delphi 122
3.4.3 Estratégia de análise do sistema CAD-WEB para aplicação da coordenação modular 122
3.4.3.1 Princípios ergonômicos para avaliação de usabilidade 123
3.4.3.2 Objetivos da avaliação de usabilidade de sistemas interativos 125
3.4.3.3 Protocolo de avaliação de usabilidade de sistemas interativos 126
3.4.3.3.1 Análise preliminar 127
3.4.3.3.2 Definição dos cenários e da amostra 129
3.4.3.3.3 Realização dos ensaios 130
3.5 ESTRATÉGIA DE VALIDAÇÃO 131
3.5.1 Validade externa 132
3.5.2 Confiabilidade 133
3.6 LIMITAÇÃO DO TRABALHO 133
3.7 ETAPAS DA PESQUISA 134

4 DIAGNÓSTICO E ANÁLISE DE DADOS 135
4.1 DIAGNÓSTICO E ANÁLISE DA MODULAÇÃO NO CONJUNTO HABITACIONAL MORADIAS SAMBAQUI 136
4.1.1 Caracterização do Conjunto Habitacional Moradias Sambaqui 137
4.1.2 Perfil dos moradores entrevistados 139
4.1.3 Caracterização das residências analisadas 140
4.1.4 Análise quanto à modulação construtiva 142
4.1.4.1 Análise quanto à modulação construtiva com o bloco cerâmico de 09 x 14 x 19: projeto medido *in loco* (pavimento inferior) 143
4.1.4.2 Análise quanto à modulação construtiva com bloco cerâmico de 09 x 14 x 19: projeto medido *in loco* (pavimento superior) 144
4.1.4.3 Resultado da análise quanto à modulação do projeto medido *in loco* 145
4.1.4.4 Análise quanto à modulação construtiva com bloco cerâmico de 09 x 14 x 29: projeto COHAB-CT, modelo CT2-34B 146
4.1.4.5 Análise quanto à modulação construtiva com blocos cerâmicos de 09 x 14 x 19: projeto COHAB-CT, modelo CT2-34B 147
4.1.4.6 Resultado da análise quanto à modulação do projeto da COHAB-CT, modelo CT2-34B 148
4.1.5 Análise quanto à desconexão de componentes e subsistemas 149
4.1.6 Análise quanto à utilização dos espaços arquitetônicos 150
4.2 DIAGNÓSTICO E ANÁLIDE DA COORDENAÇÃO MODULAR NA CADEIA PRODUTIVA ATRAVÉS DO MÉTODO DELPHI 153
4.2.1 Perfil dos participantes 154
4.2.1.1 Participantes da primeira rodada do Método Delphi 155
4.2.1.2 Participantes da segunda rodada do Método Delphi 156
4.2.1.3 Participantes da terceira rodada do Método Delphi 157
4.2.2 Análise da primeira rodada do Método Delphi 157
4.2.2.1 Conceito de coordenação modular com foco na padronização 158
4.2.2.2 Conceito de coordenação modular com foco no sistema construtivo 159
4.2.2.3 Conceito de coordenação modular com foco na relação projeto e produto 159
4.2.2.4 Conceitos isolados de coordenação modular 160
4.2.2.5 Benefícios revelados da coordenação modular 160
4.2.2.6 Gargalos para a disseminação da coordenação modular 161
4.2.2.7 Discussão sobre a primeira rodada do Método Delphi 162
4.2.3 Análise da segunda rodada do Método *Delphi* 163
4.2.3.1 Ranking do conceito de coordenação modular 164

4.2.3.2 Ranking dos benefícios da coordenação modular 165
4.2.3.3 Ranking dos gargalos para disseminação da coordenação modular 168
4.2.3.4 Customização de ambientes através da coordenação modular 171
4.2.3.5 Análise dos módulos das empresas participantes 171
4.2.3.6 Discussão sobre a segunda rodada do Método Delphi 173
4.2.4 Análise da terceira rodada do Método Delphi 174
4.2.4.1 Ações contra gargalos do tipo “recursos humanos” 174
4.2.4.2 Ações contra gargalos referentes aos problemas de mercado 175
4.2.4.3 Ações contra a falta de projeto arquitetônico coordenado modularmente 176
4.2.4.4 Ações contra gargalos referentes aos problemas de equipamentos 176
4.2.4.5 Discussão sobre a terceira rodada do Método Delphi 177
4.2.5 Considerações finais sobre o Método Delphi 179
4.3 DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE DO SISTEMA CAD-WEB PARA APLICAÇÃO DA COORDENAÇÃO MODULAR 181
4.3.1 Desenvolvimento do primeiro protótipo CAD-WEB através da plataforma JMONKEYENGINE 182
4.3.2 Desenvolvimento do segundo protótipo CAD-WEB: Linguagem Java e VRML 184
4.3.2.1 Modelagem de objetos através da UML 185
4.3.2.1.1 Diagrama de Caso de Uso: Projetar Leiaute Mobiliário-Divisória 186
4.3.2.1.2 Diagrama de Classe 187
4.3.2.2 Implementação do CAD na WEB 189
4.3.2.3 Resultado da avaliação de usabilidade de interfaces gráficas interativas: *checklist* de ergonomia 190
4.3.2.3.1 Critérios Conformes da Avaliação Ergonômica 191
4.3.2.3.2 Critérios Não Conformes da Avaliação Ergonômica 193
4.3.2.3.3 Critérios Não Aplicáveis da Avaliação Ergonômica 194
4.3.2.3.4 Análise geral da avaliação ergonômica através do *checklist* 196
4.3.2.4 Atualização do sistema CAD-WEB 199
4.3.2.4.1 Modelagem de dados através da UML da atualização do sistema 200
4.3.2.5 Resultado da avaliação de usabilidade de interfaces gráficas interativas: ensaio de interação 201
4.3.2.5.1 Perfil dos avaliadores 201
4.3.2.5.2 Diagnóstico da avaliação do ensaio de interação 202
4.3.2.5.3 Manipulação de objetos 202
4.3.2.5.4 Visualização 3D 204

4.3.2.5.5 Design de interface 204
4.3.2.6 Considerações finais sobre a avaliação de usabilidade 205
5 CONCLUSÕES 207
5.1 CONCLUSÕES GERAIS 207
5.2 SUBSÍDIOS PARA CONCEPÇÃO DE UM SISTEMA CAD BASEADO NA WEB PARA APLICAÇÃO DA COORDENAÇÃO MODULAR NAS HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL 209
5.3 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS 215
REFERÊNCIAS 217
APÊNDICES 224

1 INTRODUÇÃO

A modulação é uma ferramenta importante que contribui para a industrialização da construção, uma vez que permite eficiência e economia nos processos e reduz as atividades desenvolvidas no local da obra. Assim, o canteiro de obras torna-se um local apenas de instalação de componentes construtivos manufaturados. A produção industrial dos componentes permite a definição clara de interfaces, o que coopera para a flexibilização dos ambientes da construção, a reutilização de partes do edifício e a adaptação da moradia ao ciclo de vida familiar dos moradores. Além disso, esses aspectos colaboram para a sustentabilidade da construção, uma vez que reduzem o desperdício de material e a improvisação nos canteiros de obras.

No Brasil, apesar dos esforços de promoção da coordenação modular, esse conceito ainda não está totalmente incorporado na construção brasileira. Isto justifica o caos dimensional dos componentes construtivos, que necessitam ser adaptados através de cortes no momento da construção. Dessa maneira, tornam-se genuínos os esforços na busca de uma construção mais racional, através da adoção dos princípios da modulação.

As tecnologias da informação têm sido largamente utilizadas, tanto para otimizar processos de produção como projetuais. Particularmente, os sistemas CAD têm contribuído, não apenas como uma ferramenta de projeto, mas também para melhorar a sua compreensão e visualização. Assim, conceber sistemas CAD baseados na WEB para aplicação da coordenação modular torna-se uma estratégia importante para promover a construção civil a um patamar de maior qualidade, que é o propósito da presente pesquisa. Além disso, o uso da WEB como mecanismo de acesso torna-se uma importante estratégia para a disseminação desta ferramenta, uma vez que cada dia mais usuários estão adotando a Internet, tanto nos segmentos gerenciais como projetuais.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

O presente trabalho pretende responder à seguinte questão: *“Como conceber um sistema CAD baseado na WEB para aplicação da coordenação modular nas Habitações de Interesse Social?”*

1.2 OBJETIVO PRINCIPAL

O objetivo principal desta dissertação é buscar subsídios para a concepção de um sistema CAD baseado na WEB para aplicação da coordenação modular nas Habitações de Interesse Social.

1.2.1 Objetivos secundários

a) identificar como a falta da coordenação modular afeta condições de moradia nas Habitações de Interesse Social.
b) identificar os gargalos para disseminação da coordenação modular na cadeia produtiva.
c) desenvolver um protótipo de um sistema CAD baseado na WEB para aplicação da coordenação modular.

1.3 CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA

Este trabalho fez parte de um projeto de pesquisa mais amplo, financiado com recursos do Programa de Tecnologia da Habitação (HABITARE) da FINEP (Financiadora de Estudos e Projeto). O projeto é intitulado como “Kits Divisória-Mobiliário *Do-it-yourself* para Habitação de Interesse Social” e teve por objetivo o desenvolvimento de um mobiliário passível de substituir a parede nas Habitações de Interesse Social (HIS). Portanto, a fim de atender o objetivo proposto, foram adotados alguns requisitos de projeto, que nortearam o desenvolvimento do produto divisória-mobiliário. Esses requisistos contemplam tanto a funcionalidade de vedação, como os conceitos de design de móveis, sendo: modularidade, *do it yourself*, sustentabilidade, valores estéticos, ergonomia e montagem intuitiva (dispositivos *poka-yoke*). O desenvolvimento do sistema CAD-WEB para aplicação da coordenação modular foi concebido para atender as necessidades deste projeto de mobiliário-divisória. Por isso os protótipos desenvolvidos possuem a biblioteca carregada com móveis para compor diferentes leiautes de divisórias.

O período de vigência do projeto é de dois anos, tendo sido iniciado em janeiro de 2007. O projeto conta com a participação de parceiros comerciais como Lojas Mercado Móveis, Masisa Brasil, Placa Centro - Masisa, além de COHAB-CT como parceria com órgão governamental. A equipe de projeto é multidisciplinar, sendo constituída por designers, arquitetos e engenheiros, entre professores, mestrandos e alunos da graduação.

O projeto “Kits Divisória-Mobiliário *Do-it-yourself* para Habitação de Interesse Social” faz parte de uma Rede denominada “Desenvolvimento e difusão de tecnologias construtivas para habitação de interesse social” integrada por universidades como: UFSC, UFPR, UFRGS, USP, UFMG, UFC, UFAL, UFPB. Cada universidade da mencionada Rede desenvolve soluções construtivas para habitação de interesse social, tendo como enfoque a coordenação modular.

Portanto, com a formação desta Rede de soluções construtivas modulares e a elaboração do projeto “Kits Divisória-Mobiliário *Do-it-yourself* para Habitação de Interesse Social” iniciou-se o desenvolvimento do presente trabalho. A citada Rede colaborou durante a aplicação do Método Delphi, fornecendo os contatos das

empresas dispostas a participar da pesquisa que visava determinar os gargalos para a disseminação da coordenação modular na construção civil. Assim, a pesquisa pode ser enriquecida com dados das regiões Sul, Sudeste e Nordeste do Brasil.

1.4 PRESSUPOSTOS

Os pressupostos considerados nessa dissertação foram:

a) a falta de coordenação modular implica em interferências construtivas além de dificultar a flexibilidade no ambiente construído.

b) conforme Baldauf (2004), a coordenação modular não é adotada por falta de conhecimentos e por negligência dos intervenientes da cadeia produtiva.

c) conforme Nousch e Jung (2001), através de tecnologias para WEB, como a linguagem Java e a linguagem VRML, é possível desenvolver um sistema CAD para assistir usuários *do-it-yourselfers* na elaboração de projetos de mobiliário.

1.5 JUSTIFICATIVA

1.5.1 Quanto aos aspectos econômicos e sociais

De acordo com os dados do IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, em 2005, os serviços relativos à construção e projetos de arquitetura e engenharia tiveram uma participação de 33,2% na receita liquida do país. Portanto, pesquisas que focam o desenvolvimento e melhoria na construção civil possuem grande relevância, pois contribuem para geração de renda. No cenário econômico, a coordenação modular possui grandes impactos, pois conforme Franco (1992), a sua aplicação mostra-se essencial para atingir um grau superior de racionalização em todas as etapas do empreendimento. Baldauf (2004), enfatiza o conceito ao mostrar que através da coordenação modular é possível reduzir custos em várias etapas do processo construtivo, podendo ocorrer por meio da otimização do uso da matéria-prima, pela agilidade no processo de decisão de projeto ou compra dos componentes, pelo aumento da produtividade e pela diminuição de perdas. Ainda, conforme Rosso (1976) citado por Baldauf (2004), a padronização dos componentes necessária para a coordenação modular viabiliza as exportações, dando abertura para os produtos circularem internacionalmente. Segundo o mesmo autor, esta estratégia foi utilizada por diversos países europeus, como Dinamarca, Espanha, França e Itália, para desenvolver as exportações e equilibrar a balança comercial.

Segundo Pereira (2005), a utilização do conceito de modulação gera flexibilidade na colocação dos componentes e facilita a ampliação dos espaços conforme as necessidades e condições financeiras dos usuários. Em Habitações de Interesse Social, essas características de flexibilidade e adaptações passam a ser de particular relevância, pois segundo Fischer (2003), existe grande incidência de adequações nessas unidades habitacionais, normalmente realizadas pelos próprios moradores já nos primeiros anos de residência.

1.5.2 Quanto aos fatores ambientais

A implementação de principios de desenvolvimento sustentável é uma das metas fundamentais de políticas européias (HÄKKINEN e PULAKKA, 2007). A indústria da construção representa a atividade humana com maior impacto sobre o meio ambiente, uma vez que edifícios e obras civis alteram a natureza, função e aparência de áreas urbanas e rurais. Portanto, o setor de construção tem uma importância expressiva no cumprimento das metas de desenvolvimento sustentável instituídas para qualquer país. Atividades de construção, uso, reparo, manutenção e demolição consomem recursos e geram resíduos em proporções que excedem em muito a maioria das outras atividades econômicas (SILVA, 2003). A coordenação modular com relação à sustentabilidade traz um melhor aproveitamento dos componentes construtivos e, como conseqüência, otimiza o consumo de matérias-primas, o consumo energético para produção desses componentes e ainda reduz a quantidade de sobras destes componentes decorrentes dos inúmeros cortes na etapa de construção (BALDAUF, 2004).

1.5.3 Quanto ao desenvolvimento tecnológico

Segundo Baldauf (2004), a coordenação modular tem como objetivo a racionalização da construção. Conforme Lucini (2001), a racionalização construtiva vinculada ao conceito de coordenação modular traz vantagens na produção de edificações, como compatibilidade dimensional e tecnológica entre componentes e a sua intercambialidade. Essas características, segundo Baldauf (2004), conduzem à industrialização aberta, que significa uma forma de industrialização na qual os componentes são produzidos a partir de um módulo-base a fim de que sejam combinados com outros componentes, qualquer que seja o fabricante.

O uso da tecnologia da informação e comunicação na construção civil tem criado novas oportunidades para colaboração, coordenação e troca de informações entre escritórios que trabalham em um projeto de construção (CALDAS e

SOIBELMAN, 2003). Nesse contexto, a tecnologia CAD caracteriza-se como uma das principais inovações da TI das últimas quatro décadas e oferece recursos para automação de desenhos e projetos, comunicação e compartilhamento de desenhos e base de dados (KALE e ARDITI, 2005). Além disso, aliar sistemas CAD com tecnologias para a WEB torna-se uma estratégia importante para a disseminação desses sistemas, pois conforme Zeng, Chen e Ding (2003), atualmente a WEB tem se tornado o serviço de informação mais popular na Internet, de modo que é possível encontrar um *browser* WEB instalado em quase todos os computadores pessoais espalhados pelo mundo.

Conforme Lessing *et al*. (2005), quando se obtém componentes pré-montados, projeto e manufatura apoiados por ferramentas de TI e avançados princípios de logística e sistema de planejamento consegue-se atingir um alto nível de industrialização. Portanto, o uso da coordenação modular associado a uma ferramenta de TI, como os sistemas CAD-WEB, apresenta-se como uma estratégia válida para o desenvolvimento tecnológico da construção civil.

1.6 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Essa dissertação foi organizada em cinco capítulos, que se referem respectivamente à: introdução, fundamentação teórica, método de pesquisa, diagnóstico e análise dos dados e conclusões.

O primeiro capítulo faz uma introdução ao trabalho e expões aspectos como o problema de pesquisa, os objetivos buscados, o contexto no qual a pesquisa está inserida, os pressupostos que conduzem a investigação e as justificativas relacionadas aos fatores econômicos, sociais, ambientais e tecnológicos.

O segundo capítulo consiste na fundamentação teórica, que norteia o desenvolvimento deste trabalho. A fundamentação é divida em dois tópicos principais, que abordam temas importantes a serem discutidos neste trabalho: os sistemas construtivos modulares e as experiências de desenvolvimentos de sistemas CAD baseados na WEB.

O terceiro capítulo é composto pela descrição dos métodos de pesquisa empregado a fim de atingir os objetivos propostos. Neste capítulo é apresentada a definição do método escolhido, os protocolos de coleta de dados, as estratégias de análise e de validação e as limitações da pesquisa.

O quarto capítulo apresenta o diagnóstico e análise da modulação nas construções do Conjunto Habitacional Moradias Sambaqui e seus impactos nas condições de moradia da população. Neste capítulo também são apresentadas as análises dos resultados obtidos através do Método Delphi, assim como a descrição do desenvolvimento dos sistemas CAD-WEB para aplicação da coordenação modular. Também são reportadas nesse capítulo as análises referentes à validação do sistema CAD-WEB através do *checklist* de ergonomia de interfaces e dos ensaios de interação.

O quinto capítulo consiste nas conclusões extraídas das análises dos estudos e na apresentação de subsídios para a concepção de um sistemas CAD baseado na WEB para aplicação da coordenação modular nas Habitações de Interesse Social. Por fim, o capítulo encerra-se com a apresentação das sugestões para futuros trabalhos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O capítulo de fundamentação teórica está dividido em dois tópicos: os sistemas construtivos modulares e os sistemas CAD baseados na WEB. A primeira seção do tópico sobre sistemas construtivos modulares busca esclarecer o conceito de módulo, pois constitui a base do sistema estudado. Em seguida são apresentados os conceitos de coordenação modular e uma análise crítca das normas brasileiras referentes ao assunto. A fim de complementar os estudos, este tópico aborda questões referentes à conectividade e interações, demonstrando exemplos de sistemas modulares e aprofundanto no tema através de esclarecimentos a respeito de conceitos *Open Building Systems*. Em seguida este tópico apresenta experiências nacionais e internacionais de construções modulares, demonstrando a prática a respeito do tema estudado. Por fim, considera-se que, apesar de antigo o conceito, a coordenação modular ainda não é uma realidade no cenário nacional, de forma que pode ser compreendido como uma inovação para a construção civil. Dessa maneira, o tópico encerra-se com questões relacionadas à barreiras para a introdução de inovações tecnológicas na construção civil.

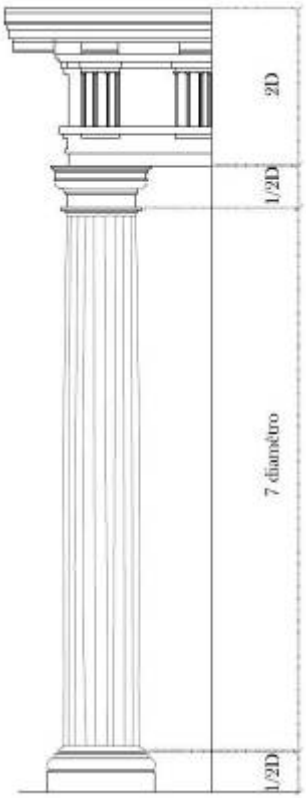
O segundo tópico deste capítulo diz respeito às experiências de desenvolvimento de sistemas CAD baseados na WEB, relacionando as tecnologias e procedimentos envolvidos. Este estudo contribuiu para o desenvolvimento do sistema CAD-WEB para aplicação da coordenação modular, colaborando para o design amigável de interface gráfica de sistema interativo.

2.1 COORDENAÇÃO MODULAR

2.1.1 Compreensão do módulo e coordenação modular

A palavra “módulo” tem origem no latim *modulu* e segundo Ferreira (1948) é definido como uma medida reguladora das proporções arquitetônicas de um edifício. O conceito do módulo não é novo, sendo que seu uso remete à Antiguidade. Os módulos, portanto, já eram utilizados na arquitetura clássica grega, romana e japonesa.

Para os gregos e romanos da Antiguidade clássica, a unidade básica de dimensão era o diâmetro da coluna. Desse módulo derivavam as dimensões do fuste, do capitel, assim como do pedestal abaixo e do entablamento acima, até o menor detalhe. O intercolúnio, que significa o sistema de espaçamento entre colunas, também era baseado no diâmetro da coluna. Este sistema de construção baseado em módulos representava as ordens clássicas, na sua proporcionalidade dos elementos, de modo a expressar a perfeição da beleza e harmonia (CHING, 2005).



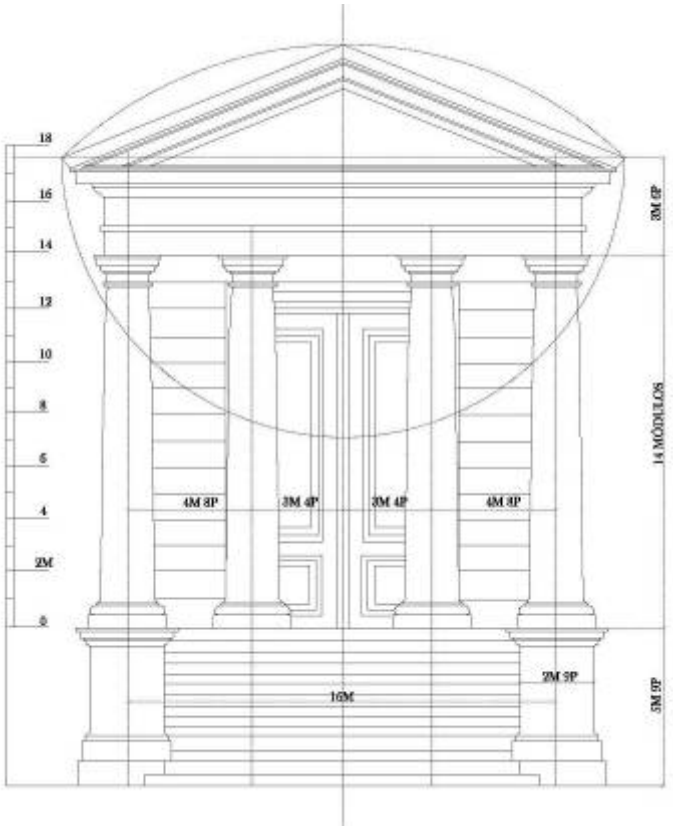


FIGURA 1 - COLUNA DÓRICA

FIGURA 02 – FACHADA DE TEMPLO DA ORDEM TOSCANA

FONTE: Ching (2005)

NOTA: Escala dos módulos (M): 2M = 1 diâmetro de coluna ½ M = 1 Parte (P)

Na arquitetura japonesa, a unidade tradicional de medida era o *shaku*, originalmente importada da China. Esta medida é quase equivalente ao pé inglês e divisível em unidades decimais. Outra unidade de medida foi o *ken,* introduzida na segunda metade da Idade Média Japonesa. Originalmente, o *ken* era utilizado apenas para designar o intervalo entre duas colunas e variava de tamanho, entretanto, foi logo padronizado para a arquitetura residencial. Diferentemente do módulo das Ordens Clássicas, que se baseava no diâmetro de uma coluna e variava conforme o tamanho de um edifício, o *ken* se tornou uma medida absoluta. O *ken,* no entanto, não estabelecia apenas uma medida para a construção de edifícios. Ele se desenvolveu até se converter em um módulo estético que organizava a estrutura, os materiais e o espaço da arquitetura japonesa. Por exemplo, em uma residência típica japonesa, a malha do *ken* organiza a estrutura, assim como a sequência

espaço a espaço de cômodos. O tamanho relativamente pequeno dos módulos possibilita que espaços retangulares sejam livremente dispostos em padrões lineares, em ziguezague ou aglomerados (CHING, 2005).

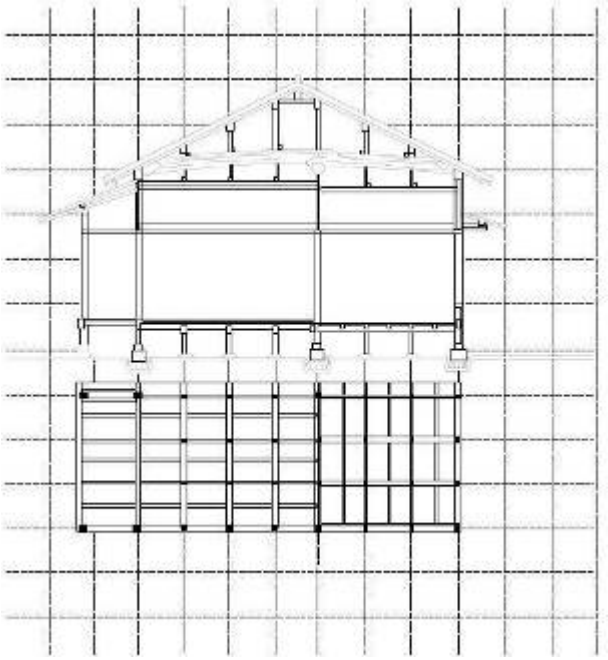


FIGURA 3 - CASA TRADICIONAL JAPONESA
FONTE: Ching (2005)

No entanto, neste período, o módulo tinha apenas a função de organizar o espaço e regular as proporções arquitetônicas do edifício. Com o passar dos anos, e o desenvolvimento das disciplinas de arquitetura e engenharia, o conceito de módulo se desenvolveu e então surgiram os módulos construtivos. Segundo Miller e Elgard (1998), tipicamente, esses módulos construtivos eram elementos físicos, com interfaces descritas pela geometria. Assim, para esses autores o atributo básico do sistema baseado em blocos construtivos é a habilidade em criar diversidade através da combinação e intercambialidade entre diferentes blocos.

O uso dos módulos com caráter funcional e industrial foi abordado durante o período da escola alemã Bauhaus (1919-1933), quando seu fundador, o arquiteto Water Gropius combinou a idéia da padronização dos componentes com o pensamento funcional e a produção industrial da construção de edifícios. Dessa

maneira, a partir de um módulo uniforme, diferentes tipos de edifícios poderiam ser compostos, de modo que as unidades construtivas tornavam-se autônomas com base no princípio da funcionalidade. Assim, a construção era compreendida como um conjunto de diversas unidades construtivas independentes e não como um bloco homogêneo de construção. Essas unidades construtivas diferenciavam-se em volume, altura e arranjo espacial de acordo com suas particularidades funcionais (e.g. trabalho, residêncial, lazer). Baseado nesses conceitos, o arquiteto húngaro Fréd Forbát, na Exposição Bauhaus de 1923, apresentou as casas padronizadas de Forbát, construídas a partir de seis componentes e que poderiam ser combinados de várias formas. Essas casas de Forbát, com suas células de espaço, foram expostas como “arquitetura-colmeia”. Gropius designava esse sistema como uma caixa de construções em grande escala, do qual se poderiam compor diferentes “máquinas vivas”, dependendo das necessidades e do número de habitantes (DROSTE, 1992; KENTGENS-CRAIG, 1998).

Portanto, o significado contemporâneo do módulo integra as características técnicas dos blocos construtivos, ou seja, suas interfaces padronizadas, com as funcionalidades necessárias de um sistema (e.g. construção ou qualquer produto manufaturado). Em um contexto industrial incorporar funcionalidade no módulo é importante, pois permite a realização de testes de forma independente. Além disso, o conceito de módulo associado à uniformização e funcionalidade contribui para as atuais necessidades das indústrias em integrar técnicas de padronização e customização em massa. O entendimento do módulo como uma unidade funcional, portanto, tendo uma definição mais ampla do que meramente elementos físicos geométricos, permite uma compreensão mais abstrata. Assim, o conceito de módulo passa também a considerar aspectos imateriais e ser utilizado na indústria de computação e na gestão do conhecimento, quando aborda aspectos relacionados à reutilização de engenharia (MILLER e ELGARD, 1998).

No entanto, conforme Miller e Elgard (1998), não basta apenas considerar o módulo. Para esses autores, para a criação de variedade através da combinação e intercambialidade é necessário considerar o módulo como sendo parte de um sistema. Assim, segundo Graziadio (2004), os módulos podem ser projetados ou produzidos separadamente, porém funcionam em conjunto de maneira integrada.

Considerando a construção civil, um sistema é definido como um conjunto de regras nas quais os detalhes são projetados antes que a edificação seja planejada. Neste sistema os componentes são utilizados em diversas edificações, que se diferenciam como produto final, no entanto são produzidos por processos similares. As partes principais de um sistema de construção são os subsistemas, que geralmente correspondem às principais funções da edificação. Portanto, um sistema de construção é usualmente composto por cinco subsistemas: a estrutura, as paredes internas, as paredes externas, as instalações e os equipamentos (RICHARD, 2007).

Baseando-se nos aspectos acima discutidos, módulo pode ser compreendido como uma unidade funcional, com interfaces e interações bem definidas, sendo parte de um sistema. Neste contexto, para assegurar uma construção modular, a edificação é vista como um sistema, sendo composta por subsistemas que correspondem às principais funcionalidades da edificação. Esses subsistemas, portanto podem ser designados como os módulos do sistema, sendo utilizados em outras construções. Esse é o conceito moderno de módulo, que corresponde aos módulos funcionais da construção. Já o conceito de coordenação modular, conforme apresentado pelas normas, implica apenas nos aspectos dimensionais dos componentes e, portanto não aborda o uso de módulos funcionais. Essa é a diferença entre o conceito de coordenação modular e o conceito atual de módulos, utilizado tanto na indústria da construção civil, como na indústria de manufatura. Enfatiza-se ainda que a coordenação modular requer a padronização dos componentes construtivos, o que inclui suas interfaces e interações. Portanto, torna-se importante distinguir o conceito de padronização do conceito de modulação. Assim, a padronização busca um padrão para a fabricação industrial dos componentes construtivos, sendo isso uma premissa para processos de modulação. Dessa maneira, a coordenação modular torna-se possível através da simples montagem dos componentes padronizados industrialmente, garantindo vantagens como a intercambialidade entre componentes construtivos. A seguir serão detalhados conceitos pertinentes a coordenação modular e ainda uma discussão a respeito do estado atual das normas sobre o assunto.

2.1.2 Sistema de Coordenação Modular para Construção Civil

No Brasil, os trabalhos de promoção da construção modular iniciaram na década de 50 com a publicação da primeira norma brasileira de coordenação modular, a NB-25R. Em seguida, na década de 70 e inicío dos anos 80, os trabalhos e estudos a respeito do conceito se intensificaram, com o auxílio principalmente do Banco Nacional de Habitação (BNH) (BALDAUF, 2004).

O conceito de coordenação modular estabelecido pela norma é baseado em um sistema de referência tridimensional que norteia o desenvolvimento do projeto de edificação e de componentes construtivos. Assim todos os espaços e componentes do projeto devem estar relacionados nesse sistema de referência, no qual deverá ser respeitado o módulo básico de dez centímetros e os devidos ajustes e as tolerâncias necessárias para a concepção de um projeto modular. Segundo a NBR 5706/1977, coordenação modular é definida como a técnica que permite relacionar as medidas do projeto com as medidas modulares através de um reticulado espacial modular de referência. Conforme Lucini (2001), coordenação modular é a técnica que permite definir e relacionar dimensões de materiais e componentes em projeto e obra por meio de medidas modulares organizadas através de um reticulado espacial de referência.

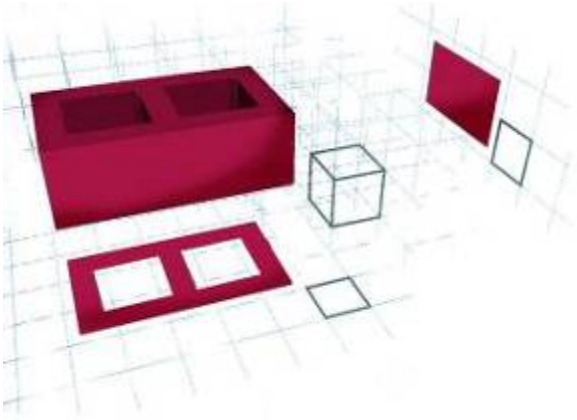


FIGURA 4 - POSICIONAMENTO DO BLOCO NO RETICULADO MODULAR DE REFERÊNCIA
FONTE: Lucini (2001)

Segundo Mamede (2001) e Lucini (2001) as vantagens obtidas através da coordenação modular são várias, dentre as quais podem ser citadas:

a) simplificação da elaboração do projeto;
b) normalização dos componentes da construção;
c) otimização das dimensões com redução do número de formato dos componentes da construção;
d) diminuição dos problemas de interface entre componentes e subsistemas;
e) padronização dos detalhes e precisão dimensional;
f) racionalização e simplificação na execução da obra, com facilidade de montagem;
g) redução de quebras e conseqüentemente de perdas de materiais;
h) compatibilidade dimensional e tecnológica entre componentes;
i) intercambialidade de componentes.

Conforme Baldauf (2004), a coordenação modular dispõe de quatro instrumentos fundamentais que formam a sua estrutura básica: o sistema de referência, o sistema modular de medidas, o sistema de ajustes e tolerâncias (ajuste modular) e o sistema de números preferenciais. Esses princípios são utilizados tanto no momento de projetar componentes ou edificações como no momento da execução, ou seja, na montagem. No entanto, para o desenvolvimento do projeto de edificação, além destes instrumentos, também se torna importante considerar outro instrumento, que corresponde às zonas não modulares, ou seja, a zona neutra. Estes instrumentos, assim como a zona neutra, serão detalhados a seguir.

2.1.2.1 Sistema de referência

A NBR 5706/1977 explica que um sistema de referência é aquele formado por pontos, linhas e planos aos quais devem relacionar-se as medidas e posições dos componentes da construção. Portanto, conforme Baldauf (2004), neste sistema de referência fica determinada a posição e a medida de cada componente da construção de maneira a possibilitar a conjugação racional no todo ou em parte.

A partir deste sistema de referência origina-se o Reticulado Modular Espacial de Referência, que segundo a NBR 5706/1977, 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.

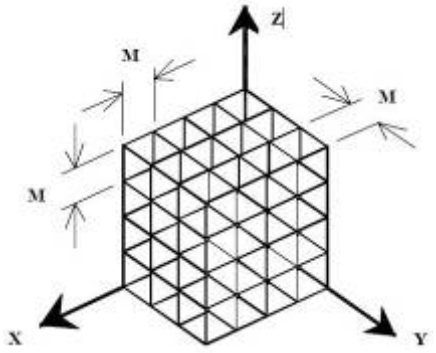


FIGURA 5 - RETICULADO MODULAR ESPACIAL DE REFERÊNCIA
FONTE: Baldauf (2004)

Conforme a NBR 5706/1977, a projeção ortogonal do reticulado espacial de referência sobre um plano paralelo a um dos três planos ortogonais define o quadriculado modular de referência. Segundo Baldauf (2004), a utilização de projeções ortogonais do reticulado modular espacial de referência torna-se necessária pois a representação gráfica de projetos é usualmente realizada através de vistas ortográficas, representando objetos em duas dimensões.

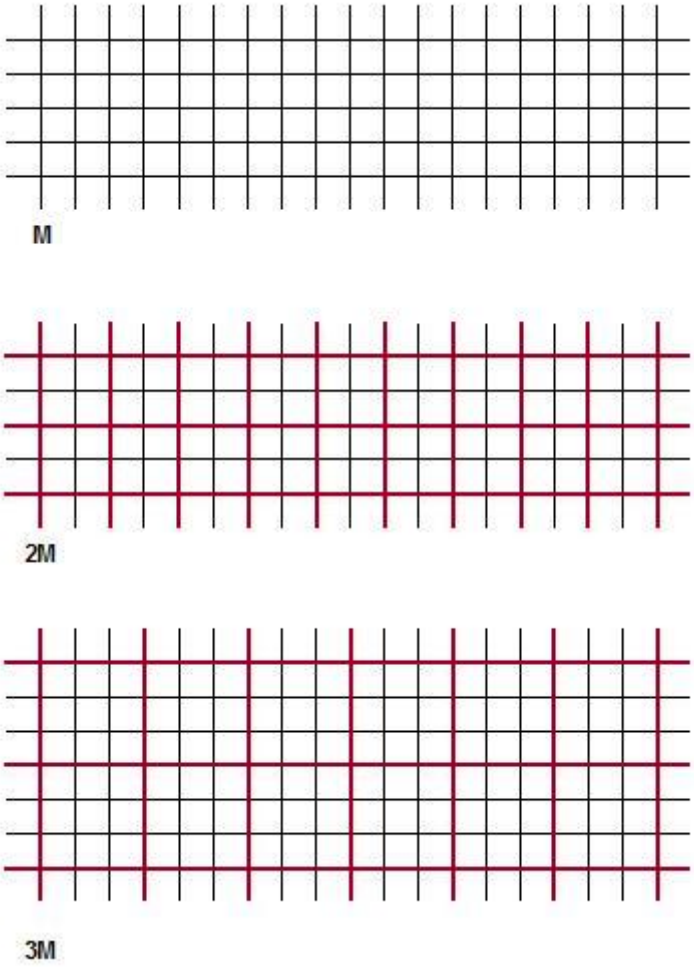


FIGURA 6 - QUADRICULADO MODULAR DE REFERÊNCIA
FONTE: NBR 5729/1982

De acordo com a NBR 5729/1982, é necessário o prévio conhecimento dos componentes da construção, particularmente suas dimensões e propriedades físicas, a fim de permitir um perfeito posicionamento dentro do quadriculado modular ou multimodular de referência. O posicionamento no reticulado modular vertical de referência pode ser feito inclusive para componentes construtivos não modulares (NBR 5729/1982).

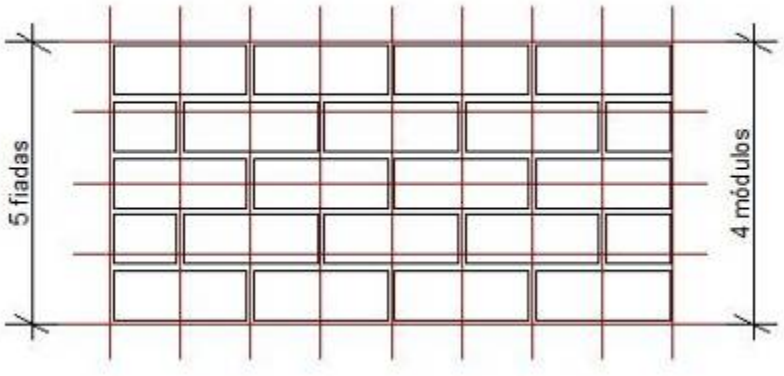


FIGURA 7 - POSICIONAMENTO TIJOLO MACIÇO (9 x 7 x 19)
FONTE: NBR 5729/1982

Os componentes de construção em relação à quadrícula modular de referência podem assumir três situações distintas: posição simétrica, posição assimétrica e posição lateral. A escolha da posição dos componentes deverá ser feita considerando-se as necessidades técnicas e econômicas do projeto e da execução da obra (NBR 5707/1982):

a) posição simétrica: a projeção ortogonal do componente está situada sobre uma linha da quadrícula modular de referência tendo suas faces equidistantes dessa mesma linha. Empregando-se essa posição, as medidas entre os eixos dos componentes estruturais são medidas modulares. Portanto, na execução da obra, a coincidência dos eixos dos componentes estruturais com linhas das quadrículas modulares de referência é capaz de simplificar a sua marcação (NBR 5707/1982).

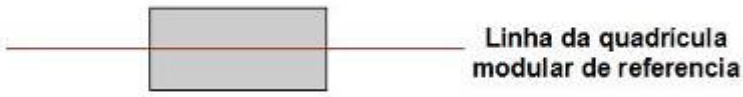


FIGURA 8 - POSIÇÃO SIMÉTRICA
FONTE: NBR 5707/1982

b) posição assimétrica: a projeção ortogonal do componente está situada sobre uma linha da quadrícula modular de referência de maneira que suas faces estejam afastadas diferentemente dessa linha. Emprega-se essa posição, por exemplo, nos casos de componentes estruturais com larguras diferentes a fim de manter afastamentos iguais de uma das suas faces em relação às linhas da quadrícula modular de referência. Neste caso, os afastamentos das faces do componente em relação à linha da quadrícula modular de referência, devem ser de preferência iguais a ¼ do módulo (NBR 5707/1982).

FIGURA 9 - POSIÇÃO ASSIMÉTRICA
FONTE: NBR 5707/1982

c) posição lateral: a projeção ortogonal do componente está situada com uma de suas faces posicionada lateralmente em relação a uma linha da quadrícula modular de referência. Com o emprego dessa posição obtêm-se medidas modulares de face a face de componentes estruturais (NBR 5707/1982).

FIGURA 10 - POSIÇÃO LATERAL
FONTE: NBR 5707/1982

2.1.2.2 Sistema modular de medidas

Conforme a NBR 5706/1977, o módulo é a distância entre dois planos consecutivos do sistema que origina o reticulado espacial modular de referência, sendo esta distância um decímento (10 cm). Essa dimensão de um decímetro para o módulo básico foi definida como adequada para suportar o comércio internacional de materiais de construção, sendo então padronizada através da norma dinamarquesa DS 1011.1 (NISSEN, 1976).

Conforme a dimensão do componente construtivo pode-se utilizar os multimódulos ou submódulos, que consistem em variações do módulo básico de um decímetro. Assim é possível definir o dimensionamento de cada elemento que compõe a construção civil de acordo com a coordenação modular.

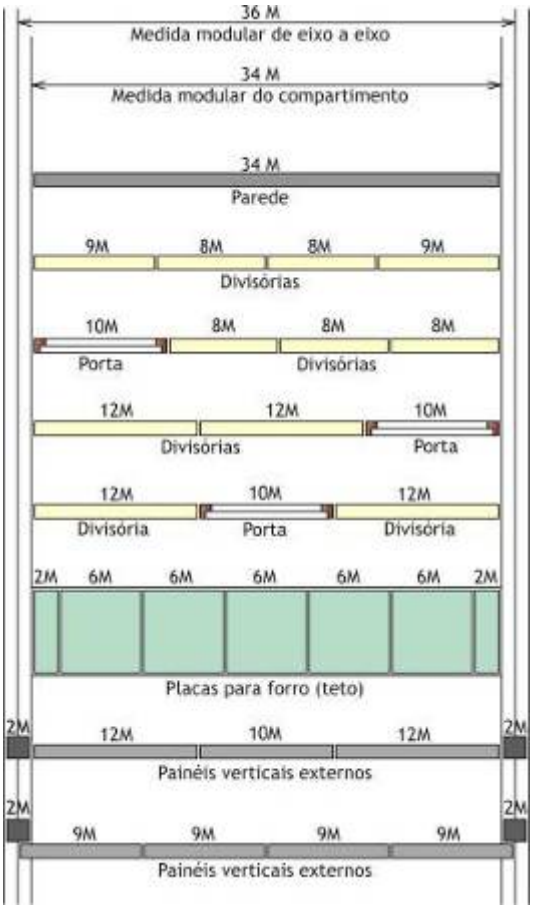


FIGURA 11 - COMPONENTES CONSTRUTIVOS MODULADOS
FONTE: Greven e Baldauf (2007)

Dessa forma, cada elemento construtivo terá a sua medida modular e a sua medida nominal. Segundo a NBR 5706/1977 a medida modular refere-se à medida igual a um módulo ou a um múltiplo inteiro do módulo, expressa pela fórmula:

$$mM = n \, . \, M$$

Onde:
mM é a medida modular
n é um número positivo inteiro qualquer
M é o módulo

A medida modular inclui o elemento contrutivo e a folga perimetral necessária para absorver tanto as tolerâncias de fabricação como a colocação em obra, de acordo com as técnicas construtivas correspondentes. Dessa maneira assegura que cada componente disponha de espaço suficiente para sua colocação em obra, sem invadir a medida modular do componente adjacente (LUCINI, 2001).

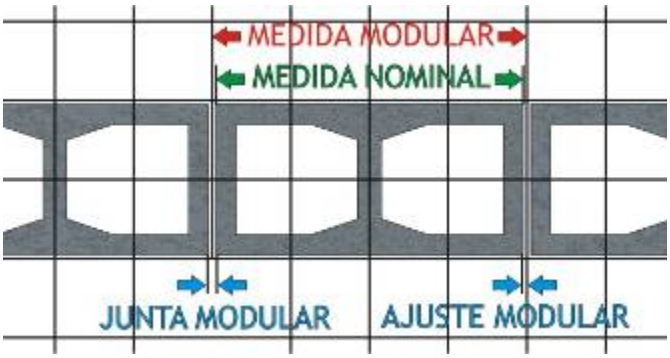


FIGURA 12 - RELAÇÃO ENTRE MEDIDA MODULAR E MEDIDA NOMINAL
FONTE: Greven e Baldauf (2007)

Portanto, a medida nominal é aquela determinada para o projeto ou produção de um componente, sendo sempre inferior à medida modular (LUCINI, 2001).

2.1.2.3 Sistema de ajustes e tolerâncias

A relação entre os componentes construtivos e o sistema de referência é estabelecida por meio do sistema de ajustes e tolerâncias (ou ajuste modular) (BALDAUF, 2004). Portanto, conforme Lucini (2001), o ajuste modular compreende a folga perimetral necessária ao componente para absorver as tolerâncias de fabricação e a sua colocação em obra, de modo a não interferir em outro elemento construtivo. Conforme a NBR 5706/1977, o ajuste modular é determinado pelo tipo de união, natureza e superfície dos elementos a unir, considerando as características intrínsecas do material utilizado para a junta e a necessidade de se obter o ajuste das medidas dos componentes da construção com o reticulado espacial modular de referência. A união estabelecida pelo ajuste modular é expressa pela fórmula:

Ajuste modular = mM – medida de nominal

Segundo a NBR 5706/1977, o ajuste modular pode ser de três tipos:

a) ajuste modular positivo: o ajuste modular é considerado positivo quando o componente construtivo não excede o espaço modular. Pode-se citar como exemplo o marco de portas e janelas.

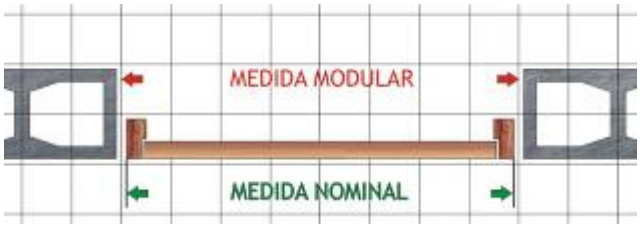


FIGURA 13 - AJUSTE MODULAR POSITIVO
FONTE: Greven e Baldauf (2007)

b) ajuste modular negativo: o ajuste modular é considerado negativo quando o componente construtivo excede o espaço modular. Por exemplo: painéis com encaixes por superposição.

FIGURA 14 - AJUSTE MODULAR NEGATIVO
FONTE: Greven e Baldauf (2007)

c) ajuste modular nulo: o ajuste modular é considerado nulo quando existe coincidência com o espaço modular. Podem-se citar como exemplo as placas de revestimento com ajuste topo a topo.

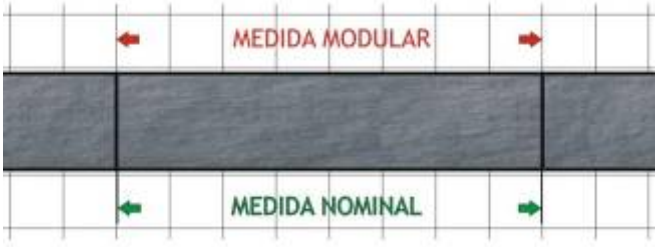


FIGURA 15 - AJUSTE MODULAR NULO
FONTE: Greven e Baldauf (2007)

2.1.2.4 Sistema de números preferenciais

O uso de um sistema modular de medidas realiza naturalmente uma seleção de medidas. No entanto, outros instrumentos de seleção são necessários a fim de otimizar o tipo e o número de formatos de cada componente de modo a reduzir as séries de produção ao mínimo indispensável para o atendimento às exigências de mercado e aos requisitos econômicos, sem a perder flexibilidade (BALDAUF, 2004).

Assim, a NBR 5726/1982 fixa um conjunto de medidas modulares preferíveis e preferidas. As medidas preferíveis referem-se ao conjunto de medidas modulares que, devido a suas propriedades matemáticas (fatorabilidade, combinabilidade e frequência de uso) foram escolhidas para compor a série modular. A série modular corresponde às séries aritméticas de razão 2 e 3, em função do multimódulo 2M e 3M. Portanto, a série modular de razão 2 é designada por: 2 – 4 – 6 – 8 – 10 – 12 – 14 – 16 e assim por diante e a série modular de razão 3 compreende: 3 – 6 – 9 – 12 – 15 – 18 – 21 e assim por diante. As medidas preferidas são aquelas selecionadas na série modular para serem aplicadas em casos específicos (NBR 5726/1982). Neste caso, Greven e Baldauf (2007) especificam que as medidas preferidas correspondem àqueles tamanhos que serão facilmente comercializados e utilizados, por exemplo, as dimensões 6M e 120M.

2.1.2.5 Zona neutra

Tendo em vista condições particulares de projeto, poderá ser conveniente o uso de zonas neutras. Segundo a NBR 5707/1982, as zonas neutras referem-se às zonas não modulares que separam reticulados modulares espaciais de referência devido a razões construtivas ou funcionais. Na zona neutra não há obediência da coordenação modular, podendo-se citar como exemplo as juntas de dilatação e exigências de projeto como partes não ortogonais entre si. Em relação às partes não ortogonais de projeto existirá uma faixa de sobreposição dos quadriculados modulares de referência (BALDAUF, 2004).

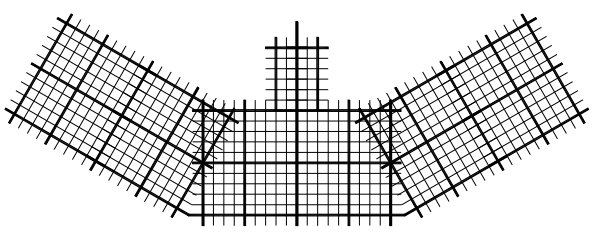


FIGURA 16 - SOBREPOSIÇÃO DOS QUADRICULADOS MODULARES DE REFERÊNCIA
FONTE: Greven e Baldauf (2007)

Segundo a NBR 5707/1982, o emprego da zona neutra deve ser reservado a casos de absoluta necessidade, pois, de acordo com Baldauf (2004), o uso generalizado poderia conduzir à anulação das reais vantagens do emprego de um único sistema de referência na elaboração de um projeto.

2.1.3 Normatização brasileira da coordenação modular para construção civil

O Brasil foi um dos pioneiros, em nível mundial, a aprovar uma norma de coordenação modular, denominada NB-25R, em 1950. Em seguida, nos anos de 1977 e 1982, foi publicado um conjunto de 26 normas técnicas brasileiras que versam sobre a coordenação modular, estando ainda em vigor (BALDAUF, 2004). Somente a norma NBR 5712/1982: Bloco vazado modular de concreto recebeu uma reformulação recente, sendo substituída pela NBR 6136: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - requisitos.

Ref.	*Título*
NBR5706	Coordenação modular da construção: procedimento
NBR5707	Posição dos componentes da construção em relação à quatrícula modular de referência: procedimento
NBR5708	Vãos modulares e seus fechamentos: procedimento
NBR5709	Multimódulos: procedimento
NBR5710	Alturas modulares de piso a piso, de compartimento e estrutural: procedimento
NBR5711	Tijolo modular de barro cozido: padronização
NBR6136	Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – requisitos
NBR5713	Altura modular de teto-piso (entre pavimentos consecutivos): procedimento
NBR5714	Painel modular vertical: procedimento
NBR5715	Local e instalação sanitária modular: procedimento
NBR5716	Componentes de cerâmica, de concreto ou de outro material utilizado em lajes mistas na construção coordenada modularmente: procedimento
NBR5717	Espaço modular para escadas: procedimento
NBR5718	Alvenaria modular: procedimento
NBR5719	Revestimentos: procedimento
NBR5720	Coberturas: procedimento
NBR5721	Divisória modular vertical interna: procedimento
NBR5722	Esquadrias modulares: procedimento
NBR5723	Forro modular horizontal de acabamento (placas, chapas ou similares): procedimento
NBR5724	Tacos modulares de madeira para assoalhos na construção coordenada modularmente: procedimento
NBR5725	Ajustes modulares e tolerâncias: procedimento
NBR5726	Série modular de medidas: procedimento
NBR5727	Equipamento para complemento da habitação na construção coordenada modularmente: procedimento
NBR5728	Detalhes modulares de esquadrias: procedimento
NBR5729	Princípios fundamentais para a elaboração de projetos coordenados modularmente: procedimento
NBR5730	Símbolos gráficos empregados na coordenação modular da construção: simbologia
NBR5731	Coordenação modular da construção: terminologia

QUADRO 1 - NORMAS BRASILEIRAS DE COORDENAÇÃO MODULAR

FONTE: Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (2006)

Apesar de constituirem uma referência normativa para projeto modular, de um modo geral, as normas brasileiras sobre coordenação modular apresentam-se incipientes, com conceitos e procedimentos vagos e pouca especificação para medidas dos componentes construtivos. O pouco conteúdo observa-se pela quantidade de páginas, sendo geralmente, de uma a três páginas. Além disso, nem todos os componentes e processos construtivos mencionados abordam aspectos dimensionais, que são elementos chaves para a obtenção da coordenação modular. A seguir é apresentada uma análise crítica do conteúdo das normas brasileiras de coordenação modular.

2.1.3.1 NBR 5706/1977 – coordenação modular da construção: procedimento

Esta norma apresenta apenas definições sendo que muitos conceitos são repetidos da *NBR 5731/1982 – Terminologia* e não apresenta procedimentos consistentes para um projeto modular. Restringe-se apenas a estabelecer certas condições gerais, como o que é medida modular (mM = n.M) e o que é ajuste modular (ajuste modular = mM – medida de projeto) e algumas recomendações em casos de não existirem componentes modulares, buscar a modulação através de conjuntos de elementos que possuam medidas modulares.

2.1.3.2 Componentes construtivos com especificação de medidas

Apenas as normas de coordenação modular que versam sobre tijolos de barro cozido, blocos de concreto e tacos de madeira apresentam alguma especificação quanto às dimensões para os componentes construtivos, conforme pode ser analisado a seguir:

a) NBR 5711/1982 – Tijolo modular de barro cozido: esta norma estabelece a padronização dimensional para tijolos modulares furados ou maciços de barro cozido. Para os tijolos furados de barro cozido são especificadas as seguintes dimensões:

Comp (cm)	Larg. (cm)	Alt. (cm)
20	10	10
20	10	20
30	10	20

QUADRO 2 - MEDIDA MODULAR: TIJOLOS FURADOS

FONTE: NBR - 5711/1982

Comp (cm)	Larg. (cm)	Alt. (cm)
19	9	9
19	9	19
29	9	19

QUADRO 3 - MEDIDA DE PROJETO: TIJOLOS FURADOS

Quanto aos tijolos maciços de barro cozido, esta norma preconiza as seguintes medidas:

Comp (cm)	Larg. (cm)	Alt. (cm)
20	10	8
10	10	8

QUADRO 4 - MEDIDA MODULAR TIJOLOS MACIÇOS

FONTE: NBR - 5711/1982

Comp (cm)	Larg. (cm)	Alt. (cm)
19	9	7
9	9	7

QUADRO 5 - MEDIDA DE PROJETO TIJOLOS MACIÇOS

NOTA: A altura só preenche o espaço modular a cada cinco fiadas

a) NBR 6136/2006 – blocos vazados de concreto simples para alvenaria: requisitos: esta norma estabelece a padronização dimensional para blocos vazados de concreto modulares e sub-modulares, de modo a especificar as seguintes famílias de blocos: M-20; M-15; M-12,5; M-10; M7,5.

Famílias de blocos											
Designação	Nominal	20	15		12,5			10			7,5
	Módulo	M- 20	M-15		M – 12,5			M - 10			M-7,5
	Amarração	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/3	1/2	1/2	1/3	1/2
	Linha	20x40	15x40	15x30	12,5x40	12,5x25	12,5x37,5	10x40	10x30	10x30	7,5x40
Largura (mm)		190	140	140	115	115	115	90	90	90	65
Altura (mm)		190	190	190	190	190	190	190	190	190	190
Comprimento (mm)	Inteiro	390	390	290	390	240	365	390	190	290	390
	Meio	190	190	140	190	115	-	190	90	-	190
	2/3	-	-	-	-	-	240	-	-	190	-
	1/3	-	-	-	-	-	115	-	-	90	-
	Amarração L	-	340	-	-	-	-	-	-	-	-
	Amarração T	-	540	440	-	365	365	-	290	290	-
	Compensador A	90	90	-	90	-	-	90	-	-	90
	Compensador B	40	40	-	40	-	-	40	-	-	40
NOTA: As tolerâncias permitidas nas dimensões dos blocos indicados na tabela são de ±2,0 mm para largura e ±3,0 mm para altura e para comprimento. Os componentes das famílias de blocos de concreto têm sua modulação determinada de acordo com as ABNT NBR 5706 e ABNT NBR 5726.											

QUADRO 6 - DIMENSÕES REAIS DOS BLOCOS VAZADOS DE CONCRETO, MODULARES E SUB-MODULARES

FONTE: NBR 6136/2006

b) NBR 5724/1982 – Tacos modulares de madeira para soalhos na construção coordenada modularmente: segundo esta norma, as medidas de projeto para os tacos modulares de madeira para soalhos devem ser: 10 cm de largura por 10, 20 ou 30 cm de comprimento.

2.1.3.3 Componentes construtivos sem especificação de medidas

Com exceção das normas de coordenação modular que versam sobre tijolos de barro cozido, blocos de concreto e tacos de madeira, as demais normas que tratam de componentes construtivos modulares não mencionam as dimensões nominais dos elementos para projeto modular, o que implica no caos dimensional que a construção civil encontra-se. Para esses componentes, a norma especifica apenas que a dimensão deve ser modular, porém, não orienta qual a dimensão nominal do componente. Essa situação também acontece para as recomendações da norma de coordenação modular para construção, orientando apenas que as medidas construtivas devem ser modulares.

As normas que recomendam apenas que os componentes ou medidas devem ser modulares e não especifica as medidas nominais são as seguintes: *NBR 5708/1982 – vãos modulares e seus fechamentos; NBR 5710/1982 – alturas modulares de piso a piso, de compartimento e estrutural; NBR 5713/1982 – altura modular de teto-piso; NBR 5714/1982 – painel modular vertical; NBR 5716/1982 – componentes de cerâmica, de concreto ou de outro material utilizado em lajes mistas na construção coordenada modularmente; NBR 5717/1982 – espaço modular para escadas; NBR 5718/1982- alvenaria modular; NBR 5719/1982 – revestimentos; NBR 5720/1982 – coberturas; NBR 5721/1982 – divisória modular vertical interna; NBR 5722/1982 – esquadrias modulares; NBR 5723/1982 – forro modular horizontal de acabamento (placas, chapas ou similares).*

A maioria dessas normas de coordenação modular apenas recomenda que as medidas de componentes ou medidas entre eixos ou espaços construtivos devem ser modulares, considerando necessidades funcionais, o material, fabricação, projeto e formas de aplicação. No máximo, como se observa na *NBR 5714/1982 – painel modular vertical* consta nas condições gerais a recomendação de medidas horizontais preferidas, que para este caso consiste nas médias de 6M, 7M e 8M, empregadas individualmente, em múltiplos ou combinados entre si. No entanto, apesar de um pouco mais específica, a informação continua vaga.

Lucini (2001) elaborou um Manual Técnico de Modulação de Vãos de Esquadrias no qual estabelece uma relação dimensional entre vãos e esquadrias,

incluindo informações a respeito das dimensões modulares, nominais e juntas. Este tipo de informação deveria constar nas normas de coordenação modular que versam tanto a respeito dos componentes como dos sistemas construtivos. Isto iria contribuir para a adequação da cadeia produtiva aos conceitos de coordenação modular e auxiliaria os órgãos de fiscalização quanto ao comprimento das exigências normativas a respeito.

Vão modular	***Vão vedação***	***Dimensão modular esquadria***	***Dimensão nominal esquadria***	***Junta nominal total***	***Junta nominal perimetral***
80 x 80	81 x 81	80 x 80	75 x 75	6,0	3,0
90 x 220	91 x 121	90 x 220	85 x 215	6,0	3,0
100 x 120	101 x 121	100 x 120	95 x 115	6,0	3,0
120 x 120	121 x 121	120 x 120	115 x 115	6,0	3,0
150 x 220	151 x 221	150 x 220	145 x 215	6,0	3,0

QUADRO 7 - RELAÇÃO DIMENSIONAL DE VÃOS E ESQUADRIAS
FONTE: Lucini (2001)

2.1.3.4 Discussão sobre a análise das normas de coordenação modular

Diante dessa falta de especificação das próprias normas de coordenação modular, o projetista ou fabricante de materiais da construção civil permanece sem parâmetros para obedecer aos princípios da coordenação modular. Da mesma forma, os órgãos e instrumentos de fiscalização também permanecem sem uma orientação específica para exigir o cumprimento das normas de coordenação modular, já que estas se apresentam vagas e incompletas.

Sugere-se uma reformulação de todas as normas referentes à coordenação modular e um estudo mais apurado sobre cada componente construtivo. Deste modo, estabelecer medidas nominais e modulares que atendam tanto as características estruturais dos componentes (no caso de vigas e lajes) como as medidas preferidas de mercado, particularmente para revestimentos cerâmicos e esquadrias.

Na reformulação das normas de coordenação modular seria ideal que cada componente ou sistema construtivo especificasse a sua medida modular, medida nominal e folga construtiva. Isso contribuiria para que os fabricantes e projetistas da construção civil se enquadrassem aos princípios da coordenação modular e consequentemente elevasse o setor da construção a uma maior racionalização. Da mesma maneira uma melhor especificação para materiais e sistemas construtivos ajudaria os órgãos e mecanismos de controle a atuar de forma mais apurada na fiscalização e na busca de maior qualidade na construção civil.

No entanto, além da padronização dimensional, que deveria estar evidente nas normas de coordenação modular, para a efetividade da coordenação modular é necessário considerar a conectividade entre subsistemas e componentes construtivos, de modo a permitir o fácil acoplamento entre elementos através de simples operações de montagem. Esses aspectos serão apresentados a seguir.

2.1.4 Conectividade e Interações

Em um sistema modular a conectividade é garantida através da padronização das interfaces e interações de modo a atingir a intercambialidade e criação de variedade através de combinações. Dessa forma, os módulos somente podem ser intercambiáveis se possuirem interfaces e interações compatíveis. A compatibilidade é assegurada por meio da determinação de um sistema comum de interfaces e interações padronizadas. Interfaces são designadas como os limites físicos dos módulos e as interações representam relações de entrada e saída entre os módulos (MILLER e ELGARD, 1998).

Em relação às interfaces e interações, elas podem ser consideradas como internas ou externas. As interfaces e interações internas se referem aos encaixes entre componentes de um módulo e as interfaces e interações externas se referem aos encaixes entre módulos (PELEGRINI, 2005).

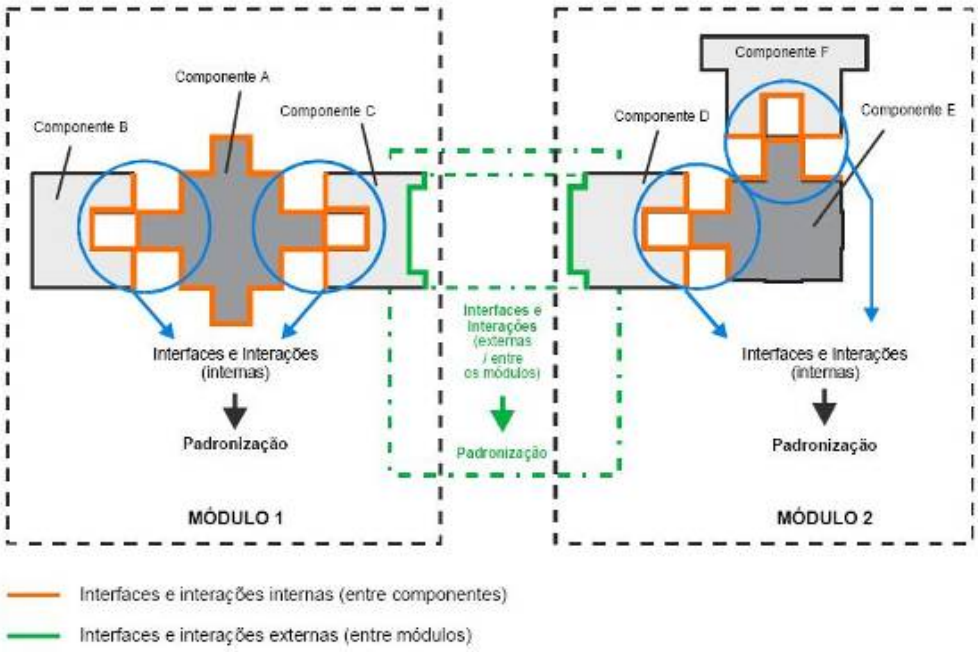
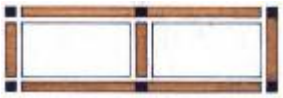


FIGURA 17- INTERFACE E INTERAÇÕES ENTRE MÓDULOS E COMPONENTES
FONTE: Pelegrini (2005)

A conectividade é um requisito importante para obras modulares, pois é necessário prever a montagem dos componentes no terreno da construção. Baseado nessa premissa, Richard (2007) apresenta três categorias de sistemas modulares de construção: Sistema de KITS com foco no canteiro; Módulos industriais 3D e o Sistema Híbrido, que serão detalhados a seguir.

2.1.4.1 Sistema de KITS com foco no canteiro

Neste sistema construtivo todos os subsistemas, incluindo a estrutura, são produzidos industrialmente e transportados ao canteiro de obras em partes separadas, o que significa uma intensa operação de montagem no local da obra. Os quatro tipos de sistema desta categoria são distintos pela geometria da estrutura, que determina o processo de montagem no canteiro. Devido à existência de juntas secas, todos esses sistemas podem ser realocados e desmontados, de modo a contribuir tanto para a flexibilidade da construção, como para a sustentabilidade ambiental (RICHARD, 2007).

I – Sistema de KITS com foco no canteiro	***Descrição***	***Sub-divisões***
 A – Pilar e Viga	Esqueleto aberto para vedação horizontal e vertical.	Segmentos; pilar e viga contínua
B – Laje e Pilar	Elementos horizontais contínuos.	Lajes planas e nervuradas.
C - Painéis	Componentes planos para distribuição linear de cargas.	Painéis de concreto armado e protendido
D – Juntas integradas	Componente monolítico com juntas excêntricas.	Painéis e placas

QUADRO 8 - SISTEMA KITS COM FOCO NO CANTEIRO

FONTE: Richard (2007)

O sistema “Pilar e Viga” (A) apresenta a vantagem de permitir adaptabilidade em três direções, no entanto possui o maior número, dentro desta categoria, de conexões e vedações. O sistema “Laje e Pilar” (B) pemite a integração horizontal da estrutura e adaptabilidade em duas direções. Neste sistema é possível incorporar as instalações nas lajes estruturais. No entanto, existe a limitação quanto à existência de conflito entre as cargas distribuidas das lajes e a concentração existente nos encontros com pilares. O sistema de Painéis (C) possui a vantagem de integrar as funções de isolamento térmico e acústico, porém a adaptabilidade é limitada pela estrutura. O sistema de Juntas Integradas (D) diz respeito a um componente monolítico capaz de simplificar as operações de conexões através da existência de juntas excêntricas. Este sistema possui a vantagem de acelerar o processo de montagem e reduzir requisitos estruturais, pois considera momentos positivos e negativos. No entanto, a adaptabilidade é condicionada pela geometria da estrutura do sistema (RICHARD, 2007).

2.1.4.2 Sistema de módulos industriais 3D

No sistema de módulos industriais 3D, todos os espaços e componentes da edificação são totalmente produzidos e montados na fábrica, como módulos 3D, demandando apenas simples conexões, realizados no canteiro, entre a fundação, entre os módulos e entre as instalações necessárias. No entanto, a adoção deste sistema demanda um alto capital de investimento, além disso, a adaptabilidade é restringida pela geometria da caixa e pela sua configuração, pois atua como um elemento estrutural (RICHARD, 2007).

II – Módulos industriais 3D	***Descrição***	***Sub-divisões***
E – Módulos dependentes	Módulos pequenos fáceis de transportar, oferecendo uma parte da edificação	Por adição; compactação
F - Caixa	Unidade autônoma completamente produzida na fábrica	Painéis; Monolítico.

QUADRO 9 - SISTEMA DE MÓDULOS INDUSTRIAIS 3D

FONTE: Richard (2007)

O sistema de Módulos Dependentes (E) refere-se a pequenos módulos incompletos a fim de serem concluídos na obra, porém apresentam a facilidade de transporte. No entanto, esse sistema demanda uma equipe treinada para completar a execução no local da obra. Esse aspecto deve ser bem gerenciado, pois em alguns casos, isto pode acarretar um custo maior do que a economia no transporte. O sistema modular em caixa (F), refere-se a uma unidade 3D completamente produzida em fábrica. A principal vantagem deste sistema construtivo diz respeito à máxima produção industrial. Isto significa controle dos efeitos climáticos, uso de ferramentas sofisticadas, precisão e controle da qualidade, racionalização através de uma única esteira de montagem e grande volume de compras de componentes. Consequentemente, este sistema de caixa 3D demanda mínimo trabalho no local da obra. No entanto, é necessário um alto capital de investimento, além de continuidade de demanda a fim de obter a amortização. Neste sistema, também se torna importante a consideração dos custos de transporte (RICHARD, 2007).

2.1.4.3 Sistema Híbrido

O sistema Híbrido corresponde à mistura de características dos dois sistemas modulares descritos anteriormente (RICHARD, 2007).

III – Sistema Híbrido	***Descrição***	***Sub-divisões***
 G – Instalações agregadas	As instalações são agregadas no módulo dentro das fábricas.	Linear
 H - Megaestrutura	Estrutura para “empilhar caixas”.	01 pavimento; 02 pavimentos; 03 pavimentos; 04 pavimentos.
 I – Mecanização no canteiro	Levar a fábrica e suas ferramentas ao canteiro, conforme a execução.	Fábrica móvel; Fábrica in loco, Formas mecanizadas

QUADRO 10 - SISTEMA HÍBRIDO

FONTE: Richard (2007)

O sistema de módulos com instalações agregadas (G) corresponde ao módulo com capacidade estrutural e com instalações embutidas. Dentre as vantagens deste sistema modular, podem ser descritas: produção manufaturada justificada pela concentração de serviços complexos e uso de equipamento; facilidade de transporte, uma vez que os módulos são compactos, e simplicidade nas operações de montagem, pois os módulos permitem a conexão com outros subsistemas. Esse sistema modular consiste em pequenos núcleos, totalmente produzidos industrialmente, correspondendo a caixas com valor agregado através da incorporação de instalações e equipamentos. Isto contribui para o transporte, pois elimina o transporte de caixas vazias, que usualmente ocorre nos sistemas modulares em geral (RICHARD, 2007).

O sistema de Megaestrutura (H) corresponde a uma estrutura própria para “empilhar caixas” de modo a atingir vários pavimentos. Esse sistema apresenta a

vantagem de atingir grandes densidades através do acúmulo de módulos de metais leves. No entanto, o peso dos módulos e dos painéis torna-se cargas para a estrutura, exigindo custos adicionais devido a essa redundância de carga estrutural. Além disso, apesar da estrutura deste sistema permitir diferentes tipos de módulos, as operações de conexão podem tornar-se complexas (RICHARD, 2007).

O sistema de Mecanização no canteiro (I) tem como objetivo trazer o máximo da industrialização para o canteiro de obras. Esse sistema possui a vantagem de permitir uma produção lógica de componentes pesados no próprio local da obra, de modo a dispensar o transporte de módulos construtivos (RICHARD, 2007).

2.1.4.4 Discussão

Esses sistemas de edificações modulares correspondem a uma paleta de opções, permitindo a tomada de decisão conforme os objetivos do projeto e seus requisitos funcionais. Dessa forma, o empreendedor poderá escolher a melhor opção de acordo com recursos financeiros e de materiais, mão de obra e equipamentos disponíveis. Além disso, a seleção do sistema construtivo é uma operação estratégica, que demanda a consideração de aspectos como: seleção dos critérios de performance, de modo a atingir os objetivos e características arquitetônicas do projeto; disponibilidade de tecnologias de construção e avaliação dos benefícios de todos os sistemas (RICHARD, 2007).

A consideração de sistemas industrializados oferece oportunidades crescentes de adaptabilidade a mudanças através da consideração de componentes manufaturados, pois possuem juntas precisas. Dessa maneira torna-se possível atender a constante necessidade de mudanças nos edifícios. Essas mudanças ocorrem tanto devido à evolução na sociedade quanto devido à evolução tecnológica e geralmente implicam na obsolescência dos edifícios (RICHARD, 2007). Além disso, a maioria dos componentes e sistemas industrializados é projetada de modo a facilitar processos de desmontagem para reparo e manutenção, além de permitir reuso dos componentes. Isto favorece a agenda de sustentabilidade e também

contribui para a formação de sistemas Industrializados, Flexíveis e Desmontáveis-IFD (QUAH; VAN DEN BRAND e DI GIULIO, 2004).

Portanto, um sistema composto de partes intercambiáveis é considerado um sistema aberto (*Open Building System*). Um sistema baseado nos conceitos de *Open Building* permite a troca de partes e componentes, incluindo subsistemas. Assim, um sistema *Open Building* oferece oportunidades de escolhas tanto para o usuário final, como para os fabricantes de componentes. No entanto, para atingir a intercambialidade, a produção de componentes deve atender certos requisitos de qualidade, como: critério de performance, coordenação modular e compatibilidade de interfaces (RICHARD, 2007).

2.1.4.5 *Open Building System*

O conceito de *Open Building System* é baseado na identificação do conflito existente entre a inércia da edificação e o constante fluxo de demanda dos usuários. Portanto, este conceito trata principalmente do cuidado e da responsabilidade dos moradores com a edificação, de maneira a propiciar um ambiente melhor e mais seguro para viver. Assim, o sistema *Open Building* recomenda a distinção de níveis de decisão através do desacoplamento das partes do edifício em diferentes ciclos de vida, sendo controlado por diferentes partes e construído por diferentes agentes. Para atingir este objetivo, é necessário atender regras dimensionais e o posicionamento e especificação de interfaces dos componentes. O projeto de edificação que considera sistemas independentes favorece condições de responsabilidade e cuidado com o ambiente contruído. Assim, as sub-divisões do processo de edificação deverão refletir em tomadas de decisões e em definições de responsabilidades entre as partes. Essa sub-divisão é então traduzida em especificações de conexões entre as partes do sistema edificação. A abordagem de distintos níveis de decisões orienta soluções ao problema de lidar com mudanças sobre um futuro desconhecido. Assim, o termo *Open Building* é um conceito multifacetado que abrange soluções técnicas, organizacionais e financeiras para um ambiente construído possível de ser adaptado às mudanças necessárias. Este

conceito oferece suporte para a participação do usuário, industrialização e para a reestruturação do processo de construção. Em relação aos níveis de decisão, foram estabelecidos três tipos: malha urbana, implantação e compartimentação, que apesar de serem independentes, são coordenados. O nível malha urbana é superior à edificação, de modo que os edifícios podem sofrem alterações sem prejudicar a malha urbana. A edificação pode ser organizada no nível “implantação” e “compartimentação”. Em cada nível existe um agente responsável, por exemplo, o morador pertence ao nível de compartimentação, o empreendedor pertence ao nível implantação e a prefeitura pertence ao nível malha urbana (CUPERUS, 2001).

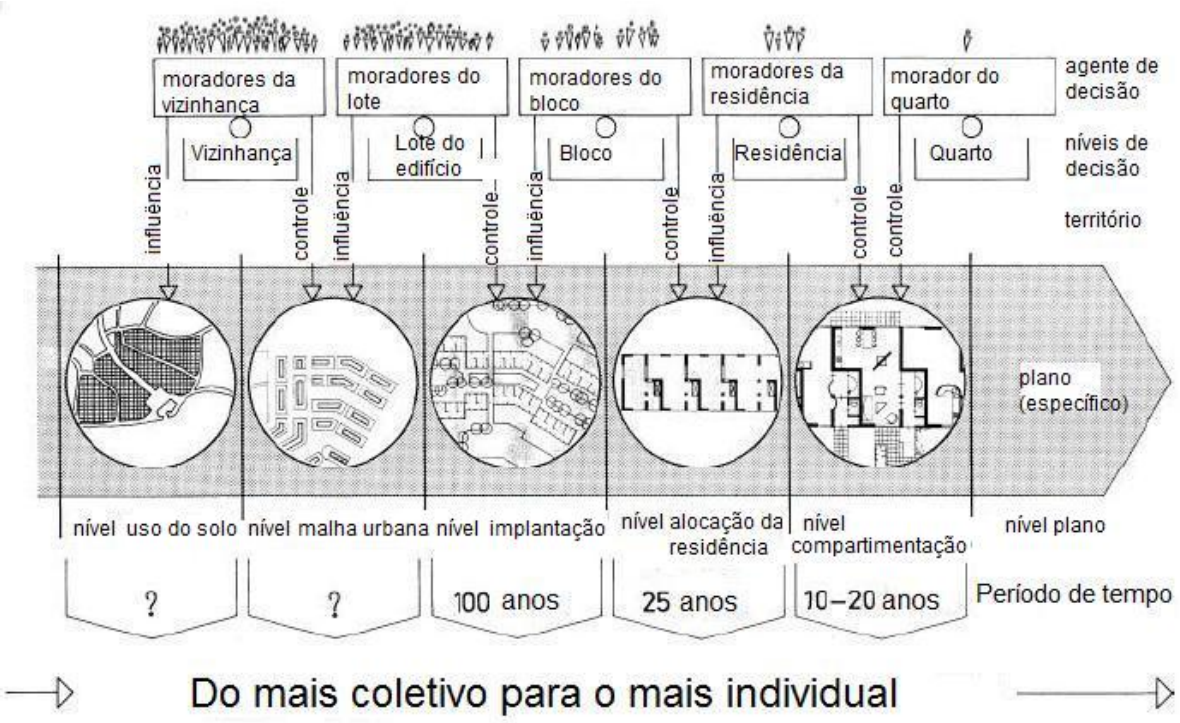


FIGURA 18 - DIAGRAMA DOS PRINCIPAIS NÍVEIS DE DECISÃO
FONTE: Adaptada de Cuperus (2001)

Além da consideração dos níveis de decisão, o processo de edificação é também dividido em linhas de disciplinas e contratantes na construção. Isto envolve a coordenação e gerenciamento de contratos. A edificação também é subdividida em subsistemas técnicos, tais como: fachada, telhado, carregamento de cargas, partes internas e instalações (CUPERUS, 2001).

Portanto, cada subsistema é considerado como uma entidade independente, com diferentes ciclos de vida, a fim de construir um ambiente que responde às necessidades individuais de cada morador. Assim, o conceito de *Open Building* oferece uma base para um processo de edificação bem estruturado, com interfaces bem definidas. Este conceito favorece condições para a reutilização de partes do edifício, de modo à estender seu ciclo de vida e contribuir para a redução de desperdícios na construção. Assim, passa-se a utilizar, ao invés de energia, regras de coordenação dimensional e uso da informação (CUPERUS, 2001).

2.1.5 Experiências nacionais em construções modulares

No Brasil, as construções são predominantemente executadas em alvenaria. Ao longo de toda a história da formação das cidades brasileiras, os processos construtivos em alvenaria estão presentes. Esta solução construtiva tem se apresentado tanto para produção de edifícios quanto para a produção de sistemas de infra-estrutura urbana como contenções, pontes, arquedutos, galerias de obras pluviais, obras portuárias entre outros. Em relação ao processo e materiais empregados, é possível encontrar alvenaria assumindo funções estruturais ou apenas cumprindo o papel de vedação no preenchimento de vãos estruturais, de modo aparente ou revestido, constituídos por materiais de natureza diversa, processados de forma artesanal ou com alto grau de incorporação tecnológica, cuidadosamente executadas por mestres do ofício ou displecentemente entregues à mão de obra desqualificada como um serviço de menor importância (SILVA, 2003).

Portanto, a respeito das construções modulares, o exemplo que mais se destaca no Brasil são aqueles executados em blocos de concreto, devido à forte influência cultural da alvenaria. Conforme Mamede (2001), quando o processo construtivo é em alvenaria estrutural, a coordenação modular torna-se etapa imprescindível no projeto. De acordo com a autora, os cuidados com relação à modulação devem ser tomados a fim de garantir a racionalização da construção, além de permitir alto nível de produtividade e reduzir quantidade de ajustes e quebras de blocos. Outro exemplo de construção modular encontrado no país é a

abordagem com kits sistêmicos com módulos funcionais. Neste modelo, a obra é compreendida como um conjunto de sistemas articulados com objetivo de aumentar a produtividade e facilitar a gestão.

Neste tópico serão apresentados exemplos de construções modulares encontrados no cenário nacional. Os exemplos citados serão as construções baseadas em alvenaria de blocos de concreto por serem as mais difundidas e a abordagem com kits sistêmicos de construção.

2.1.5.1 Alvenaria de Blocos de Concreto

A alvenaria estrutural de blocos de concreto pode ser definida como um sistema construtivo racionalizado, capaz de reduzir consideravelmente a mão de obra empregada, os tempos de execução e, conseqüentemente, os custos finais da construção, se comparando com o sistema tradicional em concreto armado. Caracteriza-se por ser um sistema construtivo concebido de acordo com os princípios da construtibilidade. Assim, os projetos devem possuir um detalhamento que prescinda da experiência do mestre de obra para interpretá-los. As soluções para problemas específicos, na medida do possível, devem estar detalhadas a fim de se evitar improvisações, cujos resultados nem sempre são adequados, uma vez que resultam em maior consumo de tempo e, consequentemente, diminuem a produtividade de execução da obra. Uma das premissas principais em projeto de alvenaria estrutural é de que exista uma compatibilização entre os projetos arquitetônico, estrutural, elétrico, hidro-sanitário e preventivo de incêndio para a definição dos projetos executivos (PRUDÊNCIO JR, OLIVEIRA e BEDIN, 2002).

O processo construtivo em alvenaria estrutural foi introduzido no Brasil na década de 60 e nos anos posteriores consolidou-se devido à evolução técnica e o desenvolvimento das normas brasileiras (MAMEDE, 2001).

FIGURA 19 - VISTA SUPERIOR DE UM EDIFÍCIO EM ALVENARIA ESTRUTURAL
FONTE: Mamede (2001)

Conforme Mamede (2001), o processo de modulação em alvenaria estrutural inicia-se com a escolha das dimensões do bloco. Assim, neste sistema construtivo a modulação é atingida através do exato posicionamento dos blocos, considerando as folgas construtivas necessárias para as juntas. Lucini (2001) reforça essa situação, indicando que os sistemas de alvenaria, tanto de vedação como estrutural, baseiam-se na combinação de blocos básicos, observando-se a restrição ao máximo quanto ao uso de blocos especiais, além de atender a exigência de garantir um dimensionamento modular de ambientes, vãos técnicos e vãos de esquadrias a partir das dimensões dos próprios blocos. Portanto, conforme Prudêncio Jr, Oliveira e Bedin (2002), a alvenaria modular de blocos de concreto ou cerâmica modular, possui um caráter executivo, pois nesse tipo de projeto, é necessário que os desenhos retratem fielmente cada parede da edificação, incluindo o posicionamento individual de cada bloco, além dos reforços estruturais, tubulações e pontos de instalações.

2.1.5.2 Construção Modular com Sistema de KITS

Neste contexto a obra é percebida como um conjunto de sistemas articulados e não apenas um canteiro de serviço de transformação de materiais básicos. Desta forma é possível simplificar a gestão, além de permitir novas formas de produção, com maior produtividade e qualidade. O fornecimento de kits sistêmicos contribui para a redução da informalidade, uma vez que diminui o processamento no canteiro e amplia o mercado; reduz custos e prazos, pois gera maior produtividade; melhorar a qualidade geral das habitações e contribui para a redução de resíduos, pois diminui perdas e facilita a reciclagem (AMORIM, 2006).

A abordagem sistêmica otimiza o processo de construção através da adoção de conceitos de produção modular. Assim, cada sistema é associado a uma especialidade e, se for necessário, a um responsável. Como conseqüência dessa abordagem sistêmica surgem novas formas de contratação. Para o contratante a construção sistêmica facilita a licitação e, posteriormente, o acompanhamento da obra, as medições e o gerenciamento como um todo. Para os construtores essa abordagem facilita a montagem das propostas para licitações de gestão de obras e, em caso de litígio, determina melhor eventuais responsabilidades regressas. Outra vantagem é que, como reduz os prazos, melhora a rentabilidade. Finalmente, para o fornecedor ou empreiteiro a construção sistêmica amplia seu campo de atuação, tendo assim maior participação na obra. A divisão sistêmica pode variar conforme a conveniência técnica de cada obra, combinando de modo diferenciado seus componentes. Portanto, esta composição deve refletir as especialidades técnicas envolvidas, além de respeitar a facilidade de execução. Para obras que contemplam tecnologias simples, a construção é usualmente dividida em subsistemas como: fundação, vedação, esquadrias, cobertura, hidráulica, elétrica e acabamentos (AMORIM, 2006).

A coordenação sistêmica deve ser considerada desde o projeto. A fim de viabilizar esta estratégia, é necessário adotar os princípios de coordenação modular entre os componentes, de maneira que sejam respeitadas as características dimensionais. Além disso, torna-se também necessário a determinação das interfaces, de modo que os pontos de interseção ou contatos entre sistemas devem

ser predefinidos. A contratação das obras também deverá refletir a visão sistêmica, mesmo em casos de contratos globais. Assim, o controle por sistemas e módulos simplifica a descrição em editais e, durante as obras, facilita as medições. Esta prática de fornecimento de kits sistêmicos foi implantada em uma obra da COHAB de Ribeirão Preto/SP e permitiu que construções originalmente definidas como mutirão fossem realizadas quase integralmente por empresas contratadas, respeitando o custo geral previsto para o empreendimento (AMORIM, 2006).

FIGURA 20 - CASA MODULADA EM RIBEIRÃO PRETO/SP
FONTE: Amorim (2006)

2.1.6 Experiências internacionais em construções modulares

Neste tópico serão apresentados exemplos de construções modulares em diversos países internacionais, abrangendo aspectos de composição arquitetônica, materiais empregados, sistema de produção e serviços oferecidos. Assim, serão mostrados sistemas construtivos de países como: Inglaterra, Japão, Suécia e Holanda. Nesses países, a construção modular emprega processos construtivos baseados na manufatura, componentes pré-fabricados e gerenciamento da produção com foco no cliente. Em menor ou maior grau, os sistemas construtivos apresentados atendem as seguintes características, conforme Oostra e Claeson-Jonsson (2007):

a) foco no cliente: significa produção de residências conforme necessidades e desejos dos clientes;
b) gerenciamento da cadeia de suprimentos: adverte que a produção e logistica devem ser otimizada, além de estar preparada para escolhas dos clientes;
c) relacionamento de longo termo entre parceiros: a busca por um relacionamento deste tipo facilita o processo de aprendizado entre parceiros e permite o crescimento por meio das lições aprendidas. Para garantir a continuidade desse relacionamento, a padronização dos processos torna-se necessária.
d) planejamento e controle dos processos: diz respeito aos processos de pré-engenharia e se estes são facilmente controlados em relação ao tempo de entrega, qualidade e uso dos recursos;
e) medição de desempenho sistemática e re-uso da experiência: verifica se toda a cadeia de produção aprende a partir de sua experiência e consegue tirar conclusões a respeito dos benefícios da repetição e possibilidades de padronização.
f) componente pré-fabricado: refere-se aos componentes produzidos nas fábricas e adverte que o canteiro de obras geralmente não fornece as melhores condições para construir com qualidade, além de não contribuir para uma logística otimizada.
g) desenvolvimento de sistemas técnicos: diz respeito a inteligência do arranjo dos componentes em relação à produção, logística, montagem, manutenção e questões ambientais.
h) uso da tecnologia da informação e comunicação: refere-se ao uso da tecnologia tanto por clientes, de modo a facilitar o processo de escolhas, como por parceiros na cadeia de produção e durante os próprios processos de produção.

2.1.6.1 Inglaterra: *Corus Living Solutions – Modular Building System*

Corus Living Solution é um sistema construtivo criado em 2003 com objetivo de projetar, contruir e entregar módulos metálicos completos. A estrutura dos módulos oferece diversas opções para revestimentos como: blocos, rebocos, painéis compostos, madeira, entre outros. Os módulos também permitem escolhas em relação aos componentes construtivos como: opção de telhados inclinados de madeira ou metálicos; coberturas planas; poço de elevador; escadas e sacadas. A estrutura básica dos módulos do *Corus Living Solutions* é composta de modo a oferecer isolamento térmico e acústico, eficiência energética, durabilidade e resistência ao fogo (CORUS LIVING SOLUTIONS, 2005).

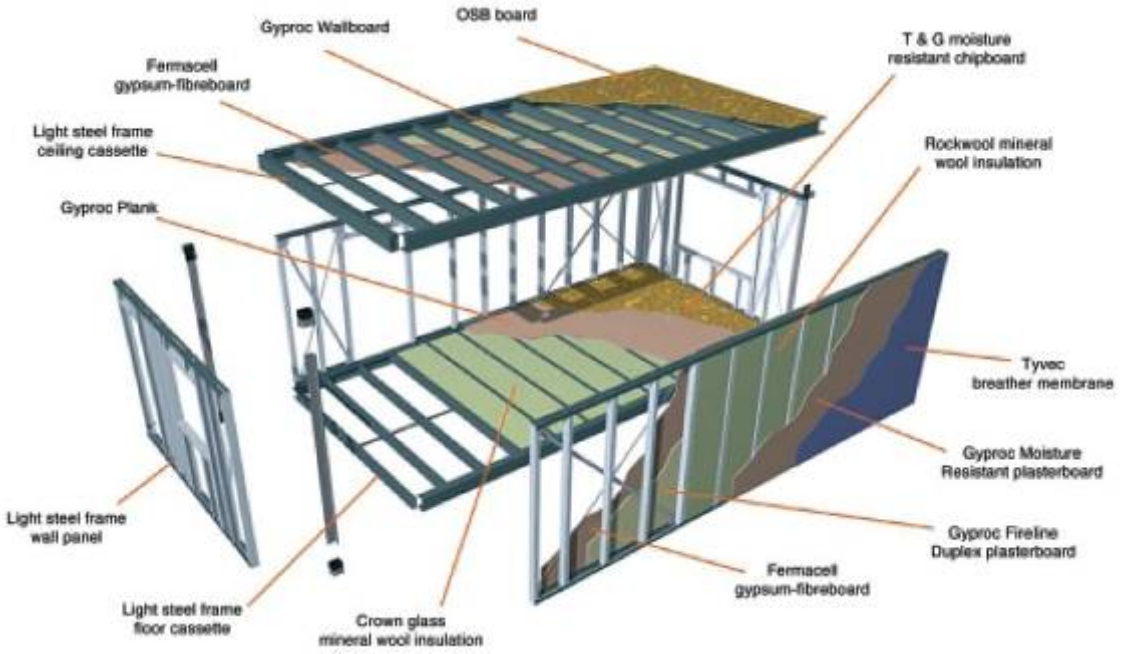


FIGURA 21 - ESTRUTURA BÁSICA DE CÔMODOS PRÉ-FABRICADOS
FONTE: Corus Living Solutions (2005)

O sistema *Corus Living Solutions* é baseado nos princípios da manufatura para a construção civil, sendo então essencial a pré-engenharia e produção de cômodos padronizados. Essa abordagem mostrou-se ideal para construções repetitivas, como os hotéis, por exemplo. Em relação à organização da produção, trabalha-se com um fornecedor até encontrar outro que forneça melhores soluções. Além disso, buscam-se modelos de cooperação passíveis de propor benefícios para ambas as partes, de modo que um fornecedor apenas irá investir em novos produtos caso resulte em vendas. Esse sistema construtivo não abrange contato direto com o usuário final. A estratégia adotada é baseada na escolha de um nicho, no qual se busca compreender as necessidades do usuário a fim de criar um argumento de vendas. Por exemplo, um segmento são residências para soldados, que possuem a necessidade de encostar um riffle na parede sem causar danos. Assim, um único ponto de vendas pode ser criado baseando-se nas necessidades e desejos reais dos clientes (OOSTRA e CLAESON-JONSSON 2007).

2.1.6.2 Japão: *Sekisui Home*

Os sistemas construtivos *Sekisui* oferecem três tipos diferentes de construção: um básico, um sistema construtivo em metal e um sistema construtivo em madeira. Esses sistemas podem ser utilizados para a construção de três diferentes categorias de edifícios: residências, condomínios e apartamentos. Para o segmento de edifícios residenciais, o sistema *Sekisui* oferece uma diversidade de opções ao cliente, como: tipos de residências, estilos de projeto para interiores e projetos de paisagismo. Outras opções extras também são disponibilizadas aos usuários, como: sistema *home-theather*, sistema para diminuir os efeitos de um possível terremoto, instalações para animais domésticos e todos os tipos de adaptações para diferentes grupos de pessoas com necessidades diferentes (e. g. crianças, adolescentes, idosos, grávidas e deficientes físicos) (OOSTRA e CLAESON-JONSSON 2007).

FIGURA 22 - OPÇÕES PARA DIFERENTES NECESSIDADES
FONTE: Oostra e Claeson-Jonsson (2007)

A cada residência vendida é concedido dez anos de garantia. O sistema *Sekisui* oferece um Centro de Serviço ao Cliente que regularmente vistoria as residências a fim de realizar um inventário das necessidades de manutenção, que incluem serviços de jardinagem, além de desejos de remodelagem. Em seguida é apresentada uma proposta com base no estado atual de manutenção da residência. O serviço de vistoria é isento de taxas (OOSTRA e CLAESON-JONSSON 2007).

O prazo de término para construção da residência é de 63 dias. Deste período, duas semanas são consumidas para produção dentro da fábrica e sete semanas são gastas para montagem da construção e aplicação de acabamentos internos. No processo de manufatura são utilizados princípios da produção enxuta, como *Just-in-Time* e relacionamentos de longo prazo com fornecedores. A empresa *Sekisui* motiva a participação dos funcionários na concepção de melhorias no sistema construtivo. Assim, espera-se de cada funcionário a submissão de dez idéias por mês, sendo que cada idéia é remunerada e revisada por um comitê avaliador. Uma vez por ano a melhor idéia é recompensada com um prêmio que consiste em uma considerável soma em dinheiro (OOSTRA e CLAESON-JONSSON 2007).

Em relação aos serviços oferecidos, o sistema *Sekisui* oferece informação via internet aos consumidores interessados, além de folhetos promocionais e visitas especiais de apresentação. Primeiramente é enviado aos consumidores potenciais um pacote de informações e em seguida, é planejada uma visita de apresentação, que inclui um vídeo sobre a “Fábrica dos Sonhos *Sekisui*”. Neste vídeo é mostrada a vida das famílias felizes na vizinhança de *Sekisui*, de acordo com a estação climática do momento. Após a conclusão do vídeo, a tela se ergue e as portas são

abertas, permitindo ver as casas reais da vizinhança que acabou de ser assistidas no filme. Em uma dessas residências são realizados todos os tipos de testes com o objetivo de provar a excelente qualidade das residências *Sekisui*. Em seguida é possível visitar uma casa totalmente equipada, de modo a sentir realmente o aspecto da residência. Na visita subsequente, o arquiteto faz um acompanhamento e assim auxilia o consumidor interessado a tomar necessárias decisões (OOSTRA e CLAESON-JONSSON 2007).

2.1.6.3 Suécia: *Open House*

O sistema *Open House* é de propriedade do *Norwegian OBOS Group* e tem como foco a construção de edifícios de três a oito pavimentos. O conceito *Open House* é baseado em três fundamentos: a tecnologia patenteada de pavimentos múltiplos modulares, um sistema de produção industrial e um programa padrão de módulos básicos. O sistema de produção *Open House* fornece uma completa cadeia de qualidade, com objetivo de fornecer a melhor qualidade a um custo mais reduzido e um menor tempo de entrega. Dessa forma, existe uma preocupação com a qualidade, que abrange desde o suporte arquitetônico, o gerenciamento do projeto, a produção industrializada e até a montagem final das residências no local da construção. As residências são construídas a partir de componentes pré-fabricados. Os pisos e as paredes são produzidos totalmente equipados e montados em um módulo 3D dentro da fábrica. A tecnologia de construção é baseada em chapas metálicas leves, com pequenas tolerâncias. O peso do módulo é de 5500 kg e todos os procedimentos estão documentados em manuais de maneira a assegurar que tudo será repetido do mesmo modo e que existe um trabalho contínuo de *feedback* e revisão (OOSTRA e CLAESON-JONSSON 2007).

FIGURA 23 - MONTAGEM DE MÓDULOS
FONTE: Oostra e Claeson-Jonsson (2007)

As possibilidades de escolhas são limitadas, no entanto é possível adquirir equipamentos para aquecimento, instalações hidráulicas e sanitárias a partir de fornecedores externos. Em relação a aspectos da fabricação, o projeto é integrado na produção, entretanto, o modelo 3D não é utilizado nem na fase de projeto nem durante a produção. Esta é uma área que necessita futuros desenvolvimentos. Em relação à liberdade de escolha arquitetônica, as possibilidades são as mesmas de outros módulos, ou seja, é permitido escolher o material da fachada, da cobertura, o revestimento das paredes internas, etc. (OOSTRA e CLAESON-JONSSON 2007).

2.1.6.4 Holanda: *Wenswonen*

O sistema *Wenswonen* foi desenvolvido por *Heijmans*, uma das maiores empresas contratantes da Holanda. O objetivo deste sistema construtivo foi permitir aos usuários possibilidades de escolhas reais. Portanto, os potenciais consumidores recebem um CD-ROM, no qual existe um modelo para escolhas em 3D, conforme o projeto que tenham demostrado interesse. Esta ferramenta é denominada "*Woonplanner*". Através desse sistema o usuário faz as escolhas e como conseqüência, os preços são apresentados, tornando o processo muito transparente. As possibilidades de escolhas são determinadas por projeto e pre-definidas no sistema, no entanto, as opções geralmente apresentadas aos clientes são: tamanho das residências, quantidade de quartos, aparência externa da casa e leiaute de jardins. Essa ferramenta tem se tornado um exemplo em como as opções podem ser apresentadas aos futuros compradores e, portanto, utilizada como uma referência no mercado holandês. No entanto, essa ferramenta não oferece suporte para a elaboração do projeto, sendo vista mais como uma ferramenta de *marketing* para auxiliar clientes na construção de residências orientada ao consumidor (OOSTRA e CLAESON-JONSSON 2007).

FIGURA 24 - EXEMPLOS DE PROJETOS BASEADOS NO CONCEITO WENSWONEN
FONTE: Oostra e Claeson-Jonsson (2007)

2.1.7 Barreiras para disseminação da coordenação modular

Na busca do desenvolvimento da indústria da construção civil de modo que seja apta a produzir edificações que respeitem condições indispensáveis como habitabilidade, funcionalidade, durabilidade, segurança e acabamento, assim como apresentar características relacionadas à produtividade, construtibilidade, baixo custo e desempenho ambiental é necessário resgatar a questão da coordenação modular, esta já “antiga”inovação (BALDAUF, 2004). Portanto, apesar do tema já ter sido introduzido no Brasil desde a década de 40, os conceitos referentes à coordenação modular ainda não foram totalmente incorporados pela construção civil. Isto indica que a coordenação modular ainda pode ser encarada como uma inovação para este setor e que para ser implementada deverá superar os mesmos entraves, como qualquer outra inovação tecnológica a ser introduzida no setor da construção.

Para que as inovações tecnológicas sejam incorporadas em toda a sua potencialidade, é necessário superar certos fatores no âmbito organizacional das empresas e no ambiente fabril de materiais e componentes construtivos. Rezende, Barros e Abiko (2002) analisaram diversos autores, como: Lucini (1984); Slaughter (1998); Reis (1998); Barros (1996); Franco (1992); John (1995) entre outros referentes à inovações tecnologicas e apresentam alguns fatores que, devido a sua posição, podem tanto dificultar como facilitar o processo de implantação de inovações no setor construtivo. Outras referências corroboram estes fatores e são incluídas, como segue:

a) ação governamental: conforme sua ação pró-ativa ou reacionária à mudanças, a ação governamental pode tanto impulsionar o desenvolvimento tecnológico como inibi-lo. Gann e Salter (2000) argumentam que políticas de regulação do governo exercem uma forte influência na demanda de inovações e atua como importante papel em relação a mudanças tecnológicas. Martins (2004) mostra ainda, que para estimular a inovação, é necessário a ampliação de recursos públicos e privados destinados à pesquisa, de maneira a incentivar a inovação

principalmente nas pequenas e médias indústrias em parceria com centros de pesquisa e universidades;

b) estrutura organizacional: para que as novas tecnologias sejam realmente efetivas na esfera produtiva da empresa é necessário que exista compatibilidade com a sua estrutura organizacional. Blayse e Manley (2004) reforçam mostrando que mesmo tendo condições externas favoráveis a inovação, é importante que os escritórios e as pessoas envolvidas tenham atitudes e processos que promovam a inovação. Esse fato é confirmado por Franco (1992) que apresenta a necessidade de sintonia entre o planejamento estratégico, tático e operacional com a decisão de implantar novos processos para que tenha um resultado positivo. Barros (1996) reforça mostrando que para haver interação entre as necessidades de mercado e a mudança tecnológica, a organização deverá estar disposta, sendo isto expresso em suas diretrizes estratégicas. Destaca-se com isso, a participação da alta direção de modo a se envolver e comprometer no processo de implantação, agindo como elemento facilitador e tendo uma visão de longo prazo para atingir os resultados esperados (BARROS, 1996).

c) recursos humanos: Neves (1995) mostra que existe falha na formação dos engenheiros civis pelas escolas de engenharia, o que dificulta a aplicação de técnicas de racionalização e de implantação de inovações e melhorias tecnológicas. A falta de qualificação dos operários também se constitui um entrave, defendido pela mesma autora, uma vez que não se consegue atender as necessidades das empresas em relação à qualidade da construção e à implantação de inovações. No âmbito organizacional, Franco (1992) esclarece as implicações dos recursos humanos na implantação de inovações. Segundo o autor, a motivação dos envolvidos na implantação da racionalização é um fator que interfere nos resultados esperados. Neste sentido, Barros (1996) expõe como premissa para implantar a inovação a presença de um elemento humano para liderar o processo. O elemento Recursos Humanos também envolve o conhecimento. Conforme Barros (1996), uma das formas de se garantir a efetivação da inovação é a transferência de novas tecnologias a toda

empresa. Dessa maneira, a falta de conhecimento sobre o novo é compreendida como um entrave à implantação de inovações.

Além desses fatores, Rezende, Barros e Abiko (2002) apresentam outros aspectos que constituem barreiras para as inovações tecnológicas e são corroborados por outras referências aqui incluídas:

a) fatores tecnológicos: a falta de padronização de produtos da construção (materiais e componentes) e falta de uma normalização adequada interferem na introdução de inovações tecnológicas. Dessa maneira, muitas idéias inovadoras são deixadas de lado devido à falta de fornecedores e produtos no mercado capazes de atender aos requisitos que as mesmas impõem (SERPEL,1995 citado por BARROS, 1996)
b) fatores culturais: esse aspecto refere-se tanto as resistências organizacionais como da própria comunidade em aceitar o novo. Em relação aos fatores culturais da organização, Love *et. al.* (2002) citado por Blayse e Manley (2004) mostram que o aprendizado requer abertura a novas idéias e ao diálogo.
c) fatores financeiros: este fator também é defendido por Neves (1995) que mostra como elemento impeditivo para inovação os custos para aquisição de equipamentos.

Serpel (1995) citado por Barros (1996) complementa a lista de barreiras para as inovações tecnloógicas com outros fatores, sendo estes corroborados por outros autores:

a) as flutuações de mercado da Indústria da Construção, com períodos de menor atividade relativa ;
b) falta de incentivo a inovação por parte dos clientes. Conforme Blayse e Manley (2004), clientes e indústrias são participantes chaves para conduzir a inovação. Assim, a falta de participação dos clientes pode ser considerada um entrave a inovação tecnológica, pois conforme Gann e Salter (2000), os clientes podem exercer pressão na elaboração do projeto de modo a melhorar a performance do ciclo de vida da edificação,

além de exigir projetos mais flexíveis que possam se adaptar a modificações não previstas.

c) falta de integração entre os diferentes envolvidos na construção de um empreendimento, em particular: clientes, projetistas, construtora, fornecedores e subcontratados. Martins (2004) reforça esse fator, mostrando a falta de visão sistêmica e de compreensão acerca do processo de produção de edifícios pelos fornecedores de materiais e componentes como impeditivo à inovação.

Para que a coordenação modular seja enfim uma realidade nas construções brasileiras é importante considerar esses aspectos acima citados. Dessa maneira, a implementação de projetos modulares exige uma visão sistêmica do processo de construção, exigindo uma mobilização no âmbito organizacional e gerencial, incluindo todos os envolvidos na construção, desde projetistas até clientes. Além disso, fatores culturais, tecnológicos e financeiros também impõem restrições e devem ser avaliados em conjunto com as estratégias de implementação da coordenação modular para a construção civil.

2.1.8 Estágio atual da aplicação da coordenação modular: *Open Building Manufacturing*

O projeto ManuBuild (http://www.manubuild.org) consiste no esforço de países europeus na área da construção manufaturada aberta através da criação de um sistema chamado "*Open Building Manufacturing System*". Este é um novo paradigma para construção, pois combina processos eficientes de manufatura com construção *in loco* e um sistema aberto para produtos e componentes, de modo a oferecer diversidade de suprimentos para um mercado aberto. O principal objetivo do projeto é a transformação do atual estágio da construção, baseado em processos *in loco*, para uma construção aberta e industrializada. O projeto ManuBuild é um projeto de pesquisa na área de construção industrializada, conduzida de forma colaborativa entre indústrias, sendo uma parte fundada pela Comissão Européia. É um projeto com quatro anos de duração, que teve início em abril de 2005 e envolve 25 parceiros de dez países europeus. O projeto ManuBuild possui a visão de um futuro onde os consumidores são capazes de adquirir edificações manufaturadas de alta qualidade, com alto potencial de flexibilidade arquitetônica e com baixos custos (KAZI, 2007).

No projeto ManuBuild, os elementos chaves referem-se à: conceitos de edificações inovadores; processos de negócios; tecnologias de produção e suporte da TIC (tecnologia da informação e comunicação). De maneira a preparar a mão-de-obra para esse futuro visionado, o projeto aborda conceitos referentes a treinamento e educação. A fim de atingir seus objetivos, o projeto ManuBuild incorpora princípios como: novos conceitos arquitetônicos, construção industrializada e modular com produção flexível e adequada para componentes pré-manufaturados e fáceis de montar. A ênfase do projeto ManuBuild é agregar valor para todos os *stakeholders*, além de atingir os verdadeiros anseios dos consumidores (EICHERT e KAZI, 2007) Por isso, no sistema "Open Building Manufacturing", de modo sintético, as principais ações de mudanças referem-se à, conforme Eichert e Kazi (2007):

a) mudança de paradigma de projetos únicos para um modelo padronizado, com configuração customizada;
b) mudança em relação ao processo manual (*in loco*), para processos pré-manufaturados prontos para montagens e com alta qualidade arquitetônica;
c) desenvolvimento de novos sistemas de arquitetura flexível;
d) implementação de processos de manufatura no canteiro e métodos de pré-montagem, incluindo fábricas móveis;
e) implementação de métodos, conceitos e tecnologias eficientes de manufatura nas indústrias;
f) aplicação de novos materiais, módulos multifuncionais integrados e componentes inteligentes;
g) configuração de edificações voltada à comunidade e ao morador, planejamento urbano integrado, oferecendo qualidade de vida como um serviço da sociedade;
h) implementação de novos conceitos para redes e organizações distribuídas para projeto, manufatura e montagem;
i) desenvolvimento de novos conceitos para serviços inteligentes de manutenção como produto-serviço.

O projeto ManuBuild e o seu objetivo para uma edificação manufaturada é o primeiro passo para conduzir o setor da construção civil em um futuro focado em sistemas abertos, na manufatura eficiente e no atendimento aos anseios dos usuários. O desenvolvimento do sistema *Open Building Manufacturing* estabelece um marco para o futuro da construção. Porém, para que seja totalmente absorvido e que mantenha um aprimoramento contínuo, é importante que essa idéia seja não apenas conduzida pelos integrantes do projeto *ManuBuild*, mas também pelos *stakeholders* do setor da construção civil (EICHERT e KAZI, 2007).

2.1.9 Estágio atual da aplicação da coordenação modular: *IFD Buildings*

O conceito de edifícios Industrializados, Flexíveis e Desmontáveis (IFD) tem suas origens na indústria da construção holandesa e refere-se a um projeto de pesquisa que tem como objetivo desenvolver uma estrutura técnica e organizacional de suporte para sistemas de edifícios IFD para todos os países europeus. Neste sistema, a industrialização refere-se a sistemas abertos de construção que permitem a montagem a partir de componentes pré-fabricados passíveis de serem fornecidos por diversos fabricantes. Flexibilidade diz respeito a um parâmetro de performance direcionado para satisfazer requisitos de clientes a mudanças funcionais ao longo do ciclo de vida do edifício. Componentes desmontáveis também se referem a um parâmetro de performance e está relacionado à possibilidade de desmontagem dos componentes para reparo ou reuso. O projeto de pesquisa envolve aspectos econômicos, sociais e tecnológicos e procura desenvolver uma morfologia para edifícios IFD além de um modelo de processos de edificação. A morfologia de edifícios IFD envolve três partes distintas: o núcleo técnico, os espaços funcionais e a caixa (QUAH; VAN DEN BRAND e DI GIULIO, 2004).

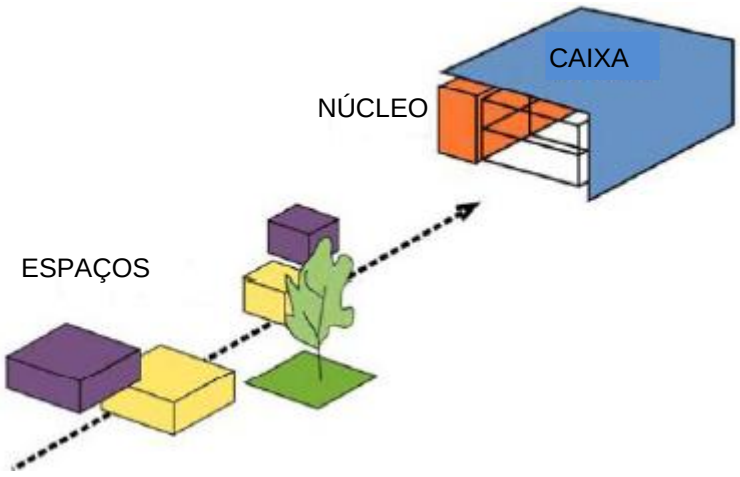


FIGURA 25 - MORFOLOGIA DE EDIFÍCIOS IFD
FONTE: Adaptada de Quah; Van den Brand e Di Giulio (2004)

2.1.9.1 Morfologia de edifícios residenciais IFD

A morfologia de edíficios IFD é usada tanto para compor edifícios residenciais como para compor edifícios de escritórios de trabalho. No caso de edifícios residenciais, o núcleo é transportado ao canteiro de obras completamente equipado e pronto para montar. Além disso, os elementos que fazem parte do núcleo são modulares e incorporam espaços de circulação vertical e horizontal, espaços para instalações e *shafts* para redes de instalações. Equipamentos especiais ainda podem ser inseridos, como sistemas de segurança e de automação. A fachada do núcleo é composta de um sistema multi-camada, que inclui um revestimento interno feito de painéis leves e com isolamento e uma tela externa. O cliente pode escolher a partir de uma variedade de produtos e materiais para a tela. Os módulos funcionais abrigam os espaços funcionais de modo a modificar seu formato e o tamanho conforme necessidades dos usuários. Os módulos funcionais podem ser construídos através de diferentes tecnologias, componentes e materiais, porém a única restrição a ser considerada é em relação a interface com o núcleo. As soluções escolhidas podem ser modificadas e estendidas ao longo do tempo, de modo que um módulo pode ser inserido ao núcleo. A parte da caixa do sistema IFD é composta por uma estrutura de metais leves coberta por pequenos painéis. A caixa permite mudanças de posição e de volume dos módulos funcionais, de modo que é possível começar a partir de módulos funcionais menores que a caixa e assim que for necessário preencher os espaços. Os painéis da caixa podem ser customizados conforme escolhas dos usuários e o tamanho e posição das janelas podem ser modificadas respeitando as restrições modulares da estrutura (QUAH; VAN DEN BRAND e DI GIULIO, 2004).

Além disso, o cliente também escolhe o leiaute básico, podendo ser alterado conforme necessidades específicas (e.g. número de quartos, equipamentos ou instalações particulares, pequeno elevador interno, etc.). Um catálogo de possíveis soluções permite ao usuário configurar o formato e o tamanho da casa através de leiautes e dimensões preferidas. Em seguida são feitas escolhas em relação aos materiais e acabamentos. Cada estágio é realizado eletronicamente e as escolhas podem ser conferidas através de um modelo virtual que permite a navegação no

interior da construção. Quando a escolha final é realizada, um manual de instrução é gerado, ilustrando todas as possíveis variações, transformações e extensões de espaços e instalações (QUAH; VAN DEN BRAND e DI GIULIO, 2004).

FIGURA 26 - CONFIGURAÇÕES DE LEIAUTES PARA DIFERENTES GRUPOS DE USUÁRIOS
FONTE: Quah; Van den Brand e Di Giulio (2004)

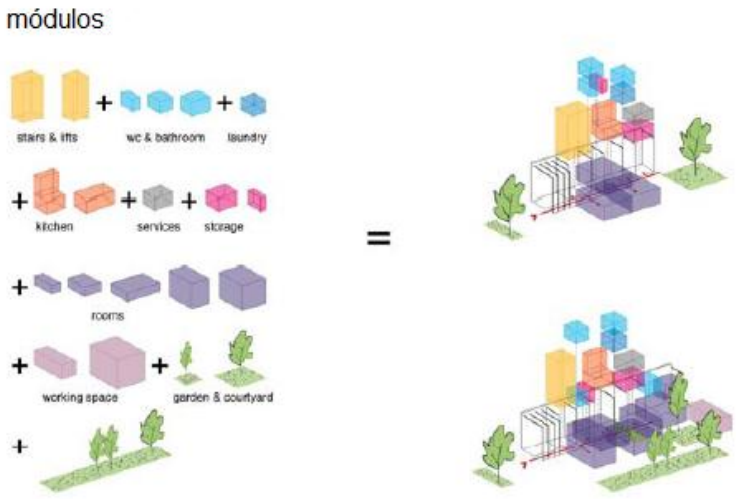


FIGURA 27 - CONFIGURAÇÕES MODULARES POSSÍVEIS
FONTE: Adaptada de Quah; Van den Brand e Di Giulio (2004)

2.1.9.2 Modelo de organização e processos de edifícios IFD

O conceito de edifícios IFD espera mudar a abordagem tradicional em relação aos processos de aquisição e organização do projeto de edificações. Um cenário possível pode ser visto no quadro abaixo (QUAH; VAN DEN BRAND e DI GIULIO, 2004):

Stakeholder	***Papel tradicional***	***Papel no sistema IFD***
Cliente	Geralmente passivo	Participação ativa no projeto
Arquiteto	Projeto a partir do esboço	Projeto a partir de componentes proprietários
Empreiteiro principal	Construção e gerenciamento do trabalho	Desenvolvimento do sistema e montagem
Fabricante	Fornecimento (e instalação)	Desenvolvimento do produto e fornecimento
Governo	Aprovação do projeto	Aprovação do sistema e do projeto

QUADRO 11 - CENÁRIO POSSÍVEL DOS NOVOS PAPÉIS DOS STAKEHOLDERS
FONTE: Quah; Van den Brand e Di Giulio (2004)

O modelo de organização e processo do sistema IFD abrange os seguintes grupos de atividades, conforme Quah; Van den Brand e Di Giulio (2004):

a) Pesquisa de mercado: esse processo busca identificar o mercado potencial para edifícios IFD através de pesquisas de tendências econômicas e sociais, além da sua influência nos requisitos dos usuários;
b) Definição de requisitos dos usuários: esse processo envolve a definição de necessidades de grupos de usuários para um segmento particular identificado na pesquisa de mercado. O resultado deste processo é então transformado em especificações de performance para o edifício;
c) Projeto do edifício IFD: esse processo busca elaborar o projeto do edifício com base nas especificações de performance e no conceito e morfologia dos edifícios IFD;

d) Catálogo de produtos de edifícios IFD: esse catálogo de produtos abrange sistemas/componentes/produtos/materiais proprietários a serem incorporados em edifícios IFD. A partir desse catálogo, os clientes são capazes de fazer escolhas e verificar os efeitos no projeto. O catálogo é atualizado regularmente assim que surgem novos sistemas no mercado;
e) Produção de edifícios IFD: estimativas do tamanho do mercado em termos de expectativa de pedidos, freqüência de pedidos individuais, tempo de produção, economia de produção e outros fatores como custos de estoque dirigem o nível de estoque de componentes de edifícios IFD para produção nas fases iniciais;
f) Promoção e vendas de edifícios IFD: campanhas promocionais de edifícios IFD poderiam envolver a criação de uma imagem de edifícios IFD com ênfase na customização;
g) Entrega e montagem dos edifícios IFD: após a venda de um edifício IFD, os componentes são empacotados e despachados para o canteiro de obras para montagem. A montagem dos componentes envolve o uso de juntas secas e peças pré-fabricadas;
h) Avaliação pós-ocupação dos edifícios IFD: a avalição pós-ocupação fornece um *feedback* a respeito da satisfação do usuário para contínuo desenvolvimento do produto de modo a atender as suas necessidades.

2.1.9.3 Conclusões sobre os edifícios IFD

Com a implementação de edifícios IFD, diversos benefícios podem ser atingidos, como: economias a partir da padronização de componentes, facilidade para escolhas dos usuários, maior produtividade, redução de trabalho e desperdício no canteiro de obras, além de contribuir para o gerenciamento e controle do tempo e da qualidade da edificação. O projeto sobre edifícios IFD contribui para os necessários esforços de pesquisa e desenvolvimento para a mudança no processo de projeto, organização e entrega de edificações (QUAH; VAN DEN BRAND e DI GIULIO, 2004).

2.1.10 Discussão sobre sistemas construtivos modulares

A fundamentação teórica a respeito dos sistemas construtivos modulares buscou esclarecer conceitos chaves. Dessa maneira, a primeira seção tratou sobre a compreensão do módulo e suas implicações dentro do sistema modular. Aprofundando-se no tema, foram discutidos temas como o sistema de coordenação modular e as normas brasileiras relacionadas sobre o assunto. Em seguida foi debatida sobre a importância da conectividade entre os módulos e descritos sistemas construtivos modulares que consideram a montagem nos canteiros, além de suas implicações de transporte, econômicas e tecnológicas. Neste contexto foram abordados aspectos relacionados ao *Open Building System.* Por fim foram apresentadas as experiências nacionais e internacionais com construções modulares e discutidas as barreiras para a total implementação da coordenação modular.

Portanto, de acordo com os autores estudados, verifica-se que para conceber um projeto de edifício modular, não basta apenas considerar aspectos dimensionais dos módulos. Para que seja completo, e de fato usufrua os benefícios relacionados à produtividade, racionalização, sustentabilidade e flexibilidade, é importante definir as interfaces dos módulos e como será a interação com outros componentes e subsistemas da edificação. As normas brasileiras sobre coordenação modular ainda são incipientes quanto à especificação dimensional. Isto prejudica a implementação de sistemas modulares na construção, pois produtores e projetistas ficam sem uma orientação sobre o assunto. As normas que tratam sobre bloco de concreto apresentam uma definição quanto aos aspectos dimensionais e isso reflete na prática das construções brasileiras. Dessa forma, as construções com blocos de concreto representam o exemplo mais difundido de construções modulares no Brasil. Outro sistema apontado no cenário nacional refere-se à abordagem com ktis sistêmicos, que considera a edificação como um sistema e cada especialidade técnica é vista a parte e destinada a um responsável. No âmbito internacional foi verificado que as construções modulares são baseadas em processos industriais, com uso intensivo de planejamento e controle da produção, tecnologias da informação e atendimento ao cliente. Assim, uma das preocupações

desses exemplos apresentados refere-se às possibilidades de customização e escolhas dos clientes. Conforme visto a respeito da conectividade entre módulos, componentes flexíveis devem considerar juntas secas (mecânicas), de modo a permitir mudanças sem prejudicar as partes associadas. Infelizmente, esse aspecto ainda não é considerado nas construções brasileiras. Devido à forte influência cultural, que associa as construções de alvenaria com construções duráveis, as construções modulares mais difundidas no Brasil são aquelas produzidas com blocos de concreto, que não permitem flexibilidade e customização após a entrega sem os custos relacionados com a destruição de partes da construção. Verifica-se também que no Brasil, o sistema de construção modular, apesar de antigo o tema, pode ser considerado como uma inovação tecnológica ao setor. Portanto, para a sua completa implementação é necessário superar barreiras comuns a qualquer processo de inovação. Essas barreiras dizem respeito a fatores culturais, aos recursos humanos, financeiros, tecnológicos e à estrutura organizacional e gerencial. Além disso, torna-se necessário também a mobilização entre diferentes envolvidos na construção, deste projetistas até clientes. Os clientes, nesse sentido, podem atuar de forma estratégica na implementação de sistemas modulares, pois ao exigirem projetos mais flexíveis e que atendam a suas necessidades, podem criar a demanda necessária que justifique esforços para que os sistemas modulares enfim sejam aplicados com vigor. O estágio atual de aplicação da coordenação modular refere-se a projetos como o ManuBuild (http://www.manubuild.org) e o projeto de Edifícios Industrializados, Flexíveis e Desmontáveis – IFD.

2.2 SISTEMAS CAD BASEADOS NA WEB

A Internet é uma gigantesca rede mundial de comunicação de computadores que utiliza o mesmo conjunto de protocolos, ou seja, a mesma linguagem de comunicação. Assim, as pessoas conectadas à Internet seguem um conjunto comum de diretrizes de modo a permitir que as informações fluam de uma rede para outra. A família de protocolos que as redes de Internet usam para transmitir dados é chamada TCP/IP (*Transmission Control Protocol/Internet Protocol*) (ASSAD, 2004).

A Internet surgiu em 1969, como Arpanet, sendo patrocinada pelo Departamento de Defesa Norte Americano (*Defense Advanced Research Projects Agency* – DARPA). O objetivo inicial foi permitir que engenheiros e cientistas, que trabalhavam em projetos militares em toda a América, pudessem compartilhar computadores caros e outros recursos. A Arpanet original expandiu-se e suas ramificações formam a espinha dorsal do que chamamos atualmente de Internet (TEIXEIRA e SCHIEL, 1997).

Segundo Assad (2004), a Internet tem revolucionado o mundo dos computadores e das comunicações, pois se tornou um mecanismo de disseminação da informação e divulgação mundial, além de constituir um meio para a colaboração e a interação entre indivíduos e seus computadores, independentemente de suas localizações geográficas.

Conforme Zeng, Chen e Ding (2003), atualmente a *World Wide Web* ou simplesmente a WEB tem se tornado o serviço de informação mais popular na Internet, de modo que é possível encontrar um navegador gráfico, ou *browser* WEB instalado em quase todos os computadores pessoais espalhados pelo mundo. Uma página WEB é constituída de diversos objetos, como: uma imagem JPEG, um applet Java, um clipe de áudio, etc, que podem ser acessados com um único URL (*Uniform Resource Locator)*. Portanto, a maioria das páginas WEB é constituída de um único arquivo-base HTML (*Hiper Text Markup Language)* e diversos objetos referenciados. Um *browser* é um agente de usuário para a WEB, que tem a função de apresentar a página requisitada ao usuário e um servidor WEB é aquele que abriga objetos WEB. O HTTP (*HyperText Transfer Protocol*) é o protocolo de camada de aplicação da WEB e é implementado em dois programas: um programa cliente e um programa

servidor. Os dois programas são executados em sistemas finais diferentes e interagem entre si através de trocas de mensagens HTTP. O HTTP define a estrutura dessas mensagens e o modo como o cliente e o servidor as trocam. Esse processo de comunicação define para a WEB uma arquitetura de aplicação cliente-servidor (KUROSE e ROSS, 2006).

Apesar dos benefícios e da popularidade apresentada pela WEB, usuários CAD, de modo geral, ainda não podem compartilhá-los, pois, usualmente, as ferramentas CAD disponíveis atualmente são projetadas como uma aplicação interativa direcionada a um único usuário (ZENG, CHEN e DING, 2003). No entanto, pesquisas com o uso de sistemas CAD para a WEB têm sido reportadas, mostrando a efetividade do uso da ferramenta para múltiplos usuários. Neste tópico serão apresentadas algumas dessas experiências. Primeiramente será mostrado um sistema CAD baseado na WEB desenvolvido pela Universidade de Nanjing, na China. Na seqüência, apresenta-se um sistema CAD-WEB com suporte para projetos colaborativos, projetado por uma equipe da Tailândia. Em seguida, é mostrado um experimento de realidade virtual para navegação e edição de objetos 3D, totalmente controlado pela Internet, desenvolvido pelo Departamento de Ciência e Engenharia da Universidade da República Checa. Apresenta-se também um sistema CAD-WEB para montagem virtual de móveis, denominado BEAVER, destinado para DIYer (*Do-it-yourselfers*) e desenvolvido pela Universidade de Bielefeld, na Alemanha. Por fim, o tópico mostra um software livre denominado *Sweet Home 3D*, implementado em liguagem Java para design interior de residências com visualização em 3D.

2.2.1 Sistema CAD-WEB: Universidade de Nanjing, China

Pesquisadores da Universidade de Nanjing, China, desenvolveram um sistema CAD para a WEB. A arquitetura de sistema proposta na pesquisa executa todo sistema CAD no lado do cliente, de modo a preservar o servidor da alta performance requerida para processamentos gráficos. O desenvolvimento partiu das seguintes premissas, conforme Zeng, Chen e Ding (2003):

a) o sistema deverá responder aos usuários o mais rápido possível;
b) a rede de comunicação entre cliente-servidor deverá ser estável, adotando-se, portanto, o protocolo TCP/IP;
c) atualmente, a velocidade de comunicação de dados na Internet é relativamente menor do que a dos computadores. Assim, o número de interações deverá ser reduzido, devendo-se fornecer informações de uma única vez;
d) devido às necessidades gráficas e computacionais de um sistema CAD, o desempenho do servidor tende a decrescer devido ao aumento do número de usuários. Como não é possível configurar o servidor de acordo com a demanda máxima, torna-se preferível configurar o sistema dinamicamente a fim de satisfazer as necessidades dos usuários.

2.2.1.1 Configuração do sistema

A arquitetura global do sistema é composta por seis módulos: o *browser* do usuário, implementado no lado do cliente; o *job scheduler*, responsável por fornecer a interface gráfica ao usuário e pela comunicação entre usuários e módulos do computador; o gerador de gráficos; a base de dados; o *request object broker*, responsável pela comunicação dinâmica entre cliente e objetos; e as unidades computacionais (ZENG, CHEN e DING, 2003).

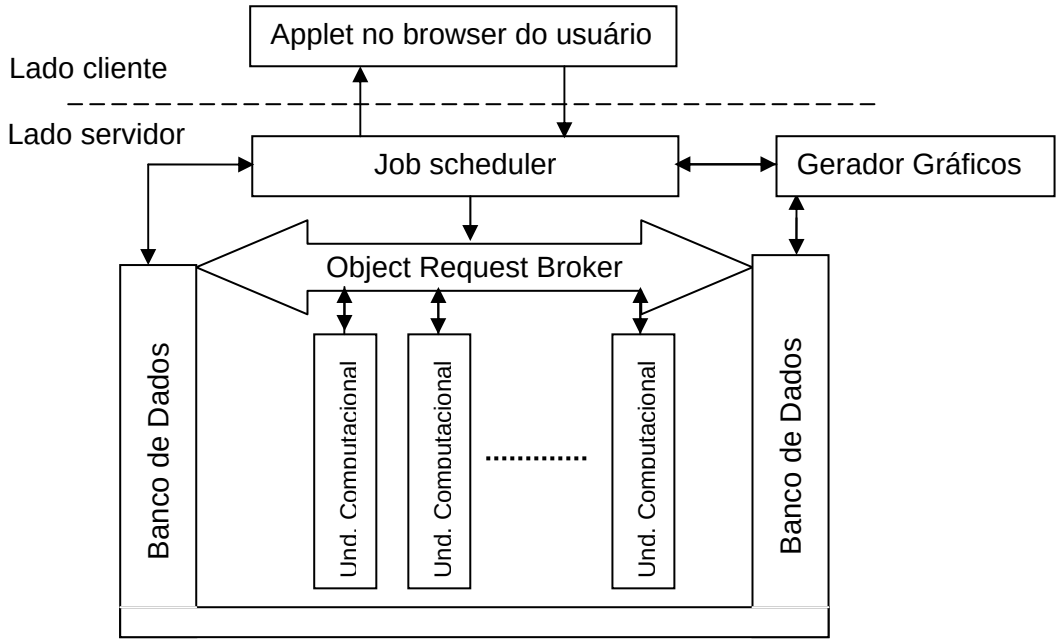


FIGURA 28 - ARQUITETURA DO SISTEMA
FONTE: Adaptada de Zeng, Chen e Ding (2003)

Para cada usuário existe uma instância do banco de dados (conexão), permitindo a interação e atualização dos dados por meio do *job scheduler*. Portanto, o banco de dados é composto de diversas sub-bases, cada uma pertencente a um usuário. Nas unidades computacionais é que estão armazenados os algorítimos de rotina, sendo cada unidade implementada em diversas máquinas. Em um ambiente de rede, os módulos duplicados podem ser combinados dinamicamente em um

sistema distribuído para compartilhar a carga de trabalho, caso o número de usuário exceda o esperado. Entretanto, caso o número de usuários decresça, os computadores com unidades duplicadas deixam de operam no sistema. Esta é uma maneira de alocar dinamicamente os recursos, permitindo alta performance do sistema (ZENG, CHEN e DING, 2003).

O gerador de gráficos tem a função de gerar modelos gráficos realísticos, permitindo a geração de dois formatos de arquivos, conforme requisição do usuário: um formato estático, que atualmente suporta apenas o formato de arquivo .GIF; e o dinâmico, representado pelo formato de arquivo VRML (*Virtual Reality Modeling Language*), que permite a visualização dinâmica do modelo realístico (ZENG, CHEN E DING, 2003).

A interface com o usuário comunica os comandos e dados ao servidor e apresenta o resultado ao usuário. A fim de fornecer um *feedback* imediato ao usuário, o módulo de interface inclui uma indexação das sub-bases, com informações mínimas a fim de identificar a entidade, seu tipo e propriedades básicas. Assim, quando o usuário submete um comando, o módulo de interface executa a ação e recebe a informação fornecida pelo usuário. Então, o módulo empacota todos os dados e transfere ao servidor (ZENG, CHEN e DING, 2003).

2.2.1.2 Fluxo de dados

O sistema possui duas fases distintas: uma fase de especificação do problema, na qual o usuário requisita um comando e outra fase de solução para o problema, na qual o sistema apresenta o resultado. Com objetivo de reduzir o número de interações, foram implementadas no lado do cliente, sub-bases de dados do servidor, de modo que, algumas operações podem ser finalizadas no lado do cliente. A fim de facilitar a comunicação, outra estratégia para transferência de dados foi adotada: os pesquisadores definiram um objeto *proxy*, que fornece acesso à classes dos objetos. Assim, é possível a recuperação de informações conforme demanda do usuário (ZENG, CHEN e DING, 2003).

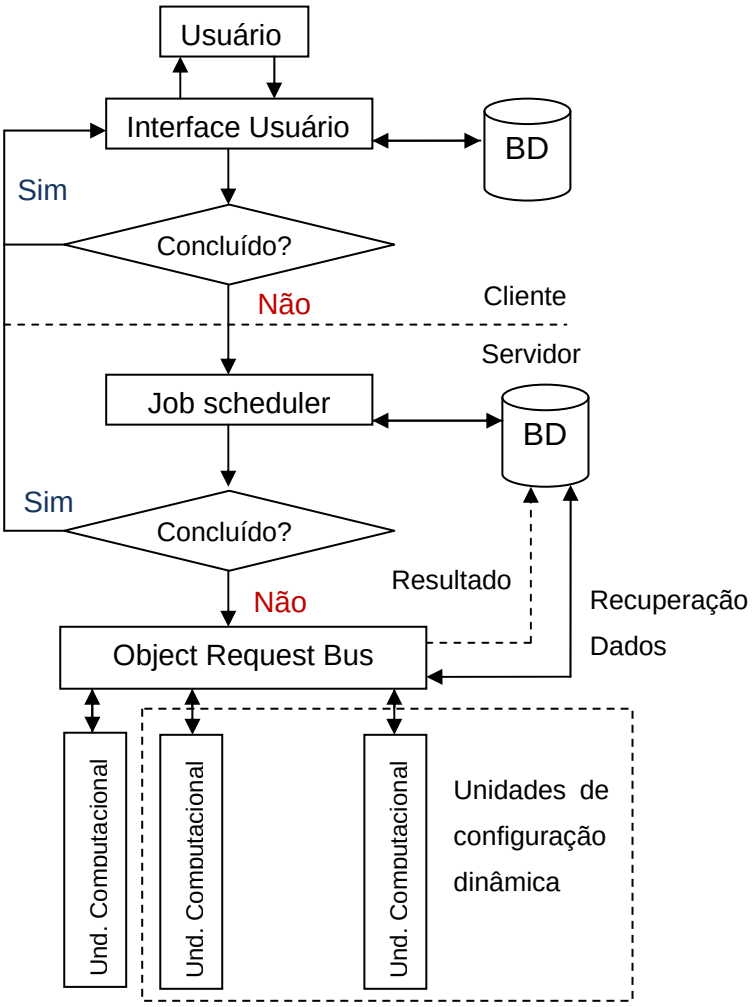


FIGURA 29 - FLUXO DE DADOS

FONTE: Adaptada de Zeng, Chen e Ding (2003)

2.2.1.3 Implementação

No desenvolvimento deste sistema foram utilizados um *browser*, um servidor WEB Java e um *visual broker*. O applet e o *Job scheduler*, que rodam no servidor WEB Java, foram implementados na linguagem Java, enquanto os outros módulos foram compilados em liguagem C. No lado do servidor, todas as máquinas estão conectadas a uma rede de alta velocidade e é possível executar o sistema em uma Intranet. Os applets compõem o módulo de interface do sistema, de modo que, ao

acessar o link do sistema no *browser*, é feito o *download* e execução dos applets no lado do cliente (ZENG, CHEN e DING, 2003). O ambiente gráfico do usuário é apresentado na figura abaixo:

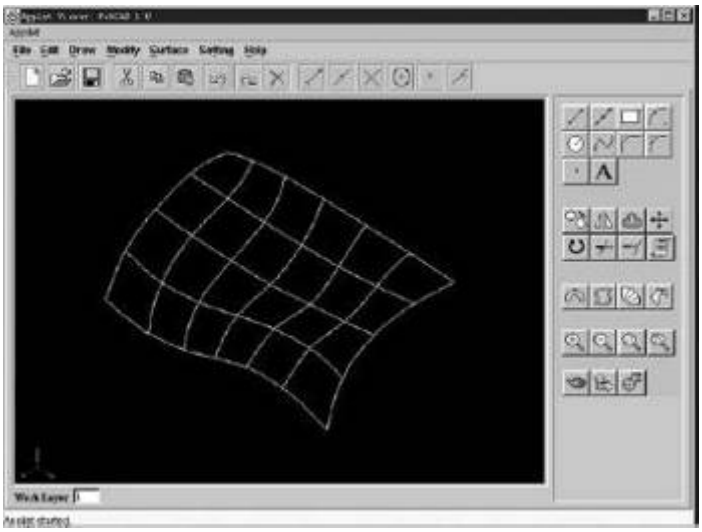


FIGURA 30 - AMBIENTE GRÁFICO DO SISTEMA CAD-WEB
FONTE: Zeng, Chen e Ding (2003)

O sistema suporta recursos gráficos como: curva básica, surperfícies e alguns comandos de edição, como: copiar, rotacionar, etc. Neste estágio de desenvolvimento, a interface gráfica do usuário interage lentamente, devido ao controle ser exercido pela máquina virtual Java. Para que o sistema possa ser utilizado, ainda é necessário algum estudo a fim de descobrir, por exemplo: como comprimir a geometria do modelo, como tornar o sistema robusto e confiável para uso na Internet e como configurar dinamicamente o servidor (ZENG, CHEN e DING, 2003).

2.2.2 Sistema CAD-WEB para projetos colaborativos: Tailândia

O objetivo deste experimento da Tailândia foi propor um sistema CAD aberto baseado na WEB capaz de suportar projetos colaborativos, troca de dados e comunicação entre projetistas. Através do uso desta ferramenta, o projetista pode discutir; gerenciar e executar tarefas com equipes geograficamente distantes, em tempo real. Portanto, o processo de projeto é baseado na Internet como meio de compartilhamento de dados e estruturado em uma arquitetura cliente-servidor, composta de três camadas: camada do cliente, camada de transição e camada de dados (INTARAPADUNG, PRANEETPOLGRANG e HORADAL, 2007).

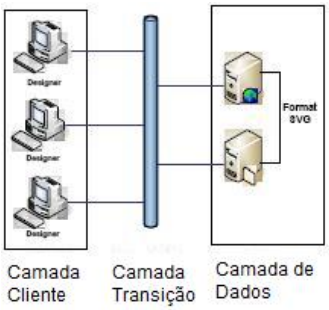


FIGURA 31 - CAMADAS DA ARQUITETURA DO SISTEMA
FONTE: Intarapadung, Praneetpolgrang e Horadal (2007)

A metodologia de desenvolvimento incluiu estudos a respeito da interação homem-computador (IHC) e análise de requisitos através de modelos UML (*Unified Modeling Language*). No projeto do sistema foi considerada a aplicação de inteligência artificial através do uso de um software multi-agente, com objetivo de auxiliar no gerenciamento do projeto colaborativo. Esse software é composto por diversos agentes coletivamente capazes de atingir um objetivo dificilmente atingido por um único agente. Isto é realizado através de um conjunto de algorítimos que permitem a elaboração de um projeto ótimo baseado em uma avaliação de projetos locais. O modelo é estruturado em Redes *Bayesian*, que semanticamente representam conhecimentos de projetos e preferências de um conjunto de projetistas na cadeia de suprimentos que trabalham colaborativamente em um projeto. (INTARAPADUNG, PRANEETPOLGRANG e HORADAL, 2007).

2.2.2.1 Implementação

O sistema foi implementado na linguagem HTML, que é própria para a WEB e utilizado por *browsers* para texto e gráficos, e a interface gráfica do usuário (GUI) foi desenvolvida em um applet Java. Assim, os projetistas podem acessar o sistema através de um *browser* WEB, que se conecta ao servidor permitindo a elaboração colaborativa do projeto. O modelo CAD foi concebido no AutoCAD (Autodesk) e armazenado no formato intercambiável .DXF (*Drawing Interchange Format*). Em seguida, esse arquivo foi convertido em um formato SVG (*Scalable Vectorial Graphics*), que se trata de uma linguagem XML (*eXtensible Markup Language*) para descrever gráficos bidimensionais. O formato SVG permite a construção de três tipos de objetos gráficos: formas vetoriais gráficas, imagens e texto, que permitem a incorporação de informações contextualizadas. Por exemplo, um retângulo representa não apenas uma forma, mas também o seu significado, que pode ser descrito como o corpo da peça. Da mesma maneira, um círculo representa a sua forma gráfica circular e também o seu significado de vazio (INTARAPADUNG, PRANEETPOLGRANG e HORADAL, 2007).

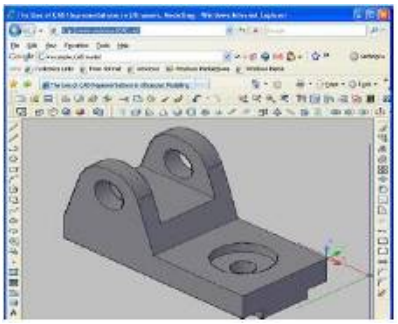


FIGURA 32 - INTERFACE DO SISTEMA CAD-WEB COLABORATIVO
FONTE: Intarapadung, Praneetpolgrang e Horadal (2007)

O sistema ainda está em fase conceitual e o próximo passo será o desenvolvimento do protótipo. Espera-se que a próxima atualização do sistema permita maior flexiblidade, de modo a permitir manipulação no modelo durante as sessões de projeto, como a construção e edição da parte gráfica (INTARAPADUNG, PRANEETPOLGRANG e HORADAL, 2007).

2.2.3 Sistema CAD-WEB e objetos multimídia: República Checa

A motivação para concepção deste sistema CAD-WEB surgiu da idéia de permitir, a alunos, professores e visitantes, a interação no modelo virtual do Departamento de Ciência e Engenharia da Universidade da República Checa. O sistema proposto combina modelo realístico do edifício em 3D com objetos multimídia, permitindo ao usuário a imersão em um ambiente de realidade virtual. O modelo é apresentado em VRML e os objetos interativos estão associados, disponibilizando informações como: calendários de palestras e *hiperlinks* para as páginas pessoais dos professores. O sistema é totalmente controlado via Internet e oferece funcionalidades como: recuperação da informação, navegação automática, criação/importação de novos tipos de objetos virtuais e edição interativa do modelo 3D. Esta última função possibilita modificações na aparência das salas de aula e gabinetes, assim como manipulação de móveis e outros objetos que fazem parte das salas do edifício (ZARA e CERNOHORSKY, 2000).

2.2.3.1 Implementação

O sistema utiliza o banco de dados MySQL (MySQL), que armazena informações como: geometria (dimensões e coordenadas de superfícies); posição de janelas e portas; especificação de objetos; links para outras salas; aparência da superfície, materiais e texturas; posições dos móveis; objetos multimídia; pontos de observação, luz e outras características do arquivo VRML; links para arquivos multimídia (som e vídeo) e os usuários e seus direitos de acesso. No entanto, o banco de dados não armazena o arquivo nativo VRML, sendo necessário gerá-lo através de um *script* CGI (*Common Gateway Interface*) que interpreta os dados oriundos do banco de dados (ZARA e CERNOHORSKY, 2000).

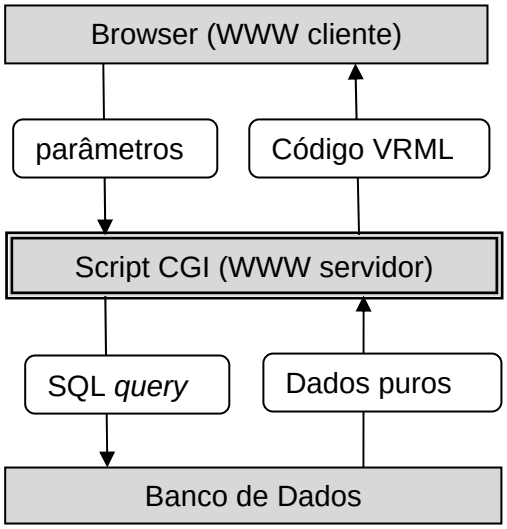


FIGURA 33 - MECANISMO PARA GERAÇÃO DE CÓDIGO VRML
FONTE: Adaptada de Zara e Cernohorsky (2000)

O processo de geração do código em VRML começa da seguinte forma: o usuário, através de um link em um documento HTML, acessa o *script* CGI. O link já contém alguns parâmetros para o *script*, como: número da sala e o nome da vista desejada. Assim, o *script* CGI cria uma requisição SQL a partir desta entrada de dados. O *script* conecta o banco de dados, envia a requisição SQL e recebe os dados puros, que são convertidos em uma hierarquia VRML. Por fim, o *browser* WEB recebe o código fonte VRML e o interpreta (ZARA e CERNOHORSKY, 2000).

2.2.3.2 Navegação automática

O sistema oferece a função de navegação automática, que permite um passeio automático no modelo a partir da posição atual do usuário até outro ponto pré-determinado, sendo o caminho escolhido o menor possível. A solução do caminho mais curto é feita através do algoritmo de *Dijkstra* e a seleção do destino é feita através de duas listas: por número da sala ou nome da pessoa. Uma vez determinado os pontos de origem e destino e depois de encontrado o melhor caminho, diversas visualizações no estilo de corredores são criadas e enviadas ao

browser. Essa função foi implementada na linguagem Java e executada em um applet, que se relaciona ao *browser* VRML através de uma EAI (*External Authoring Interface*). Na interface do usuário é possível executar comandos para abrir portas e iniciar ou parar o passeio pelo modelo (ZARA e CERNOHORSKY, 2000).

FIGURA 34 - BROWSER VRML PARA NAVEGAÇÃO AUTOMÁTICA
FONTE: Zara e Cernohorsky (2000)

Um dos problemas encontrados durante a implementação da navegação automática foi em relação à orientação do avatar, que deveria considerar duas direções, por exemplo: a entrada e saída das salas. A solução encontrada foi a inserção de pares de visualizações que representam os caminhos, cada um com uma orientação diferente, como uma rua de duas vias (ZARA e CERNOHORSKY, 2000).

2.2.3.3 Edição das salas, móveis e objetos multimídia

Usuários devidamente autorizados podem modificar a parâmetros das salas, como as cores e texturas das paredes, forro e piso. Para esta função foi desenvolvido um *script* CGI dedicado, permitindo editar os atributos das salas através de três janelas de interação (ZARA e CERNOHORSKY, 2000):

a) janela principal: faz o relacionamento entre as partes da sala (e.g. paredes, forro e piso) com os materiais e/ou texturas;
b) janela de informação: fornece uma pré-visualização dos parâmetros selecionados, permitindo também sua manipulação, ou seja, criação, modificação e remoção de materiais e texturas aplicadas;
c) janela VRML: apresenta o modelo virtual da sala contendo as propriedades selecionadas na janela principal. Caso o usuário esteja satisfeito com o resultado obtido, o novo modelo da sala poderá ser atualizado no banco de dados.

Além de alterar os atributos das salas, como materiais e texturas, o sistema também permite a manipulação dos objetos virtuais que existem dentro das salas. Esta função foi projetada de modo que usuários inexperientes em edição gráfica possam utilizar a ferramenta e assim, fazer modificações como: adicionar novos objetos e posicionar os móveis. Esse trabalho de edição do interior das salas é feito por usuários autorizados e, portanto, requer senha de acesso. A interface do usuário foi implementada como uma página em HTML sub-dividida em quatro *frames*: *frame* de edição da sala, que contém um applet Java, que é o principal programa de edição e trabalha com cada cômodo individualmente; *frame* dos objetos VRML, utilizado como uma janela de pré-visualização dos objetos VRML que serão inseridos nas salas; *frame* da sala VRML, que apresenta todo o modelo VRML da sala atualmente trabalhada e *frame* de controle, que auxilia o usuário na edição, remoção e inserção de objetos do banco de dados (ZARA e CERNOHORSKY, 2000).

O Applet de edição das salas permite a seleção de um tipo geral de móveis (e.g. cadeiras e mesas) e de peças específicas. O objeto selecionado é então inserido no ambiente da sala e posicionado. É possível re-posicionar objetos já

existentes, assim como excluí-los, arrastando-os para fora dos limites da sala. Objetos pequenos, quando são sobrepostos em outros objetos, são automaticamente elevados e quando um objeto multimídia é inserido, o sistema requer o endereço URL utilizado para o *hiperlink*, arquivo de audio, etc. A janela de edição mostra apenas a vista em planta e representa os objetos como simples caixas em 2D para o posicionamento dos objetos 3D, sendo esta abordagem suficiente para a maioria dos casos (ZARA e CERNOHORSKY, 2000).

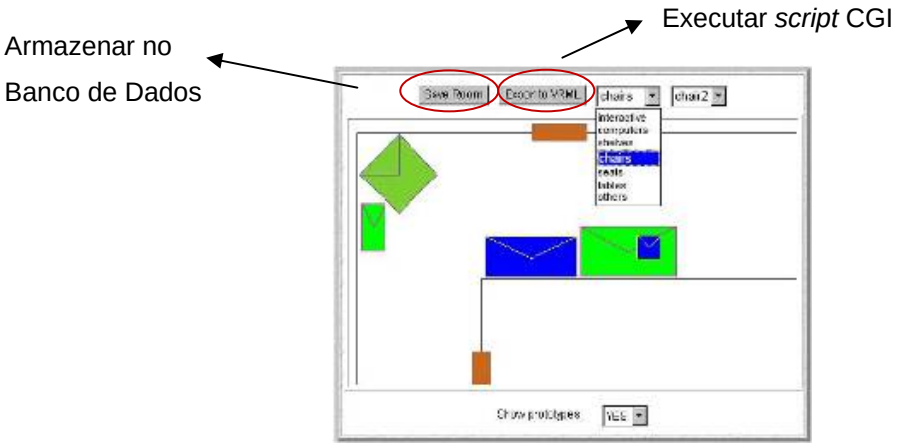


FIGURA 35 - APPLET JAVA PARA EDIÇÃO DAS SALAS
FONTE: Zara e Cernohorsky (2000)

A geração do arquivo em VRML é feita através do botão “Export to VRML” e o mecanismo de colaboração entre o Applet Java e o *script* CGI é descrito em cinco passos (ZARA e CERNOHORSKY, 2000):

a) quando inicializado, o Applet Java conecta o *script* CGI, que é responsável pela comunicação com o banco de dados;
b) o applet recebe os dados não processados (puros) do banco de dados a partir do *script* e então cria o leiaute em 2D com os objetos;
c) uma vez selecionado um novo objeto da lista de opções, o applet chama o *script*, que então gera o objeto em VRML e o envia para o “*frame* dos objetos VRML”;
d) através do botão “Export to VRML”, o *script* é novamente chamado para gerar o modelo completo da sala em VRML apresentado no *frame* da sala VRML;

e) O botão “Save room” inicia o *script* para armazenar o modelo criado da sala no banco de dados.

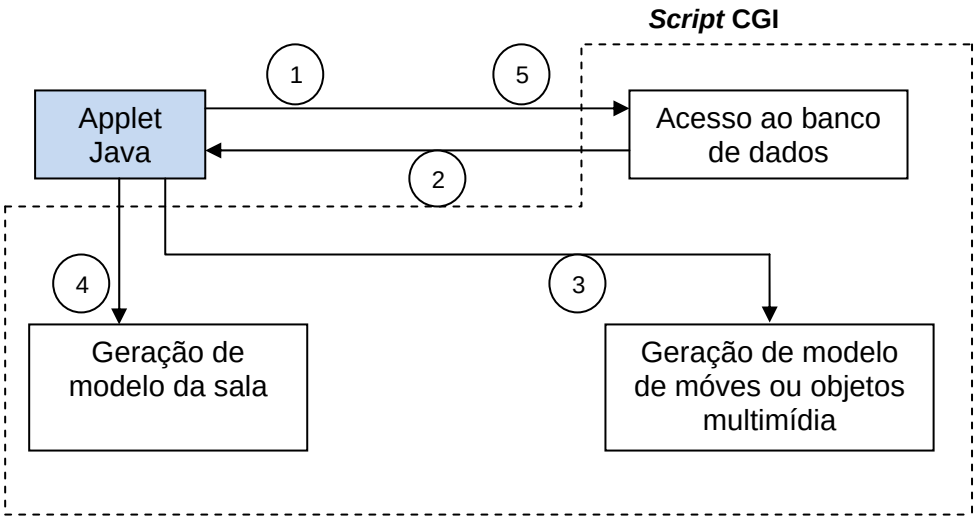


FIGURA 36 - MECANISMO DE COLABORAÇÃO ENTRE APPLET JAVA E SCRIPT CGI
FONTE: Zara e Cernohorsky (2000)

Objetos em VRML arbitrários podem ser armazenados no banco de dados, desde que tenha sido definida a descrição dos limites da caixa e opcionalmente a cor. Esses parâmetros são armazenados no banco de dados e disponibilizados no applet Java de edição (ZARA e CERNOHORSKY, 2000).

2.2.3.4 Aprimoramentos do sistema

O sistema ainda está em desenvolvimento. Alguns problemas foram encontrados, que revelam a instabilidade da combinação de tecnologias, como: browser WEB, browser VRML, applet Java e *script* CGI. Acredita-se que a causa seja a interface EAI entre o browser VRML e outros componentes. Por enquanto, os seguintes tópicos estão sendo aprimorados (ZARA e CERNOHORSKY, 2000):

a) acréscimo de multimídia: o sistema atual suporta apenas alguns clips de audio, que consistem na gravação das vozes dos professores, dizendo, por exemplo: “*welcome speech*”. A inserção de mais recursos de audio aumentaria a qualidade do ambiente virtual.

b) acréscimo de interatividade: usuários avançados poderiam carregar seus modelos VRML, assim como imagens e fotos no sistema. No entanto, a fim de preservar a velocidade de renderização, deverá existir um processo de verificação automática do tamanho dos arquivos.
c) informações *on-line* em tempo real: Disponibilização de informações conforme a época e atividade a ser desenvolvida, por exemplo, informações a respeito de palestras.

2.2.4 BEAVER: Universidade de Bielefeld, Alemanha

BEAVER é um programa de CAD especializado para projetos DIY (*Do it yourself*) de armários adaptados para paredes e forros inclinados, que resultou de uma cooperação entre a Universidade de Bielefeld e uma empresa alemã de acessórios de conexão para móveis para o mercado DIY. O software foi implementado através de tecnologias WEB, como: VRML e Java e, portanto, pode ser executado em um *browser* WEB. O objetivo principal do sistema é permitir aos usuários a modificação do projeto do armário por meio da direta interação no modelo 3D. Assim, é possível adicionar prateleiras ou alterar a dimensão do armário. Um assistente baseado em inteligência artificial guia o usuário durante a edição do armário a fim de garantir que relevantes regras de projeto tenham sido observadas. Uma vez concluída as alterações de projeto pelo usuário, o sistema automaticamente configura o modelo para adaptar as peças de ajustes necessárias para a montagem final do móvel. Depois de inseridas as peças de ajustes, o sistema gera uma lista com todas essas placas e acessórios, além de um manual de montagem customizado. O sistema é dedicado a usuários DIYer (*Do it yourselfers*), que usualmente são inexperientes tanto na atividade de projeto e montagem de móveis, como no uso de ferramentas CAD. Por isso, foi projetada uma interface de sistema muito intuitiva e que exigisse um curto período para aprendizagem (NOUSCH e JUNG, 2001).

2.2.4.1 Projeto virtual dos armários

A tela de interface do usuário é dividida em um espaço de trabalho 3D interativo e outro espaço para inserção de dados. Desta forma, o modelo pode ser manipulado tanto através da interação direta na representação gráfica em 3D, como através da alteração dos valores dos seus parâmetros, modificando indiretamento sua forma. O processo de projeto virtual dos móveis é feito passo-a-passo, de modo que existe um estágio para a seleção do tipo de armário, outro para o re-dimensionamento do móvel e um último para inserir ou modificar prateleiras. A prototipagem virtual permite a visualização de certas funções do modelo antes da sua construção real, por exemplo, é possível visualizar o ângulo de abertura das portas, que podem ser abertas através de um clique no botão da tela ou arrastando a maçaneta virtual com o mouse. As placas dos armários foram modeladas como objetos paramétricos de modo que as alterações são dinâmicas durante o processo de projeto. Assim, o usuário pode modificar atributos como altura ou largura do mobiliário, mesmo tendo prateleiras ou portas já inseridas. O software então processa os dados e re-configura um novo modelo, considerando todos os componentes inseridos e suas posições, sendo inclusive capaz de resolver conflitos e interferências projetuais. Assim, caso o armário sofra uma redução muito grande, alguns componentes podem ser excluídos, de modo a manter apenas o número de prateleiras permitido para certa altura de armário. Na resolução desses problemas, as portas e suas dobradiças são posicionadas com prioridade, de modo que se existir um conflito entre uma dobradiça e uma prateleira, a prateleira é removida do modelo (NOUSCH e JUNG, 2001).

A montagem das peças é realizada através de pares de conexões virtuais, denominadas *slots*. O programa rastreia os *slots* bloqueados ou já ocupados. Por exemplo, caso a dobradiça da porta ocupe uma conexão do *slot,* o programa evita que este par de conexões seja utilizado por uma prateleira. Esse processo de montagem é realizado através de um mecanismo *snapping*, no qual o usuário apenas sobrepõe a prateleira na parede do armário no ponto das conexões virtuais. Esta sobreposição não precisa ser exata, pois o sistema faz o ajuste automaticamente, inserindo a prateleira no *slot* mais próximo. Em seguida o sistema

automaticamente seleciona o tipo e o número de conexões necessárias para a prateleira escolhida. Caso a prateleira seja inserida em uma parede inclinada, o sistema faz o redimensionamento da peça de modo que seja ajustada ao armário. Para cada conexão existe uma descrição de como a prateleira deve ser furada e cortada na montagem real, sendo esta descrição posteriormente utilizada para a geração do manual de montagem do armário (NOUSCH e JUNG, 2001).

2.2.4.2 Geração de lista de materiais e manual de montagem

Uma vez concluída a tarefa de projetar, é gerada uma lista de materiais para compra e um manual de montagem customizado. A lista de materiais é composta por tipos e códigos de conexões e dobradiças, assim como uma descrição da forma e escala das placas necessárias. Para cada conexão existe uma figura para facilitar a identificação da peça e do mesmo modo, para cada placa existe um desenho do seu formato com informação do seu tamanho (NOUSCH e JUNG, 2001).

O manual de instruções contém a descrição do processo de montagem com esquemas das furações, fornecendo informações de como e onde as peças são montadas. Por ser gerado a partir do modelo de armário construído pelo usuário, o manual contém informações de montagem específicas para aquele móvel. Dessa forma, dificuldades particulares de instalações são descritas passo-a-passo através de desenhos. Além disso, são mencionadas conexões alternativas, especialmente dobradiças, que podem ser utilizadas mesmo após a instalação. A combinação de texto e imagens para os manuais auxiliam o DIYer no processo de montagem a fim de evitar erros (NOUSCH e JUNG, 2001).

A lista de materiais e os manuais de instruções são disponibilizados aos usuários como páginas WEB, que podem ser acessadas ou imprimidas (NOUSCH e JUNG, 2001).

2.2.4.3 Implementação do CAD na WEB

O software BEAVER foi implementado para a WEB através de três linguagens de programação: Java, VRML e JavaScript (NOUSCH e JUNG, 2001).

A linguagem Java foi utilizada para controlar a processo projetual e ainda para desenvolver a interface do usuário de inserção de dados. As classes de dados do applet Java foram organizadas da seguinte forma (NOUSCH e JUNG, 2001):

a) Classe applet Java: esta classe controla o menu principal, estabelece a comunicação com o renderizador 3D e faz o relacionamento com outras classes do sistema;
b) Classe Closet: é a maior classe do applet e controla o processo de montagem do closet. Esta classe contém a estrutura de todos os componentes virtuais, dependências e todas as regras de projeto modeladas no sistema;
c) Classe Placa: esta classe gerencia a apresentação dos componentes do armário (e.g. paredes, prateleiras, portas) no ambiente de trabalho 3D. Portanto, esta classe faz o cálculo da forma de cada componente 3D, controla a aparência dos objetos em termos de transparência, cor, textura, etc e auxilia na manipulação dos objetos pelos usuários.
d) Classe Conexões: esta classe é similar à classe placa e gerencia a representação 3D das conexões. As informações dinâmicas mantidas por esta classe são: tipo, função, tamanho, posição e orientação. A informação sobre detalhes da forma física da conexão também foi incluída, no entanto é utilizada apenas para a geração do manual de montagem e não tem impacto na montagem virtual.

2.2.4.4 Visualização e montagem virtual através do VRML

No sistema BEAVER, a renderização 3D dos objetos foi feita através da linguagem VRML e a comunicação entre o *browser* VRML e o applet Java foi estabelecida através da interface EAI. O ambiente virtual consiste de três seções diferentes (NOUSCH e JUNG, 2001):

a) arquivo VRML: é o arquivo principal que permite as funções de visualização, rotação e zoom do modelo virtual do armário. O arquivo também armazena informações de iluminação e figura de fundo da cena.
b) console de navegação: desenvolvido como um arquivo externo VRML. A interface apresenta a figura de um homem que, opcionalmente pode ser mostrada de modo a proporcionar ao usuário a noção de escala do armário.
c) conexões e componentes virtuais: esses objetos foram criados dinamicamente através do applet Java via interface EAI.

FIGURA 37 - CONSOLE DE NAVEGAÇÃO
FONTE: Nousch e Jung (2001)

2.2.4.5 Comunicação e geração de páginas dinâmicas: *JavaScript*

O *JavaScript* foi utilizado para gerar a lista de materiais necessários para o armário e o manual de montagem. Para gerar essa documentação, o applet decompõe a representação interna do armário em uma lista de variáveis e seus respectivos valores. Essa lista de parâmetros é então anexada a uma nova URL no servidor e um arquivo HTML, contendo as funções do *JavaScript,* interpreta esses parâmetros e gera a lista de materiais e o manual de montagem. Essa documentação é apresentada como páginas WEB contendo texto e imagens que podem ser impressas ou salvadas em disco (NOUSCH e JUNG, 2001).

2.2.5 SWEET HOME 3D

Sweet Home 3D é um software livre implementado em liguagem Java para design interior de residências com visualização em 3D. Este software está disponível no endereço eletrônico: http://sweethome3d.sourceforge.net. Através deste sistema é possível a construção de paredes e inserção de mobiliários a partir de um catálogo organizado por categorias (e.g. banheiro, cozinha, portas e janelas, quarto, sala de estar, variados). Cada alteração feita na vista em planta é imediatamente refletida na visualização em 3D, permitindo a elaboração de projetos realísticos. A interface do *Sweet Home 3D* é composta por quatro janelas: o catálogo de mobílias, lista de mobílias da casa, o plano da casa em 2D e a visualização 3D (SWEET HOME 3D, 2008).

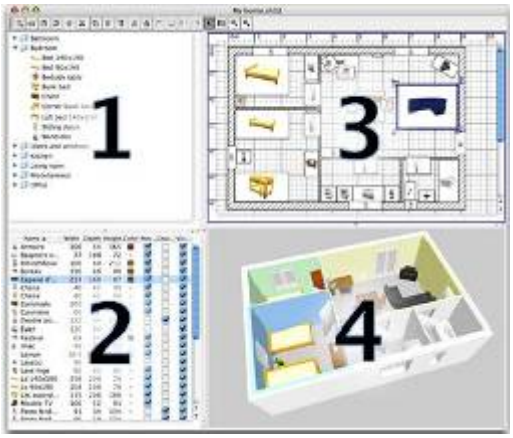


FIGURA 38 - INTERFACE DO SWEET HOME 3D
FONTE: Sweet Home 3D (2008)

a) catálogo de mobílias: este catálogo está organizado em categorias e contém todas as mobílias e objetos que podem ser inseridos no projeto da residência. A inserção é feita através do arraste dos objetos no plano 2D, sendo todas essas alterações imediatamente refletidas na visualização 3D.
b) lista de mobílias da casa: esta lista contém todas as mobílias inseridas no projeto da residência e respectivas informações, como: nome, tamanho e outras características. Esta lista pode ser ordenada clicando no título de cada coluna, ou através do menu *Mobília>ordenar por.* A exibição das colunas pode ser alterada através do menu *Mobília>Exibir coluna.*
c) o plano da casa em 2D: apresenta a vista em planta com um quadriculado para auxiliar o projeto. É neste plano que ocorre o desenho das paredes e a inserção dos mobiliários. O posicionamento destes objetos pode ser feito tanto através do mouse como através das setas do teclado.
d) visualização 3D: apresenta a casa em três dimensões. A visualização pode ser tanto aérea como sob o ponto de vista do observador.

2.2.6 Discussão sobre os Sistemas CAD baseados na WEB

A fundamentação teórica a respeito de sistemas CAD baseados na WEB buscou reportar experiências de desenvolvimento de diversos centros de pesquisa do mundo sobre o tema. Assim, foram apresentados experimentos realizados na China, na Tailândia, na República Checa e na Alemanha. A apresentação encerra-se com a exposição de um software livre, passível de download no endereço eletrônico: http://sweethome3d.sourceforge.net. Essa seleção bibliográfica foi orientada de modo a fornecer informações importantes para o desenvolvimento do sistema CAD-WEB para aplicação da coordenação modular, proposto nesse trabalho de pesquisa. Portanto, os experimentos reportados, além de apresentarem os procedimentos efetuados para implementar o CAD na WEB e os fluxos de dados, alguns possuiam a particularidade de serem direcionados para projeto de leiaute gráfico ou de mobiliário, que foi o foco de desenvolvimento do proposto sistema CAD-WEB. Dessa maneira foi possível verificar nesses sistemas os requisitos funcionais e como estes foram implementados, assim como analisar as dificuldades encontradas durante esses desenvolvimentos e as sugestões de futuros aprimoramentos. A partir dessa fundamentação teórica, foi possível avaliar também a interface gráfica do usuário e assim, verificar como projetar uma interação amigável como usuário. Especificamente, o sistema Beaver, apresentado neste capítulo, foi direcionado à usuários *do-it-yourselfers*, ou seja, que não possuem habilidade projetual e nem estão habituados ao uso do computador. Isto permitiu colher subsídios para o design de interface e formas de interação que facilitassem a usabilidade de sistemas gráficos interativos.

Portanto, conforme os autores estudados verifica-se que as tecnologias adequadas para implementar sistemas CAD na WEB são a linguagem Java e a linguagem VRML. A linguagem Java mostrou-se apropriada para desenvolver a interface do usuário e a linguagem VRML mostrou-se adequada para o desenvolvimento do ambiente 3D. Outra questão avaliada na fundamentação teórica diz respeito às formas de manipulação dos objetos. Assim, foi verificada a possibilidade de executar os seguintes comandos de edição por meio da WEB: arrastar, deletar, copiar e rotacionar.

Através do estudo dessas referências reportadas, foi possível também constatar o uso de agentes inteligentes que auxiliam o processo de projeto. Esse recurso foi utilizado tanto para o sistema CAD-WEB para projetos colaborativos, como para o sistema Beaver. No sistema CAD-WEB para projetos colaborativos, o uso de agentes auxilia no gerenciamento do projeto, de modo a buscar uma solução otimizada de projeto. No sistema Beaver, o sistema de agentes orienta o usuário durante a edição dos armários, de modo a garantir que as regras de projeto sejam obedecidas. Assim, constata-se a viabilidade do uso de inteligência artificial de modo a resolver problemas de ajustes de modulação para o sistema CAD-WEB proposto neste trabalho. Além disso, um sistema de agentes poderia contribuir para orientar o usuário durante a etapa de conexão entre componentes e subsistemas da construção civil com aplicação da coordenação modular.

3 MÉTODO DE PESQUISA

Como colocado anteriormente, o presente trabalho busca subsídios para o seguinte problema de pesquisa: *como conceber um sistema CAD baseado na WEB para aplicação da coordenação modular nas Habitações de Interesse Social?* Conforme Robson (1993), essa pesquisa caracteriza-se como um estudo exploratório, pois pretende responder questionamentos, buscar novos indícios e avaliar um fenômeno sob uma nova ótica. Com o objetivo de aumentar a confiabilidade dos dados desta pesquisa, foram adotados múltiplos métodos de pesquisa. Segundo Robson (1993), múltiplos métodos de pesquisa são efetivos como forma complementar para aprimorar a capacidade de interpretação. Para o mesmo autor, o uso de múltiplos métodos de pesquisa caracteriza-se como a triangulação em pesquisa e apresenta como vantagem a possiblidade de apontar para respostas discordantes e remover certezas enganosas. Portanto, para a condução do presente trabalho foram selecionadas três estratégias de pesquisa: Estudo de Caso, Método Delphi e Experimento.

3.1 ESTUDO DE CASO

O Estudo de Caso foi adotado para buscar subsídios a primeira etapa desta pesquisa que foi entender como a falta da coordenação modular afeta as condições de moradia nas Habitações de Interesse Social. Esse estudo contribuiu para a análise de requisitos do sistema CAD-WEB, pois permitiu observar as funcionalidades necessárias do sistema para aplicação da coordenação modular nas Habitações de Interesse Social. Além disso, o estudo de caso também permitiu observar aspectos cognitivos de usuários potenciais do sistema CAD-WEB, como formas de linguagem, noções sobre projeto arquitetônico, conhecimentos sobre construção civil e materiais e componentes construtivos. Conforme Yin (2005), o método de Estudo de Caso torna-se uma estratégia válida quando se pretende responder questões do tipo “como” e “por que”. Desta maneira, enquadra-se bem ao problema proposto. Além disso, segundo Yin (2005), estudos de casos são apropriados quando se investiga um fenômeno contemporâneo dentro do seu contexto de vida real, particularmente quando os limites entre o fenômeno e o contexto não estão claramente definidos. Robson (1993) reforça a adequação da estratégia de pesquisa adotada quando caracteriza o estudo de caso como um estudo empírico de um fenômeno, dentro do seu contexto real, usando “múltiplas fontes de evidência”. Segundo o mesmo autor, essas “fontes de evidência” revelam não apenas dados quantitativos, assim como informações qualitativas. Na pesquisa foi realizado um estudo de caso piloto e seis estudos de caso, pois segundo Gil (1991), para que os resultados obtidos sejam significativos, recomenda-se o estudo de certa variedade de casos. A condução dos estudos de casos múltiplos seguiu as sugestões de Gil (1991):

a) buscar casos típicos de modo a expressar o tipo ideal da categoria;
b) selecionar casos extremos de modo a fornecer uma idéia dos limites dentro dos quais as variáveis podem oscilar;
c) tomar casos marginais, com objetivo de encontrar casos atípicos para conhecer o escopo dos casos normais e possíveis causas do desvio.

3.1.1 Critério de seleção do estudo de caso

O estudo de caso foi realizado no Loteamento Moradias Sambaqui, que se refere a um conjunto habitacional contruído com o apoio da COHAB-CT. A escolha desta comunidade para o estudo de caso baseou-se pelos seguintes aspectos: existência de tipos distintos de formação familiar, diferentes tipologias de residências (modelos de casa padrão juntamente com outros projetos distintos), habitações construídas por programas habitacionais governamentais de interesse social, similar nível sócio econômico dos moradores e existência de conjuntos com épocas de ocupação distintas (habitações já construídas, em construção, ainda para serem construídas). Portanto, as unidades de análise para este estudo foram as Habitações de Interesse Social. Os principais objetivos da coleta de dados neste loteamento foi perceber a real situação em que vivem essas famílias, analisar a funcionalidade dos ambientes construídos e compreender necessidades de adaptações nas residências.

3.1.2 Protocolo de coleta de dados

O protocolo de coleta de dados possui importância significativa, pois representa uma das táticas principais para aumentar a confiabilidade da pesquisa de estudo de caso e destina-se a orientar o pesquisador a realizar a coleta de dados. Portanto, o uso do protocolo pemite ao pesquisador lembrar constantemente o tema de estudo, além de antecipar diversos problemas que possam vir a surgir. A preparação final para fazer a coleta de dados é a realização de um estudo piloto. O estudo de caso piloto auxilia o pesquisador a aprimorar os planos para a coleta de dados tanto em relação ao conteúdo dos dados quanto aos procedimentos que devem ser seguidos (YIN, 2005). Foi elaborado um protocolo de coleta de dados que contemplasse as seguintes etapas: revisão da literatura sobre o tema de estudo, estabelecimento de parceria e contato com informantes chaves, realização de entrevista com moradores, observações em campo e condução de um estudo de caso piloto.

3.1.2.1 Etapa 1: revisão da literatura sobre o tema de estudo

Conforme Yin (2005), antes de iniciar os estudos de caso é importante revisar a literatura para ter uma maior compreensão do que está sendo estudado. Para Gil (1991) um dos principais objetivos da revisão de literatura é a obtenção de dados em resposta ao problema formulado, além de auxiliar na interpretação dos resultados através do confronto entre os dados alcançados pelo pesquisador e os fornecidos pela pesquisa teórica. Conforme Severino (1996) inicia-se a leitura pelos textos mais recentes, e mais gerais, indo para os mais antigos e mais particulares. Portanto, a revisão da literatura buscou subsídios ao problema proposto nesta pesquisa e iniciou com os conceitos fundamentais sendo então aprofundados ao longo do trabalho. Os tópicos abordados na pesquisa teórica foram: o conceito de módulo, fundamentos da coordenação modular, experiências de construções modulares no Brasil e no mundo, gargalos para a disseminação da coordenação modular e por fim experiências de desenvolvimentos de sistemas CAD baseados na WEB.

3.1.2.2 Etapa 2: estabelecimento de parcerias e contato com informantes chaves

Conforme Yin (2005), um dos procedimentos de campo que devem estar incluídos no protocolo de coleta de dados é obter acesso a organizações ou a entrevistadores-chaves e estabelecer uma agenda clara das atividades de coleta de dados. Portanto, foi realizado o contato com a COHAB-CT a fim de buscar informações sobre a Comunidade a ser analisada. Teve-se acesso a documentos como o projeto padrão COHAB-CT, detalhes construtivos e informações sócio-economicas da região. Nesta fase também foi definido que o mecanismo de acesso à comunidade ocorreria através das lideranças da comunidade, intermediado pelas assistentes sociais da COHAB-CT. Após esse primeiro contato, foi realizada uma visita preliminar ao escritório da COHAB-CT, que se localiza dentro do Loteamento Sambaqui, tendo como principal objetivo apresentar a pesquisadora aos líderes da

Comunidade e demonstrá-los o trabalho a ser realizado. Após o trabalho ser aceito pelos líderes comunitários, foi realizada uma reunião com os moradores da região com o objetivo de estabelecer um cronograma para coleta de dados.

3.1.2.3 Etapa 3: realização de entrevistas com moradores

Segundo Yin (2005), as entrevistas são umas das fontes de informação mais importantes para um estudo de caso. Para este estudo foi utilizada a técnica de entrevista semi-estruturada ou dirigida. Segundo Richardson *et al*.(1999) a entrevista dirigida desenvolve-se a partir de perguntas precisas, pré-formuladas e com uma ordem preestabelecida. Para Richardson *et al*. (1999), esta técnica permite uma maior liberdade que o questionário para as respostas dos indivíduos e o entrevistador dirige o processo de modo a evitar qualquer “desvio” do entrevistado. Os temas abordados nas perguntas contemplaram: tempo de moradia, histórico da renda familiar e perspectiva de evolução, tarefas realizadas nos ambientes da residência e adequação da residência às necessidades do morador.

3.1.2.4 Etapa 4: estratégias de observação em campo

As evidências observacionais são, em geral, úteis para prover informações adicionais sobre um tópico que está sendo estudado. A observação direta pode trazer uma nova compreensão tanto do contexto quanto do fenômeno que está sob estudo (YIN, 2005). Conforme Richardson *et al*. (1999), um dos pontos positivos para o uso da observação é a possibilidade de obter a informação no momento em que ocorre o fato. Segundo Yin (2005) as observações podem ser tão valiosas que justificarão o registro fotográfico do local do estudo. Portanto foi realizada observação direta e registros fotográficos das residências com objetivo da analisar o contexto real da vida dos moradores, detalhes construtivos, interfaces entre sub-sistemas e problemas técnicos decorrentes da falta de coordenação modular. Para a

observação direta foi elaborado um roteiro que orientou a pesquisadora na busca dessas evidências. Esse roteiro foi elaborado com base nas diretrizes para implantação de sistemas construtivos abertos na HIS através da modulação, propostas por Pereira (2005) e nas diretrizes para expansão de HIS, propostas por Larcher (2005). Com o objetivo de aumentar a validade da pesquisa e aumentar as fontes de evidências e consequentemente a confiabiliade dos dados, foram realizadas medições físicas *in loco* das residências analisadas, com o auxílio de uma trena. O objetivo dessas medições físicas foi identificar se o projeto da residência foi elaborado de acordo com os conceitos de coordenação modular.

3.1.2.5 Etapa 5: condução de um estudo de caso piloto

A preparação final para fazer a coleta de dados é a realização de um estudo piloto. O estudo piloto auxilia o pesquisador a aprimorar os planos para a coleta de dados, tanto em relação ao conteúdo dos dados quanto aos procedimentos que devem ser seguidos (YIN, 2005). Portanto, antes de iniciar a pesquisa em campo, foi conduzido um estudo de caso piloto, tendo como objetivo testar os procedimentos do protocolo de coleta de dados e fazer um reconhecimento e aproximação ao objeto de estudo. A residência analisada para o estudo piloto foi referente ao projeto padrão COHAB-CT2- 34B. Com a aplicação do estudo de caso piloto foi possível corrigir falhas em relação à formulação das questões da entrevista e ainda acrescentar novos questionamentos no instrumento utilizado. Também foi possível revisar o roteiro de observação em campo e ainda mensurar o tempo para a condução das entrevistas, para a realização das medições físicas *in loco* e ainda para o registro fotográfico.

Diferentes tipologias de residências

Desperdício de materiais e adaptações da residência

Contexto real da vida dos moradores

FIGURA 39 - EXEMPLOS DAS OBSERVAÇÕES DOS TRABALHOS EM CAMPO

FONTE: A autora (2008)

3.2 MÉTODO DELPHI

Como estratégia complementar ao estudo também foi realizado o Método Delphi com o objetivo de investigar a situação da cadeia produtiva em relação aos gargalos para a disseminação da coordenação modular na construção civil. Com isso também foi possível identificar se o suporte de um software poderia auxiliar a disseminação da coordenação modular. O Método Delphi tem como objetivo estruturar a comunicação de um grupo de especialistas, por meio de interações, na busca de um resultado específico (SÁFADI, 2001). A principal característica deste método é a busca progressiva de consenso em áreas em que o conhecimento ainda não é consolidado ou ainda, em pesquisas que possuem tema complexo. A realização do método ocorre através de sucessivos questionamentos a um grupo de especialistas e as respostas são cumulativamente analisadas visando à obtenção ou não do consenso (SANTOS, VIDOTTO, GIUBLIN e 2005). Portanto, o uso do Método Delphi apresenta-se como uma estratégia viável quanto aos objetivos propostos por essa pesquisa, permitindo esclarecimentos por meio de uma análise interativa.

A técnica baseia-se no uso estruturado do conhecimento, da experiência e da criatividade de um painel de especialistas, pressupondo que o julgamento coletivo, ao ser bem organizado, é melhor do que a opinião de um só indivíduo. O anonimato dos respondentes e o feedback das respostas do grupo para reavaliação das rodadas subseqüentes são as principais características desse método. O anonimato das respostas e o fato de não haver uma reunião física reduzem a influência de fatores psicológicos, como os efeitos da capacidade de persuasão, a relutância em abandonar posições assumidas e a dominância de grupos majoritários sobre opiniões minoritárias (WRIGHT e GIOVINAZZO, 2000). Dessa maneira, os participantes puderam opinar sem sofrer a influência dos demais especialistas do grupo, contribuindo para a integridade das respostas. O papel do pesquisador é moderar e estimular as reflexões. As suas atividades compreendem o agrupamento das questões e comentários que apresentam consenso, além de simultaneamente, provocar novas discussões nos itens em que não houve respostas ou comentários. A tarefa do pesquisador se torna gradualmente mais ágil, conforme evolução das

discussões, uma vez que a tendência dos debates é focar somente nos pontos que ainda não tem convergência entre especialistas (SANTOS, VIDOTTO e GIUBLIN, 2005).

O princípio da operação do método é a regular e sistemática apresentação de perguntas sobre um determinado problema, no caso da realização do método via Internet. Para a realização do Método Delphi é necessária a constituição de um grupo de especialistas em determinada área do conhecimento a fim de responder a uma série de questões referentes a um problema de pesquisa claramente definido. A síntese das respostas dos questionamentos é reportada aos especialistas, que retornam com suas análises críticas do conteúdo. Em cada etapa podem ser formuladas novas perguntas, como meio para estimular a reflexão entre os especialistas. As interações procedem desta forma até que seja atingido um consenso, ou quase consenso (SANTOS, VIDOTTO e GIUBLIN, 2005).

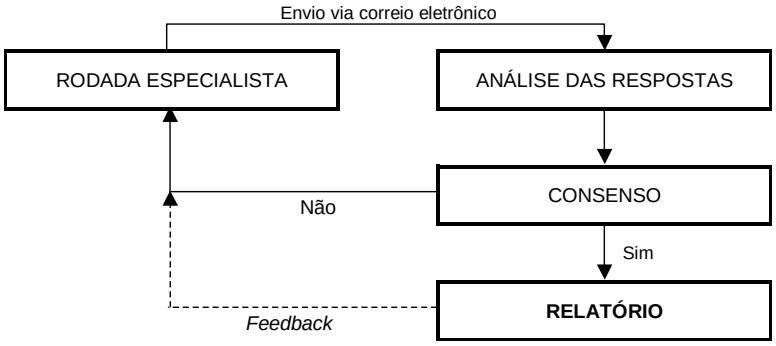


FIGURA 40 - SEQUÊNCIA DO MÉTODO DELPHI VIA INTERNET
FONTE: Santos, Vidotto e Giublin (2005)

3.2.1 Condução do Método Delphi

Seguindo este princípio de operação, o Método Delphi foi aplicado nesta pesquisa a partir da seguinte problemática *“Quais os gargalos para a disseminação da coordenação modular na construção civil?”* Esta pesquisa foi uma das ações da Rede “Desenvolvimento e Difusão de Tecnologias Construtivas para Habitação de Interesse Social” e contou com o apoio das seguintes Universidades: UFRGS, UFSC, UFPR, USP, UFMG, UFAL, UFC, UFPB. Os componentes construtivos estudados foram: blocos cerâmicos, blocos de gesso, blocos de concreto, revestimentos cerâmicos, esquadrias, projetos de estruturas de concreto e pré-fabricados de concreto. No entanto, apesar das respostas refletirem a situação de cada empresa a tônica das perguntas teve o setor como escopo. O Método Delphi foi realizado via Internet e aplicado em um grupo de empresas fabricantes e projetistas dos componentes construtivos mencionados. O critério de seleção dos participantes foi a experiência de atuação no mercado e portes diferenciados, de modo a obter informações em um campo mais amplo de estudo.

O Método Delphi foi composto por três rodadas sendo que a cada rodada era enviada a síntese das respostas aos participantes. Isso permitiu o diálogo entre os diversos intervenientes da cadeia produtiva. A elaboração dos questionários foi baseada nas respostas obtidas nas rodadas anteriores, de modo a esclarecer pontos ambíguos e buscar concordância em questões divergentes. O conteúdo dos questionários pode ser consultado no Apêndice 2 deste trabalho.

3.3 DESENVOLVIMENTO SISTEMA CAD-WEB PARA APLICAÇÃO DA COORDENAÇÃO MODULAR

Nesta pesquisa foram desenvolvidos dois protótipos de sistemas CAD-WEB para aplicação da coordenação modular, conforme objetivo final deste estudo. Este trabalho refere-se a uma das metas do projeto “Kits Divisória-Mobiliário *Do-it-yourself* para Habitação de Interesse Social” e tem como principal objetivo auxiliar o usuário na elaboração de um projeto de leiaute gráfico para mobiliário-divisória. Por isso, o sistema CAD-WEB é dedicado especialmente a usuários de baixa renda, que necessitam fazer adaptações nas suas residências através de mobiliário-divisória. Assim, através do estudo de caso foi possível conhecer os usuários potenciais do sistema e fazer uma analise sobre a ergonomia do sistema conforme perfil do usuário estudado. Durante o desenvolvimento do sistema CAD-WEB optou-se por deixar pré-definido no software o modelo de residência CT2-34B da COHAB, uma vez que o objetivo do desenvolvimento foi atender à população do Conjunto Habitacional Moradias Sambaqui no arranjo do mobiliário-divisória através deste sistema CAD-WEB. Assim, a partir de uma biblioteca de objetos, os diversos armários poderiam ser inseridos dentro da planta da casa da COHAB pré-definida para a composição do leiaute de divisória-mobiliário, conforme suas necessidades. A orientação de projeto em relação à modulação é feita através de um *grid* modular e da ferramenta *snap*, que conduzem o usuário durante o projeto para que seja respeitado o módulo básico de dez centímetros. A fim de auxiliar o usuário durante a elaboração do projeto, o sistema fornece um relatório dinâmico para consulta de informações sobre custo unitário do móvel, custo total de móveis inseridos, lista de fornecedores e instruções a respeito do processo de montagem e desmotagem dos móveis. O desenvolvimento da interface do sistema foi focado nos princípios ergonômicos e de usabilidade de interfaces gráficas interativas, de modo que esta fosse a mais intuitiva possível, favorecendo o seu aprendizado.

O sistema tem suporte WEB e é baseado na arquitetura cliente-servidor. O desenvolvimento ainda está na fase de protótipo, já tendo sido desenvolvidos dois modelos. Para a implementação dos protótipos, foi utilizada a linguagem Java por ser adequada para o desenvolvimento de sistemas gráficos para a WEB. Conforme

Nousch e Jung (2001), a linguagem Java é uma estratégia viável para o desenvolvimento de programas com estruturas complexas e que exigem uma interface gráfica de usuário atrativa. Além disso, segundo esses autores, uma aplicação em Java pode ser interpretada por qualquer *browser* WEB, tendo boa aceitação entre os usuários de Internet. O desenvolvimento dos protótipos iniciou com uma pesquisa no mercado sobre os softwares já existentes de apoio a projeto de leiaute de móveis planejados. Com base nas funcionalidades encontradas nesses softwares e confrontando com as necessidades do usuário do sistema percebidas através do estudo de caso, foram estabelecidos os requisitos do sistema: ambiente 3D, acesso WEB, passeio no ambiente tridimensional, visualização pré-definidas (planta e perspectiva) e consulta dinâmica de relatório com informações de custo unitário, custo total, lista de fornecedores, processo de montagem e desmontagem.

O primeiro protótipo foi baseado na plataforma *JMonkeyEngine* (http://jmonkeyengine.com/), que se refere a uma tecnologia para ambientes gráficos para jogos em 3D, sendo implementado em liguagem Java 3D. No entanto, devido a necessidade de computadores de alta performance para o processamento de dados, além de acessórios, como placa gráfica, partiu-se para um segundo desenvolvimento que fosse mais adequado para os usuários em geral do sistema. O segundo protótipo foi baseado em duas tecnologias para a WEB: a linguagem Java e a linguagem VRML. Conforme Nousch e Jung (2001), a linguagem VRML mostra-se adequada para a criação de ambientes tridimensionais interativos para a WEB. Além disso, a manipulação de objetos em VRML é feita através de um visualizador compatível com o *browser* WEB, o que facilita a interação com usuários habituados a Internet. O desenvolvimento deste segundo protótipo iniciou com a modelagem de dados através da UML (*Unified Modeling Language)*, com objetivo de representar a estrutura do sistema. No entanto, neste projeto não foram realizados todos os diagramas UML, representado apenas as funcionalidades do sistema, vistos por atores externos, através do diagrama de Caso de Uso e a estrutura geral de dados, através do Diagrama de Classes. O desenvolvimento do sistema, portanto, foi feito em quatro estágios:

a) análise: esta fase é dedicada a compreender o problema do projetista e como este poderá ser solucionado através da aplicação. Assim, neste estágio são definidos os atores e requisitos funcionais de sistema através do Diagrama de Caso de Uso do UML;

b) projeto: Este estágio é dedicado a definir como os dados serão manipulados pela aplicação. Assim, são definidas as classes de dados do sistema e seus atributos, operações e relacionamentos. A representação é feita através da notação UML para Diagrama de Classes;

c) implementação: Nesta fase as funcionalidades do sistema são codificadas de acordo com a especificação de dados prevista na fase de análise e projeto da aplicação.

d) teste de usabilidade: Esta última fase teve como objetivo avaliar a facilidade de operação do sistema pelo usuário, consistindo em duas etapas: a primeira etapa refere-se a uma pré-análise a fim avaliar o sistema sob a luz dos princípios de ergonomia e usabilidade de sistemas gráficos interativos, sendo realizado através de um *checklist.* A segunda etapa refere-se a uma avaliação do sistema sob o ponto de vista do usuário, através de um ensaio interativo que simula o uso do sistema.

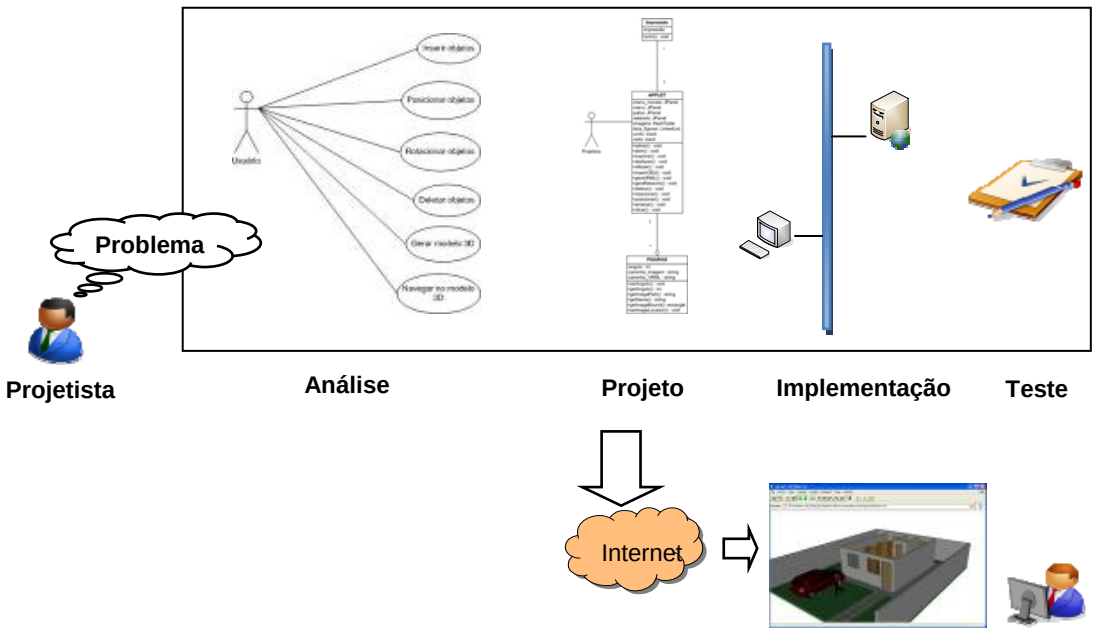


FIGURA 41 - PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA CAD-WEB

FONTE: Adaptada de Intarapadung, Praneetpolgrang e Horadal (2007)

3.4 ESTRATÉGIA DE ANÁLISE

A análise de dados, segundo Yin (2005), consiste em examinar, categorizar, classificar em tabelas, testar ou recombinar as evidências quantitativas e qualitativas para tratar as proposições iniciais de um estudo. Para o Estudo de Caso e para o Método Delphi a estratégia de análise utilizada baseou-se em proposições teóricas e para a análise do sistema CAD-WEB para aplicação da coordenação modular, a estratégia utilizada foi com base nas avaliações de usabilidade de sistemas interativos. A descrição detalhada dos procedimentos das estratégias de análise utilizadas será apresentada a seguir.

3.4.1 Estratégia de análise do Estudo de Caso

A estratégia utilizada para análise do estudo de caso baseiou-se em proposições teóricas, uma vez que o estudo da teoria guiou a elaboração dos objetivos do projeto, as questões de pesquisa e os pressupostos do trabalho. Dessa maneira, conforme Yin (2005), as proposições teóricas determinariam a forma do plano de coleta de dados e, por conseguinte, estabeleceriam a prioridade às estratégias de análise relevantes. As unidades de análise dos estudos de caso consistiram nas Habitações de Interesse Social do Loteamento Moradias Sambaqui. As variáveis do estudo, conforme Richardson *et al*. (1999), são definidas como aspectos observáveis de um fenômeno e possuem características que podem ser mensuradas. Portanto, para o estudo de caso proposto, a variável refere-se à coordenação modular. Os indicadores utilizados para mensurar e analisar os aspectos da coordenação modular foram as medições *in loco* das construções e existência de conectividade entre sub-sistemas. O resultado da análise das variáveis conforme os indicadores estabelecidos foram confrontados com o padrão encontrado na literatura e dessa forma, foi possível realizar as inferências e fornecer subsídios ao problema de pesquisa levantado.

3.4.2 Estratégia de análise do Método Delphi

A estratégia de análise utilizada para o Método Delphi também se baseou em proposições teóricas. As unidades de análise deste estudo foram os fabricantes e projetistas de componentes construtivos e as variáveis estudadas foram as barreiras para a disseminação da coordenação modular na construção civil. Portanto, os indicadores para análise das variáveis foram as respostas ao problema de pesquisa levantado. O resultado da análise dos dados obtidos através do Método Delphi foi examinado à luz da teoria da coordenação modular e também confrontado com as barreiras identificadas pela literatura para adoção de inovações tecnológicas no setor da construção civil. Assim, foi possível fazer inferências e propor ações a fim de superar os gargalos levantados e consequentemente, promover a disseminação da coordenação modular entre os intervenientes da construção civil.

3.4.3 Estratégia de análise do sistema CAD-WEB para aplicação da coordenação modular

Para análise do sistema CAD-WEB para aplicação da coordenação modular foi realizada uma avaliação de usabilidade de sistemas interativos. A usabilidade pode ser compreendida como a capacidade, em termos funcionais humanos, de um sistema ser operado com facilidade e eficiência pelo usuário (SOUZA, 2004). Assim, conforme Nielsen (1993), a usabilidade é tradicionalmente analisada através de cinco atributos, que estão detalhados abaixo:

a) aprendizagem: o sistema deve ser de fácil aprendizado para que o usuário possa operá-lo rapidamente;
b) eficiência: o sistema deve ser eficiente de modo a permitir alta produtividade ao usuário;
c) memorização: o sistema deve ser de fácil lembrança de modo que, mesmo após um período sem operar o usuário seja capaz de utilizar o sistema, sem necessitar re-aprender tudo novamente;

d) erros: a taxa de erros deve ser baixa e erros de extrema gravidade não devem ocorrer. Este atributo recomenda que, ao cometer um erro, o usuário deve ter a possibilidade de recuperar para o estado imediatamente anterior ao erro;
e) satisfação: os usuários devem gostar do sistema, de modo que a sua utlização seja agradável.

3.4.3.1 Princípios ergonômicos para avaliação de usabilidade

A ergonomia tem uma estreita relação com os princípios da usabilidade, uma vez que esta disciplina visa à adaptação do trabalho ao homem por meio de sistemas e dispositivos que estejam adaptados a maneira como o usuário pensa e trabalha. Para a construção de interfaces amigáveis ou ergonômicas, o engenheiro de usabilidade deve, entre outras coisas, conhecer muito bem o usuário e seu trabalho (CYBIS, 2003). Bastien e Scapin (1993) definiram um conjunto de oito critérios que buscam identificar e classificar qualidades e problemas ergonômicos de interfaces gráficas de sistemas interativos, sendo detalhados a seguir:

a) condução: o software ergonômico deve: orientar, informar e conduzir o usuário na interação com o computador através de mensagens, alarmes, rótulos, etc. Este critério é sub-dividido em quatro sub-critérios: a “presteza”, que busca facilitar a navegação dentro do aplicativo e identificar o estado ou contexto no qual o usuário se encontra; o “*feedback* imediato”, que se refere às respostas do sistema às ações do usuário; a “legibilidade”, que indica as características lexicais das informações apresentadas na tela do monitor (brilho, contraste, tamanho da fonte, espaçamento entre linhas, etc) e por fim o “agrupamento/distinção de itens”, que diz respeito à organização visual dos itens de informação, relacionando famílias que possuam parâmetros similares ou indicando diferenças entre classes. Este último sub-critério recebe mais uma divisão: agrupamento/distinção por localização, que diz

respeito ao posicionamento dos itens; e agrupamento/distinção por formato, que diz respeito às características gráficas dos itens.

b) carga de trabalho: refere-se a todos os elementos de interface capazes de reduzir a carga cognitiva e aumentar a eficiência no diálogo. Este critério adverte que quanto maior a carga de trabalho cognitivo para o usuário, maior será a probabilidade de se cometer erros. Além disso, quanto menos o usuário for distraído por informação sem relevância, maior será seu desempenho nas tarefas. Este critério está subdividido em dois sub-critérios: a “brevidade”, que busca a limitação de leitura, entradas e o número de procedimentos e a “densidade informacional”, que se refere à carga de trabalho cognitivo relacionada ao conjunto total de itens de informação apresentadas aos usuários. O sub-critério brevidade se divide em duas outras qualidades ergonômicas: concisão e ações mínimas.

c) controle explícito: refere-se ao controle explícito do usuário sobre os processamentos do sistema, de maneira a limitar erros e ambiguidades. Este critério está sub-divido em: “ações explícitas do usuário”, que recomenda que o computador deve processar somente as ações solicitadas pelo usuário e executá-las somente quando for necessário e “controle do usuário”, que adverte que os usuários devem estar sempre no controle do processamento do sistema (e.g. interromper, cancelar, suspender e continuar).

d) adaptabilidade: diz respeito à capacidade do sistema em reagir conforme o contexto e de acordo com as necessidades e preferências do usuário. Este critério é dividido em outras duas qualidades ergonômicas: a “flexibilidade”, que tem como objetivo permitir a customização da interface de modo a considerar as exigências da tarefa, estratégias utilizadas e hábitos de trabalho; e a “experiência do usuário”, que recomenda que um software ergonômico deve atender tanto um usuário especialista como um usuário novato no uso do sistema.

e) gestão de erros: este critério recomenda que um software ergonômico deve evitar ou minimizar a ocorrência de erros, e quando estes ocorrerem, o sistema deve recuperar ao estado anterior. Este critério

está divido em três sub-critérios: a “proteção contra os erros”, que se refere aos dispositivos empregados para identificar e prevenir os erros; a “qualidade das mensagens de erro”, que se refere à qualidade da mensagem em termos de expressão e conteúdo da informação disponibilizada ao usuário sobre a natureza do erro cometido e de possíveis ações para sua correção; e a “correção de erros”, que se refere aos recursos colocados a disposição do usuário a fim de permitir a correção de seus erros.

f) homogeneidade/coerência: diz respeito ao design de interface gráfica (códigos, denominações, formatos, procedimentos, etc) que deve ser padronizado para contextos idênticos e distintos em outros tipos de contextos.
g) significado dos códigos e denominações: este critério se refere à adequação entre a informação apresentada e sua referência, de maneira que, códigos e denominações significantes possuam uma forte relação semântica com seu referente.
h) compatibilidade: esta qualidade ergonômica refere-se ao acordo que deve existir entre as características do usuário (e.g. memória, percepção, hábitos, competências, idade, expectativas, etc.), características da tarefa e características da organização das saídas, entradas e do diálogo de uma aplicação.

3.4.3.2 Objetivos da avaliação de usabilidade de sistemas interativos

Portanto, a partir desses critérios ergonômicos é possível avaliar se a interface do sistema está adaptada às condições cognitivas e de trabalho do usuário. Uma avaliação positiva destas qualidades ergonômicas reflete uma boa usabilidade do sistema, que significa uma boa qualidade em relação ao uso do sistema. De modo mais específico, a avaliação de usabilidade, de acordo com Cybis (2003), tem como finalidade:

a) constatar, observar e registrar problemas efetivos de usabilidade durante o processo de interação;
b) calcular métricas objetivas para eficácia, eficiência e produtividade do usuário no processo de interação;
c) diagnosticar as características do projeto que provavelmente atrapalham a interação, devido à desconformidade com padrões implícitos e explícitos de usabilidade;
d) prever dificuldades de aprendizado na operação do sistema;
e) Prever os tempos de execução de tarefas informatizadas;
f) Conhecer a opinião do usuário em relação ao sistema;
g) Sugerir as ações de re-projeto mais evidentes em relação aos problemas de interação efetivos ou diagnosticados.

3.4.3.3 Protocolo de avaliação de usabilidade de sistemas interativos

Para a avaliação da usabilidade da interface gráfica proposta neste trabalho foi utilizada a técnica empírica. As técnicas empíricas são aquelas que contam com a participação direta de usuários e são geralmente associadas aos ensaios de interação. Um ensaio de interação consiste em uma simulação de uso do sistema, no qual participam pessoas representativas do público alvo tentando realizar tarefas típicas. A preparação dos ensaios demanda um trabalho detalhado de reconhecimento do usuário-alvo, além de sua tarefa típica para composição de cenários e *scripts* que serão aplicados durante a realização dos testes (CYBIS, 2003). A montagem de um ensaio de interação seguiu as etapas recomendadas por Cybis (2003), sendo apresentadas abaixo:

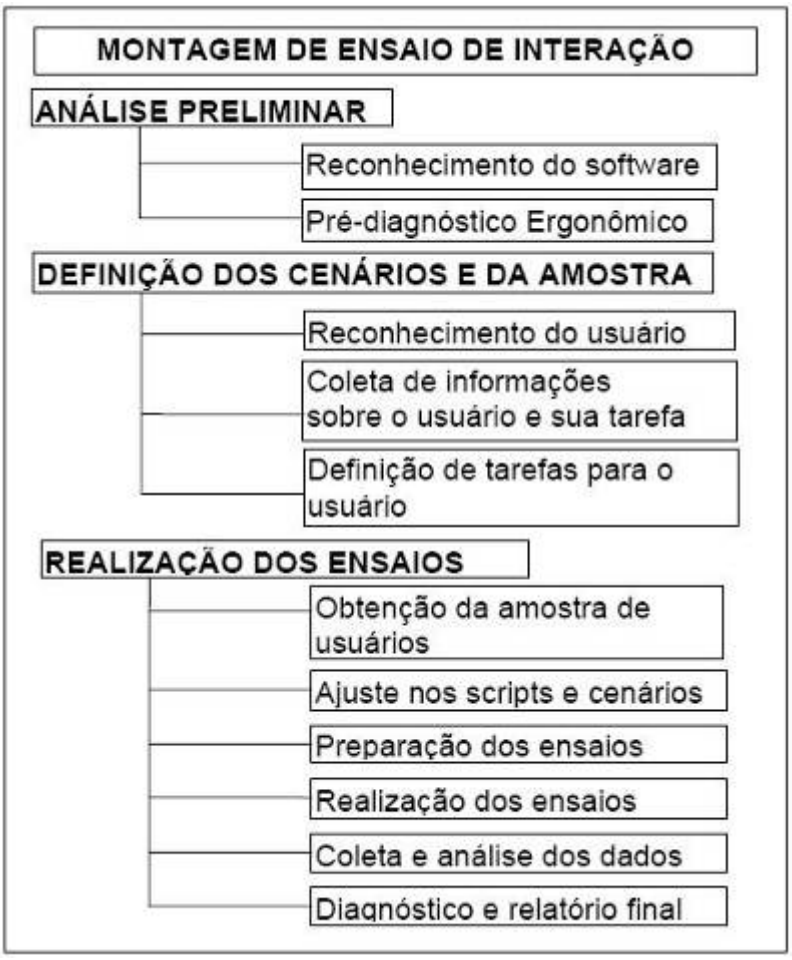


FIGURA 42 - ETAPAS DO ENSAIO DE INTERAÇÃO
FONTE: Cybis (2003)

3.4.3.3.1 Análise preliminar

Na etapa da análise preliminar, os analistas de usabilidade buscam informações a respeito do desenvolvimento do sistema e realizam um pré-diagnóstico dos problemas ergonômicos da interface com o usuário. O pré-diagnóstico pode ser obtido através de *checklists* para inspeção ergonômica. Portanto, no presente estudo utilizou-se a lista de verificação denominada Ergolist. O projeto Ergolist resulta da colaboração entre o Laboratório de Utilizabilidade, do Departamento de Estatística e Informática, do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina (LabUtil/CTC/UFSC) e do SoftPólis, núcleo Softex-2000 do Serviço Nacional da Indústria através do Centro de Tecnologia e Automação

Industrial (SENAI/CTAI) de Florianópolis/SC. Essa lista de verificação ergonômica foi desenvolvida sob a luz dos critérios ergonômicos desenvolvidos por Bastien e Scapin (1993) e pode ser utilizada inclusive por pessoas sem uma formação específica em ergonomia, uma vez que este *checklist* disponibiliza ao avaliador um glossário para os termos técnicos, além de instruções que informam sobre a aplicação dos quesitos da lista de verificação. Portanto, participaram desta avaliação cinco pessoas convidadas, sendo dois arquitetos, uma engenheira e dois estudantes de gestão da informação. O Ergolist está disponível na WEB através do endereço eletrônico: http://www.labiutil.inf.ufsc.br/ergolist/check.htm. Cada critério ergonômico é avaliado através de diversas questões e o avaliador atribui a condição de conformidade, não conformidade ou não aplicável àquela interface. Ao final do processo, o Ergolist disponibiliza um laudo final quantitativo, que permite uma avaliação ergonômica da interface do sistema.

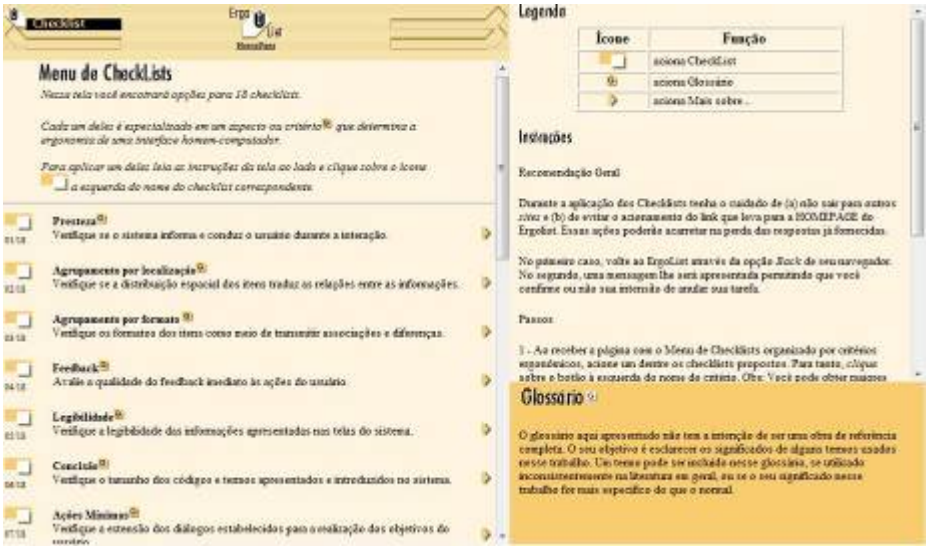


FIGURA 43 - INTERFACE DO ERGOLIST
FONTE: Laboratório de Utilizabilidade - UFSC

3.4.3.3.2 Definição dos cenários e da amostra

O cenário diz respeito às condições ambientais e organizacionais que serão reproduzidas durante os testes. Neste estudo, os ensaios de interação foram realizados dentro de uma sala do Centro de Estudos de Engenharia Civil (CESEC/UFPR). Os equipamentos utilizados foram: um computador com acesso à WEB, periféricos como mouse e teclado para o processo de interação entre o homem e a máquina e uma máquina filmadora. O planejamento dos cenários envolve também a definição de tarefas representativas a serem executadas durante a realização dos testes. Portanto, foi selecionada como tarefa a montagem de um leiaute gráfico com uso de mobiliário-divisória. A tarefa completa está apresentada no Apêndice 4 deste trabalho e procurou explorar as funcionalidades do sistema a fim de constatar os principais problemas de usabilidade de interfaces gráficas interativas.

O sistema CAD-WEB para aplicação da coordenação modular foi projetado para um usuário que tenha necessidade de montar um leiaute gráfico de divisória-mobiliário. Por isso, para realizar os testes interativos foi selecionado o perfil de usuário baseado em critérios como: possuir conhecimentos básicos de informática e noções projetuais. Através do estudo de caso foi possível perceber as necessidades cognitivas dos moradores de Habitações de Interesse Social e assim projetar uma interface amigável direcionada para esses usuários. Em relação ao número da amostra, conforme Souza (2004), a literatura recomenda um número entre seis a doze pessoas para participarem dos ensaios. Portanto, como se trata de um sistema de baixa complexidade, adotou-se o número de seis participantes.

3.4.3.3.3 Realização dos ensaios

A realização dos ensaios seguiu as recomendações propostas por Souza (2004) para a condução do processo de avaliação de usabilidade:

a) receber o participante e explicar como será conduzida a avaliação, o que ele terá que fazer e, quanto tempo durará a sessão. Explicar claramente que o participante não estará sendo avaliado, pois o objeto de estudo é o aplicativo CAD-WEB e, que todo o procedimento será anônimo;
b) solicitar ao participante o preenchimento de um rápido formulário com informações sobre seu perfil;
c) mostrar o ambiente e o equipamento a ser utilizado e, se necessário fornecer informações mais específicas a fim de instruir e descontrair o participante;
d) demonstrar, se necessário, como iniciar o uso do equipamento através de um exemplo;
e) ler a tarefa para o usuário e depois entregar uma cópia em papel. Perguntar se existe alguma dúvida e dar início à execução da tarefa. Orientar o participante quanto aos procedimentos de verbalização durante a avaliação (*think aloud*), para que o analista do processo saiba, além do que os usuários estão fazendo, o que estão pensando;
f) observar a execução da tarefa ao lado do participante e simultaneamente fazer anotações de todos os comentários e reações do usuário durante o ensaio;
g) em uma situação de impasse do participante, fornecer alguma dica ou guiá-lo em dados momentos para que termine a tarefa;
h) em situação de falha dos equipamentos, desconsiderar a tarefa e iniciá-la novamente assim que os problemas forem solucionados;
i) no final do ensaio, realizar uma rápida discussão com o participante (*debriefing*) a fim de buscar comentários gerais sobre a avaliação e possíveis esclarecimentos sobre as dificuldades que possa ter enfrentado durante o ensaio e que não foram relatadas.

O tempo para a realização de todo ensaio foi estimado em uma hora, conforme quadro abaixo:

Atividade	**Duração**
Introdução	10 min
Tarefa	30 min
Discussão	20 min
Tempo total	**60 min**

QUADRO 12 – TEMPO ESTIMADO DE UMA SESSÃO DE INTERAÇÃO

FONTE: Adaptado de Souza (2004)

3.5 ESTRATÉGIA DE VALIDAÇÃO

A estratégia de validação dessa pesquisa seguiu as recomendações propostas por Yin (2005) para demonstrar qualidade na pesquisa. Portanto, foram seguidos os seguintes critérios: validade de constructo ou interna, validade externa e confiabilidade.

Conforme Richardson (1999) a validade de constructo refere-se à validação de uma teoria, de modo que um contructo pode ser considerado como uma hipótese ou explicação de algum tipo de comportamento. Segundo Yin (2005), para que isso seja feito é necessário estabelecer medidas operacionais corretas para os conceitos que estão sob estudo. Portanto, na pesquisa foram adotadas as seguintes estratégias para a validação de constructo:

a) envolvimento prolongado com o tema através da revisão da literatura com o objetivo de obter as questões relacionadas ao problema de pesquisa bem definidas antes de iniciar os procedimentos de coleta de dados.
b) corroboração dos fatos por meio da triangulação dos dados provenientes de múltiplas fontes de evidência. Conforme Yin (2005), a utilização de várias fontes de evidência é uma das táticas para aumentar a validade de constructo, pois assim é possível desenvolver linhas convergentes de investigação. Dessa maneira, segundo o mesmo autor, qualquer descoberta ou conclusão em um estudo de caso provavelmente será

> mais convincente e preciso, tendo como base fontes distintas de informação. Portanto, foi realizado o cruzamento das diversas infomações levantadas: informações documentais e informações coletadas em campo (provenientes das entrevistas, registro fotográfico, medições físicas *in loco* e observações diretas), além de dados obtidos através da pesquisa com o Método Delphi e por meio dos ensaios de usabilidade.

3.5.1 Validade externa

A validade externa, segundo Yin (2005), estabelece se as descobertas de um estudo são generalizáveis além do estudo de caso realizado. Dessa maneira, a revisão bibliográfica visou a análise de conceitos de modulação de modo a aumentar a validade dos resultados em outros contextos. Na revisão de literatura também foram analisadas experiências em construções modulares no Brasil e no mundo. Isto também auxiliou a aumentar o raio de ação dos resultados encontrados, permitindo a aplicação da pesquisa em outras situações, considerando as devidas peculiaridades. O confronto entre os dados obtidos no Método Delphi e a literatura sobre gargalos para inovações tecnológicas na construção permitiu análises em um contexto mais amplo. A seleção bibliográfica a respeito de sistemas CAD-WEB possibilitou comparar o desenvolvimento do proposto sistema CAD-WEB com pesquisas em outros centros e universidades de outras regiões.

3.5.2 Confiabilidade

A confiabilidade da pesquisa, conforme Yin (2005) tem como objetivo certificar-se de que outro pesquisador seja capaz de atingir os mesmos resultados caso siga os mesmos procedimentos adotados na pesquisa anterior. Portanto, todos os procedimentos adotados foram documentados e seguidos com rigor de modo a estabelecer uma diretriz para outros pesquisadores. Além disso, os documentos coletados são provenientes de órgão público da esfera municipal, o que reflete na confiabilidade tanto da origem dos dados como na geração dos resultados atingidos.

3.6 LIMITAÇÃO DO TRABALHO

A identificação de problemas construtivos decorrentes da falta de coordenação modular restringe-se a análises em Habitações de Interesse Social, construídas pela COHAB-CT. A pesquisa a respeito da identificação dos gargalos para disseminação da coordenação modular na cadeia produtiva restringe-se aos seguintes componentes construtivos: blocos cerâmicos, blocos de gesso, blocos de concreto, revestimentos cerâmicos, esquadrias, projetos de estruturas de concreto e pré-fabricados de concreto. Essa pesquisa também possui limitação geográfica, atingindo as seguintes regiões do Brasil: Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, Minas Gerais, Paraíba e Alagoas. Quanto ao desenvolvimento do sistema CAD-WEB para aplicação da coordenação modular existiram restrições tecnológicas, como acesso à WEB, formas de interação por meio do teclado e mouse e sensação de realidade virtual por meio da tela do computador.

3.7 ETAPAS DA PESQUISA

PROBLEMA DE PESQUISA: “ Como conceber um sistema CAD baseado na WEB para aplicação da coordenação modular nas Habitações de Interesse Social ?”

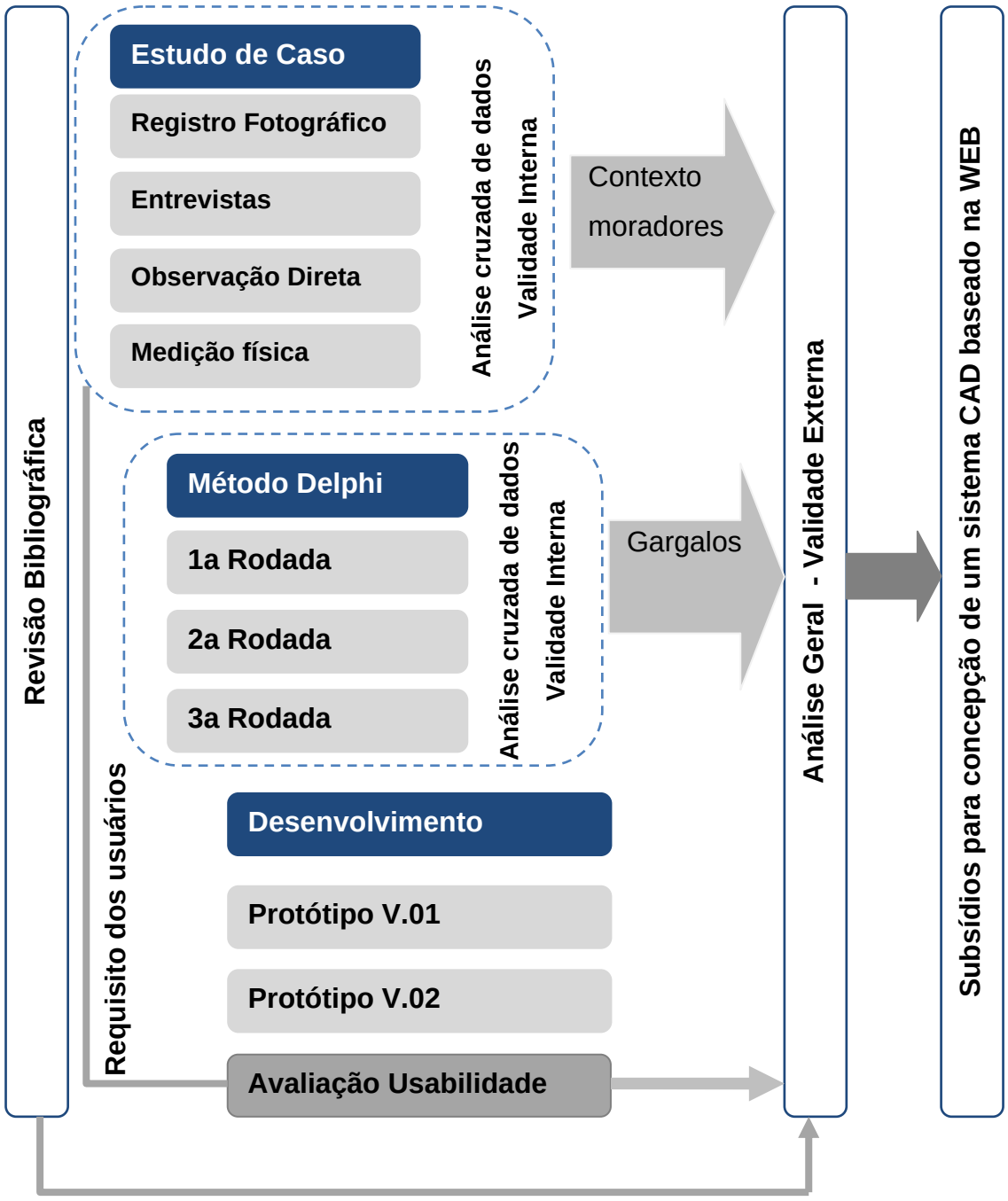


FIGURA 44- ETAPAS DA ELABORAÇÃO DA PESQUISA

FONTE: A autora (2008)

4 DIAGNÓSTICO E ANÁLISE DE DADOS

Este capítulo inicia com o diagnóstico e análise do estudo a respeito de construções modulares realizado no Conjunto Habitacional Moradias Sambaqui. A fim de compreender como os conceitos da coordenação modular foram tratados na construção das residências analisadas foi feito primeiramente um diagnóstico do aspecto dimensional da obra. Uma vez que os aspectos da coordenação modular não se restringem apenas à geometria da obra, foi feito também uma análise em relação à conectividade entre os subsistemas e componentes construtivos. A coordenação modular também foi verificada sob o ponto de vista do usuário. Dessa maneira, foi feito um diagnóstico em relação à flexiblidade e uso do espaço a fim de verificar como a coordenação modular poderia impactar nesses aspectos analisados.

Aprofundando-se no tema de estudo, este capítulo apresenta a situação da cadeia produtiva em relação à coordenação modular. Este estudo foi aplicado através do Método Delphi, composto por três rodadas. Nesta pesquisa foi verificado o entendimento das empresas em relação à definição do termo “coordenação modular”, quais os principais benefícios advindos da sua adoção e os principais gargalos percebidos para a sua disseminação. Ainda foram questionados quais os módulos adotados nas empresas e também a respeito da possibilidade de personalizar um ambiente através da coordenação modular. Finalmente, a última rodada do Método Delphi investigou a respeito das ações das empresas tomadas frente aos gargalos da coordenação modular revelados na pesquisa.

Este capítulo encerra-se com a descrição detalhada do desenvolvimento dos dois protótipos de sistemas CAD-WEB para aplicação da coordenação modular. O primeiro protótipo foi baseado na plataforma para jogos na WEB, *JMonkeyEngine*, e o segundo protótipo foi baseado em duas tecnologias para a WEB: linguagem Java e VRML. Para o segundo desenvolvimento, foi realizada a modelagem de dados através da UML e a avaliação de usabilidade através do *checklist* de ergonomia e dos ensaios de interação. Este segundo protótipo já está disponível no endereço: http://www.cesec.ufpr.br/webcad.

4.1 DIAGNÓSTICO E ANÁLISE DA MODULAÇÃO NO CONJUNTO HABITACIONAL MORADIAS SAMBAQUI

Seguindo as recomendações a respeito dos procedimentos a serem adotados para a condução do estudo de caso, conforme apresentado no capítulo de método de pesquisa, realizou-se um diagnóstico sobre os impactos da coordenação modular nas moradias do Conjunto Habitacional Moradias Sambaqui. Esta pesquisa analisou seis estudos de caso, porém, antes de iniciar a pesquisa em campo foi realizado um estudo piloto na moradia referente ao projeto padrão COHAB-CT2-34B. Este estudo indicou a correção de algumas questões no protocolo, a medição de tempos para a sua condução a ainda permitiu comprovar a eficácia do processo para validar o estudo proposto.

Portanto, esse tópico aborda o diagnóstico e a análise da coordenação modular nas moradias do Conjunto Habitacional Moradias Sambaqui. Para uma melhor compreensão do contexto do estudo, o tópico inicia com uma caracterização do cenário, estabelecendo aspectos do entorno, infra-estrutura e financiamento das residências. Em seguida, de modo a subsidiar as análises propostas, o estudo apresenta uma avaliação do perfil dos morados entrevistados. Dessa forma, os seguintes itens são avaliados: tempo de moradia, renda mensal e constituição familiar.

Examinando particularmente o objeto de estudo, é realizada uma análise das características dimensionais das residências pesquisadas a fim de verificar a concepção do projeto conforme os conceitos de coordenação modular. Quanto aos aspectos construtivos, é feita uma avaliação da intercambialidade e desconexão de componentes e subsistemas. Por fim, o estudo dirige-se para a verificação do uso dos ambientes pelos moradores, abrangendo tarefas rotineiras e necessidades de modificações.

4.1.1 Caracterização do Conjunto Habitacional Moradias Sambaqui

O Conjunto Habitacional Moradias Sambaqui foi construído em março de 2006, no entanto o processo de reassentamento iniciou no início do ano de 2005, sendo que neste período existiam apenas moradias provisórias. Este loteamento faz parte do Bairro Sítio Cercado e abrange a Regional Bairro Novo, área urbana do Município de Curitiba. Possui 21 quadras com 523 unidades unifamiliares e oito lotes cedidos ao Município para implantação de equipamentos públicos, totalizando 531 lotes. No Loteamento Moradias Sambaqui está sendo desenvolvido o Programa de Carta de Crédito FGTS (Fundo de Garantia por Tempo de Serviço) – Operação Coletiva (Resolução 460/224), que estabelece a construção de casas de alvenaria de 33 m^2 para famílias que possuem renda mensal de R$ 200,00 a R$ 350,00. Neste Programa existem dois modelos de projeto padrão COHAB-CT, o modelo 33 e 34B, que contemplam sala/cozinha, quarto de casal, quarto de solteiro e um banheiro. A figura abaixo mostra a planta baixa dos dois modelos de casas de alvenaria da COHAB-CT (COHAB-CT, 2006).

FIGURA 45 - MORADIAS SAMBAQUI
PADRÃO CT2-34B
FONTE: COHAB-CT (2007)

FIGURA 46 - MORADIAS SAMBAQUI
PADRÃO CT2-33

A construção dessas residências é uma parte financiada por subsídios imobiliários do Governo Federal e outra parte complementada com recursos dos próprios moradores. Portanto, para a construção de uma casa do Loteamento Moradias Sambaqui, que possui valor de R$ 10.000,00, o Governo Federal, através dos recursos do FGTS, financia o valor de R$ 8.500,00. O morador fornece uma parcela complementar no valor de R$ 1.500, sendo que este valor é adiantado pela Prefeitura Municipal. Assim, o morador torna-se mutuário da Prefeitura Municipal e terá um prazo de até vinte anos para liquidar a dívida. Este loteamento foi implantado com recursos do OGU (Programa Morar Melhor), do Instituto Pró Cidadania de Curitiba, da COHAB - CT e parceria com as concessionárias de serviços de saneamento (SANEPAR) e fornecimento de energia elétrica (COPEL). A figura abaixo mostra a localização geográfica do Moradias Sambaqui (COHAB-CT, 2006).

FIGURA 47 - LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA MORADIAS SAMBAQUI
FONTE: COHAB-CT (2007)

O Conjunto Habitacional Moradias Sambaqui foi implantado com infra-estrutura básica, que significa esgotomento sanitário (100%), drenagem pluvial (80%), abastecimento de água (100%), de energia elétrica (100%), iluminação pública (100%), pavimentação inexistente e transporte coletivo. As redes de distribuição de água e energia foram executadas conforme os padrões da SANEPAR e COPEL, em tempo hábil à implantação e entrega aos moradores. A iluminação publica foi executada em conformidade com o padrão e especificações técnicas da COPEL e da Secretaria Muncipal de Obras. A rede de esgoto foi implantada para

todos os lotes do conjunto, conforme projeto aprovado pela SANEPAR. Em relação à coleta de lixo, a área é atendida pelos programas Coleta Domiciliar, três vezes por semana, sendo que o programa Câmbio Verde ocorre quinzenalmente. O loteamento é servido por transporte público através do alimentador Osternack B (COHAB-CT, 2006).

FIGURA 48 - ENTORNO DO LOTEAMENTO MORADIAS SAMBAQUI
FONTE: A autora (2008)

4.1.2 Perfil dos moradores entrevistados

O perfil das famílias pesquisadas caracteriza-se pela sobrevivência através da economia informal. A maioria das famílias estudadas indicou que sobrevive a partir de trabalhos temporários, auxílio financeiro de parentes ou programas do governo como o “Bolsa-Família”. Os que souberam definir uma renda mensal afirmaram que recebem entre dois a três salários mínimos[1]. Essas famílias, uma vez que recebem renda mensal acima de um salário mínino, não foram beneficiadas pelo Programa de Carta de Crédito FGTS – Operação Coletiva (Resolução 460/224), que estabelece a construção de casas de alvenaria de 33 m2. Portanto, a construção dessas suas residências foi baseada nos próprios recursos financeiros dos moradores. Isto justifica a existência de diferentes tipologias de edificações entre aqueles modelos padrão da COHAB-CT.

[1] Salário mínimo de R$ 350,00 em abril de 2006

Em relação ao grau de escolaridade, alguns afirmaram possuir o 2ª grau completo e quanto ao tipo de ocupação os entrevistados declararam dedicar-se a profissões como: mecânico, pedreiro, serviços gerais e enfermagem.

As famílias entrevistadas, em termos médios, residem no Conjunto Habitacional Moradias Sambaqui há dois anos. Em relação ao número de moradores por domicílio, a média de ocupação é de três moradores por domicilio. As residências com maior ocupação, que significa de quatro a cinco pessoas por domicílio, referem-se a moradores com renda maior do que um salário mínimo. Dessa maneira a tipologia dessas residências difere do modelo padrão das casas COHAB-CT e por isso comportam razoavelmente o número de residentes. Apenas uma família, dessas seis pesquisadas, apresentou uma ocupação de 04 habitantes por moradia, residindo atualmente em uma casa padrão COHAB-CT, modelo CT2-33. Quanto aos demais entrevistados, que possuem uma taxa de ocupação de dois a três moradores por domicílio, residem em casas modelos da COHAB-CT.

	Tempo moradia (anos)	***Moradores/Domicílio***	***Tipo moradia***
Entrevistado 01	02	04	Própria
Entrevistado 02	02	05	Própria
Entrevistado 03	02	02	CT2-33
Entrevistado 04	02	02	CT2-34B
Entrevistado 05	02	03	CT2-34B
Entrevistado 06	01	04	CT2-33

QUADRO 13 - PERFIL DOS MORADORES ENTREVISTADOS

FONTE: A autora (2008)

4.1.3 Caracterização das residências analisadas

Das habitações analisadas, quatro referem-se ao modelo da COHAB-CT e duas foram construídas com recursos financeiros dos próprios moradores, justificando diferentes tipologias de edificações. Aqueles que possuem suas casas construídas pela COHAB-CT, foi verificado que também mantém suas antigas residências nos fundos do terreno, constituindo assim, mais um espaço para moradia.

Casas construídas sem subsídio da COHAB-CT

Casa modelo COHAB CT2-33 e a residência provisória do morador

FIGURA 49 - CARACTERIZAÇÃO DAS RESIDÊNCIAS ANALISADAS
FONTE: A autora (2008)

De modo geral, as residências são construídas pelos próprios moradores, sendo que, mesmo aquelas construídas pela COHAB-CT existe atuação da mão de obra local, uma vez que a comunidade dispõe de muitos pedreiros na região. Em relação às obras sem subsídios da COHAB-CT, estas são executadas pelos próprios residentes, conforme disponibilidade de recursos e geralmente nos finais de semana. Neste caso, para as etapas construtivas que exigem mais esforço, como a concretagem de lajes, são realizadas com auxílio de amigos e vizinhos, conforme regime de mutirão. As residências da COHAB-CT são entregues sem acabamentos nos pisos e paredes e a lavanderia é projetada nos fundos da habitação, sem proteção contra intempéries. Esses aspectos geram queixas frequentes dos moradores, de modo que, suas principais prioridades quanto à construção referem-se ao assentamento dos revestimentos e à colocação de cobertura na lavanderia. Quanto aos aspectos de construção referentes à ventilação, iluminação, isolamento térmico e acústico somente os moradores que ainda habitam em construções provisórias apresentaram insatisfação nesses quesitos. Os moradores que já residem suas habitações definitivas, mesmo no caso daqueles que ainda não a concluiram, mostraram-se satisfeitos quanto a esses aspectos.

4.1.4 Análise quanto à modulação construtiva

Para realizar a análise quanto à modulação construtiva, durante a coleta de dados foi efetuada a medição *in loco* das residências analisadas. Isto permitiu a elaboração de um projeto executivo de alvenaria, com o exato posicionamento dos blocos para assentamento em obra. Dessa maneira, foi possível analisar as construções conforme diretrizes de modulação. Optou-se por realizar a análise da modulação construtiva desta forma, pois visualmente o resultado fica mais apropriado para identificar problemas dimensionais da construção. Nesta escala apresentada, o quadriculado modular de referência, com base no módulo de dez centímetros ficaria pouco legível para constatação de inadequações no projeto. Portanto, a análise da modulação construtiva guiou-se pela modulação de blocos cerâmicos, por constituirem os elementos construtivos comumente encontrados para execução de alvenaria. Assim, foram realizadas análises com base no bloco cerâmico com dimensão de 09 x 14 x 19 cm e no meio bloco cerâmico correspondente, com dimensão de 09 x 14 x 09 cm, pois são os blocos mais utilizados segundo as olarias da região de Curitiba. Além dessa modulação, também foi realizada uma análise com blocos cerâmicos com dimensão de 09 x 14 x 29 cm e seu meio bloco cerâmico de 09 x 14 x 14 cm, pois como se baseia em apenas em um módulo (15 cm) para comprimento e largura, a construção é facilitada.

Portanto, a seguir são apresentados os resultados das análises quanto à modulação construtiva, mostrando primeiramente uma análise de um projeto de uma residência medida *in loco* com bloco de 09 x 14 x 19 cm e em seguida a análise do projeto padrão da COHAB-CT, modelo CT2-34B, com bloco de 09 x 14 x 29 cm e com bloco de 09 x 14 x 19 cm. No Apêndice 3 deste trabalho poderão ser consultados os resultados das análises de modulação dos demais projetos: medido *in loco* com bloco de 09 x 14 x 29 cm e o projeto COHAB-CT, modelo CT2-33, com uso de blocos de 09 x 14 x 19 cm e 09 x 14 x 29 cm.

4.1.4.1 Análise quanto à modulação construtiva com o bloco cerâmico de 09 x 14 x 19: projeto medido *in loco* (pavimento inferior)

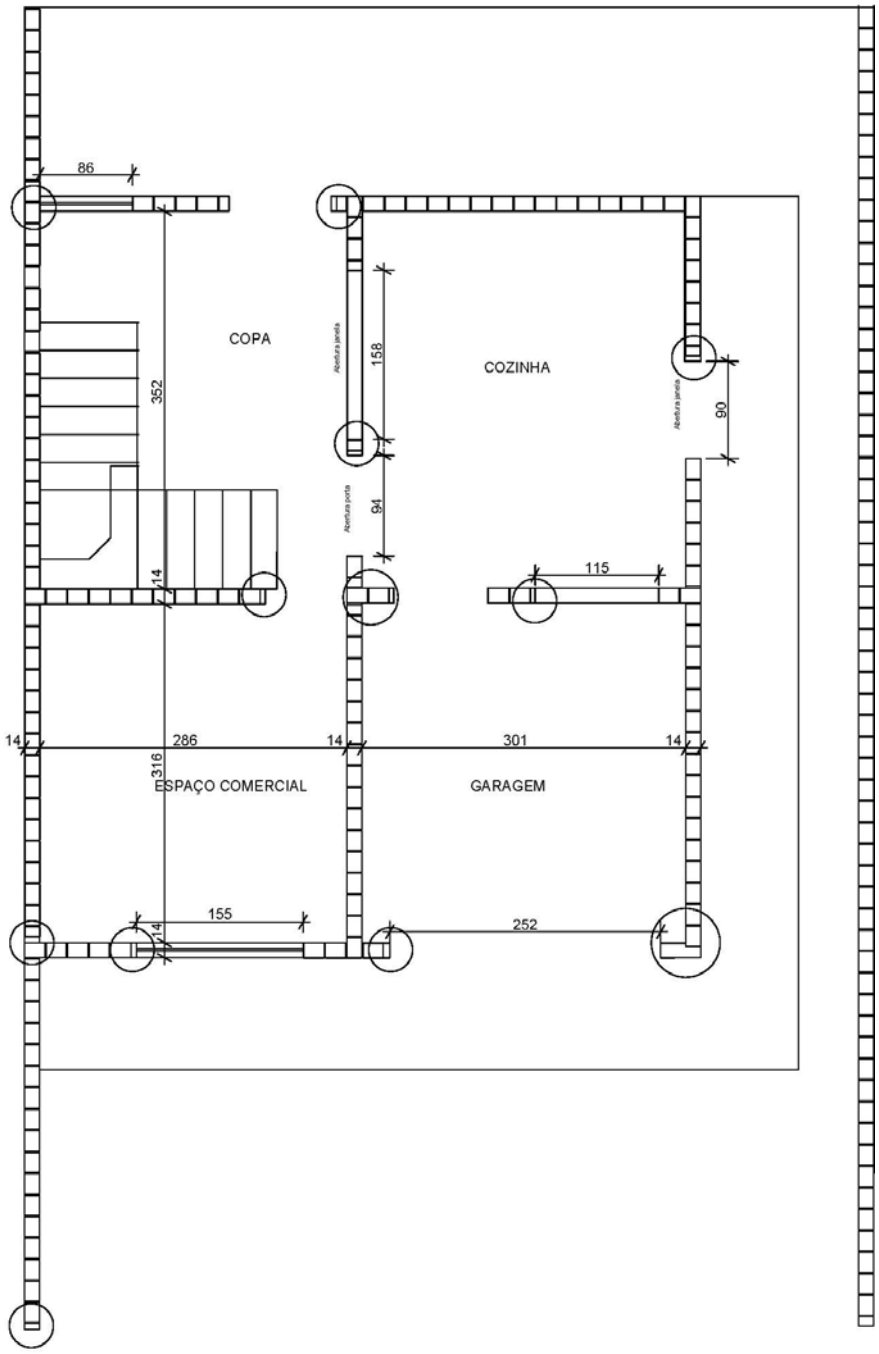


FIGURA 50 - PAVIMENTO INFERIOR - MODULAÇÃO 15 x 20

FONTE: A autora (2008)

4.1.4.2 Análise quanto à modulação construtiva com bloco cerâmico de 09 x 14 x 19: projeto medido *in loco* (pavimento superior)

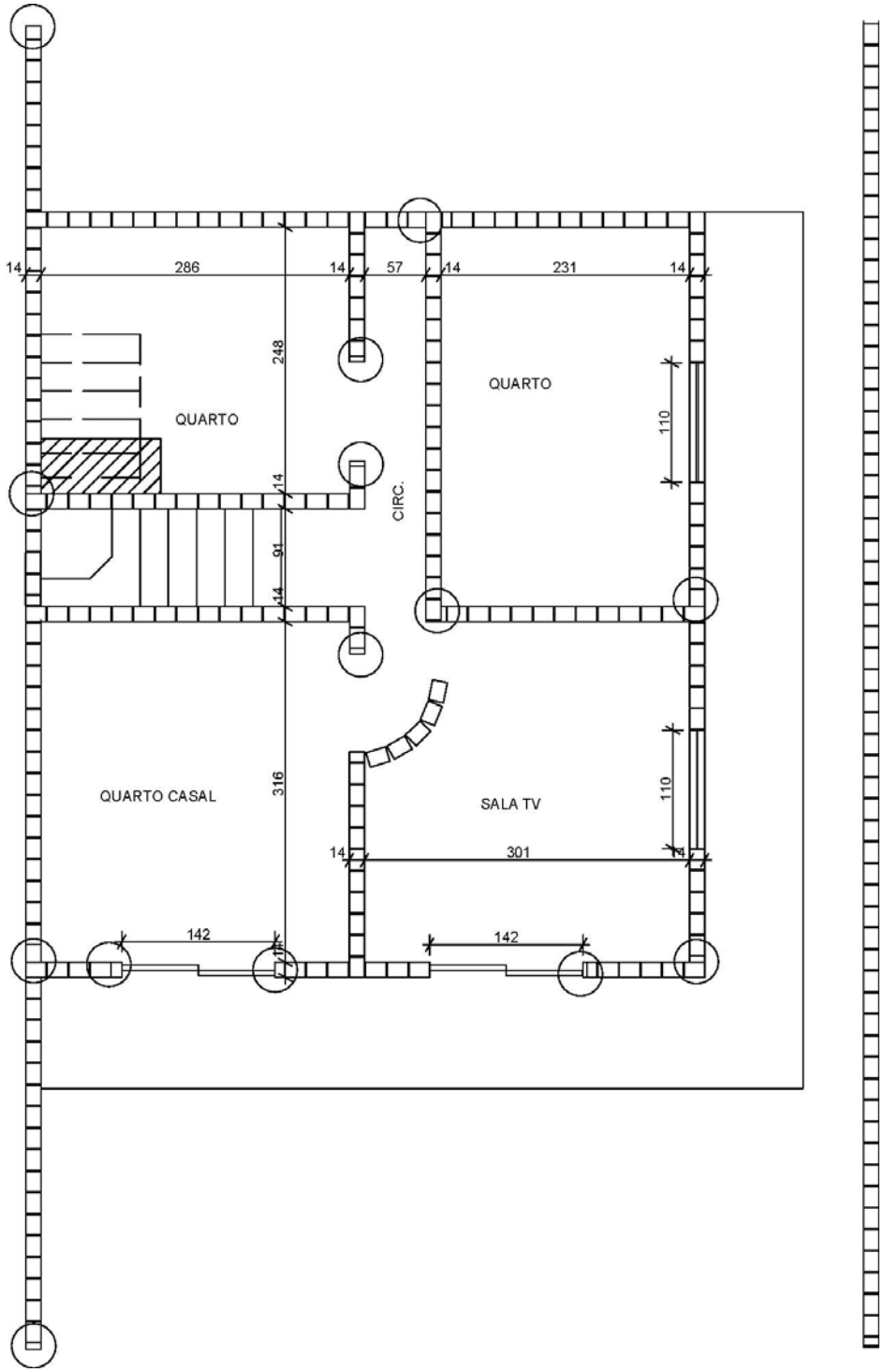


FIGURA 51 - PAVIMENTO SUPERIOR - MODULAÇÃO 15 x 20

FONTE: A autora (2008)

4.1.4.3 Resultado da análise quanto à modulação do projeto medido *in loco*

Os pontos circulados mostram problemas de modulação, o que indica que o projeto não foi coordenado modularmente para este bloco cerâmico de 09 x 14 x 19 cm. De modo geral, os principais problemas ocorrem nos encontros de paredes e nas interfaces com as esquadrias. Esses problemas dimensionais provocam quebras de materias e perda de produtividade, pois essas adequações necessitam ser feitas no local da obra. Essa mesma análise foi realizada para blocos cerâmicos de 09 x 14 x 29 cm, o que correspondeu ao mesmo resultado. Portanto, este projeto medido *in loco* não atendeu a modulação para nenhum bloco cerâmico analisado. Os problemas decorrentes da falta de modulação podem ser verificados na figura abaixo. A falta de consideração na fase de projeto dos aspectos dimensionais dos elementos construtivos, assim como suas folgas executivas, tem como consequência o desperdício de material, a dificuldade de execução e a menor produtividade.

FIGURA 52 - COLOCAÇÃO DA ESQUADRIA
FONTE: A autora (2008)

4.1.4.4 Análise quanto à modulação construtiva com bloco cerâmico de 09 x 14 x 29: projeto COHAB-CT, modelo CT2-34B

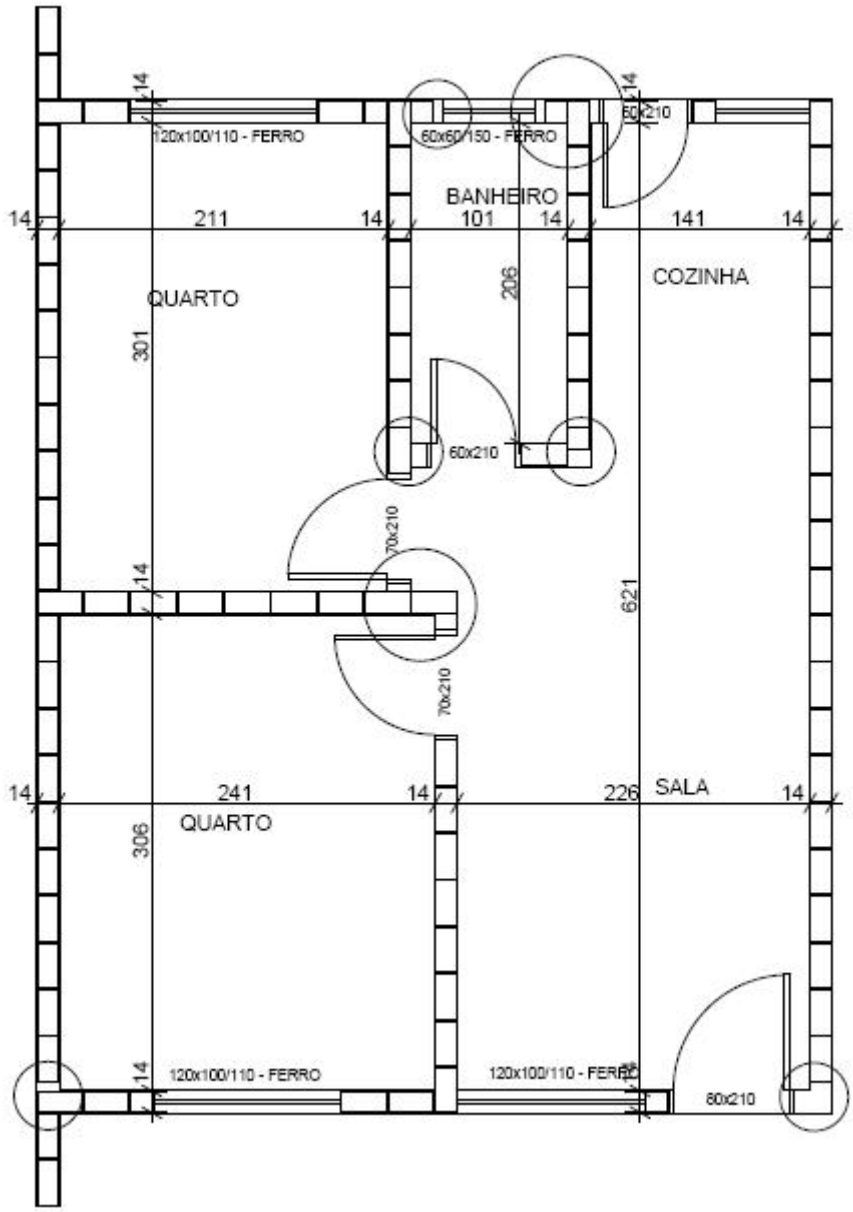


FIGURA 53 - CT2- 34B - MODULAÇÃO 15 x 30

FONTE: A autora (2008)

4.1.4.5 Análise quanto à modulação construtiva com blocos cerâmicos de 09 x 14 x 19: projeto COHAB-CT, modelo CT2-34B

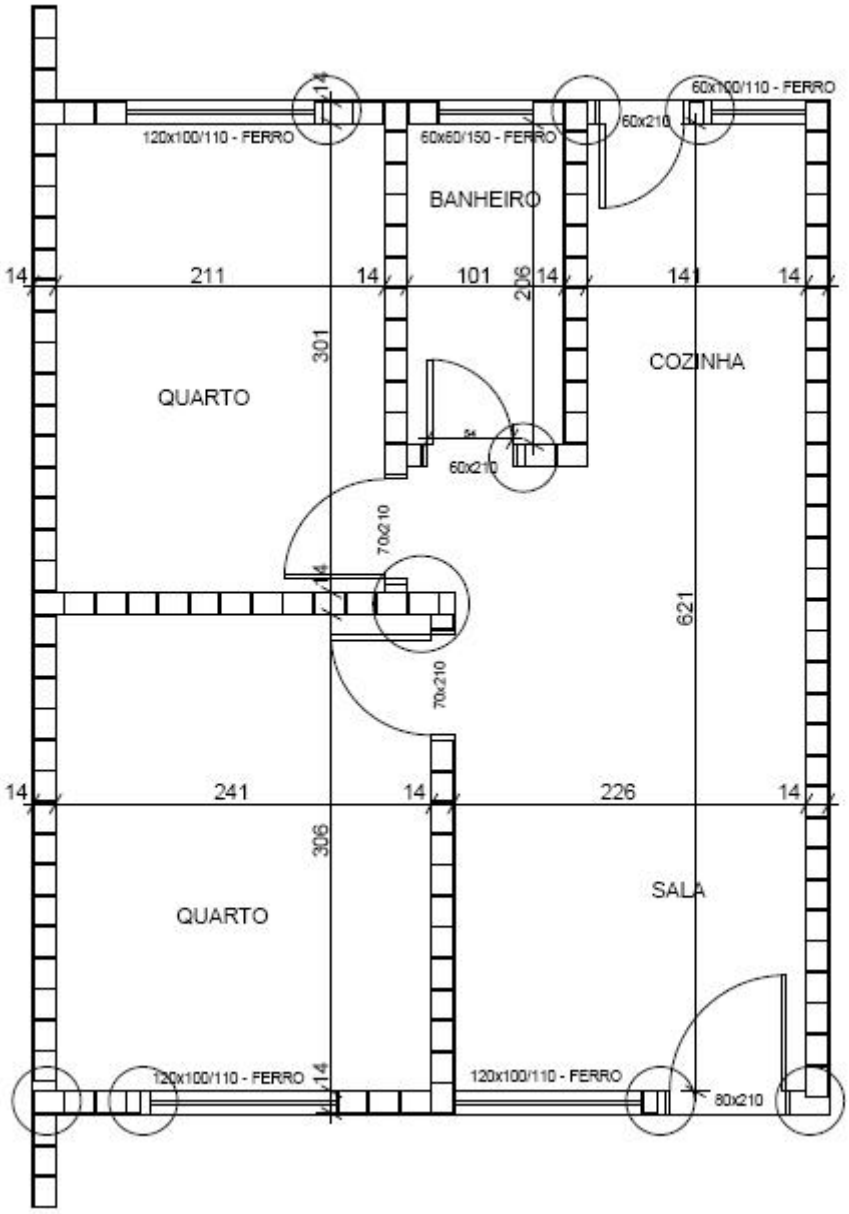


FIGURA 54 - CT2-34B - MODULAÇÃO 15 x 20

FONTE: A autora (2008)

4.1.4.6 Resultado da análise quanto à modulação do projeto da COHAB-CT, modelo CT2-34B

Através da análise do projeto da COHAB-CT, modelo CT2-34B, foi possível verificar a falta de atendimento quanto aos conceitos de modulação. Esse resultado foi obtido tanto para o bloco cerâmico de 09 x 14 x 29 cm, como para o bloco mais usual, que corresponde à dimensão de 09 x 14 x 19 cm. Isto fica evidenciado através dos diversos círculos apontados no projeto, que indicam incompatibilidades entre as dimensões dos blocos e as medidas do projeto. Conforme a análise do projeto medido *in loco*, os principais problemas quanto à modulação construtiva podem ser observados nos encontros de paredes e nas interfaces entre alvenaria e esquadrias. Esse problema poderia ser parcialmente resolvido se, ao invés de utilizar blocos cerâmicos, fossem utilizados os blocos de concreto. Para esses materiais, existe a disponibilidade de utilizar pastilhas para ajustes modulares. Assim, nos encontros com esquadrias, o problema da modulação poderia ser resovido com pastilhas nas dimensões de: 14 x 19 x 04 cm e 14 x 19 x 09 cm.

Além desses aspectos, o projeto não considera a dimensão das juntas para a instalação das janelas. Conforme Lucini (2001), para a exata colocação das esquadrias, a dimensão modular, ou seja, aquela considerada em projeto deve ser cinco centímetros maior do que a dimensão nominal (medida real do componente). Portanto, para a colocação de uma esquadria de 120 x 100 cm, o vão modular deveria ser de 125 x 105 cm. No entanto, verifica-se que essas medidas são difíceis de serem executadas em obra, de modo que se sugere a adaptação das indústrias de esquadrias aos conceitos de coordenação modular. Em relação às portas, no projeto foi considerado no espaço modular a colocação dos caixilhos. Por exemplo, para uma porta de 60 x 210 cm, a folha possui 54 cm de largura. No entanto, essa medida de material é difícil de ser encontrado, sendo, portanto necessário uma adaptação das indústrias de modo a atender os conceitos de coordenação modular.

4.1.5 Análise quanto à desconexão de componentes e subsistemas

Conforme visto no capítulo de fundamentação teórica, a construção modular não depende apenas dos aspectos dimensionais entre projeto e componente construtivo. A questão de facilidade de desconexão de componentes e subsistemas é um requisito importante, pois permite a substituição de peças e a customização de ambientes. Neste estudo de caso analisado, a base do sistema construtivo é a alvenaria, e, portanto as vedações possuem pouca desconexão com outros subsistemas, uma vez que seu processo de junta não permite essa flexibilidade. No entanto, as esquadrias poderiam ser instaladas de modo a permitir posterior desconexão do sistema construtivo. Contudo, o que foi verificado no estudo em campo é que as esquadrias, ao invés de serem instaladas por meio de buchas, de modo a permitir a desconexão, eram chumbadas à alvenaria. Assim, os processos de troca, renovação e customização demandavam quebras e desperdícios de materiais.

FIGURA 55 - ESQUADRIAS CHUMBADAS
FONTE: A autora (2008)

4.1.6 Análise quanto à utilização dos espaços arquitetônicos

A análise quanto à utilização dos espaços arquitetônicos verificou o uso dos ambientes da residência conforme as tarefas rotineiras da família. Do levantamento feito a partir dos seis estudos de caso foi constatado que os cômodos mais utilizados pelas famílias são a sala e a cozinha, durante o dia e os quartos durante a noite. A sala é utilizada principalmente para assistir televisão, fazer refeições, estudo e trabalho. A distribuição do uso dos ambientes ao longo do dia pode ser observada no quadro abaixo.

	Sala	*Quarto casal*	*Quarto solteiro*	*Cozinha*
Entrevistado 01		☀ ☼ ☾		
Entrevistado 02	☾	☾	☾	☾
Entrevistado 03	☀ ☼ ☾	☾	☀	☀
Entrevistado 04	☼	☾	☾	☀ ☾
Entrevistado 05	☀	☾	☾	☀ ☼ ☾
Entrevistado 06				☀ ☼ ☾

QUADRO 14 - USO DE AMBIENTE CONFORME PERÍODO

FONTE: A autora (2008)

LEGENDA: ☀ Período da manhã ☼ Período da tarde ☾ Período da noite

Assim, verifica-se que durante o dia, para a maior parte dos entrevistados, os quartos permanecem sem uso. Considerando a pequena área dessas residências, torna-se essencial permitir a flexibilidade de ambientes, de modo a otimizar o uso do espaço arquitetônico, tanto durante o dia como a noite. Uma abordagem de projeto modular atende essa necessidade de flexibilidade do ambiente construído. Outra proposta para permitir flexibilidade de ambientes é integrar o mobiliário modular com a função arquitetônica. Essa solução tem sido desenvolvida pelo Núcleo de Design e Sustentabilidade da UFPR, através do projeto KITS mobiliário-divisória *do-it-yourself* para Habitação de Interesse Social, sendo liderado pelo professor Aguinaldo dos Santos.

Assim, através dessa aborgadem de ambientes flexíveis com uso de mobilário como parte da edificação, os usuários podem adaptar o leiaute da residência conforme suas necessidades. Considerando os dados do quadro sobre

uso de ambientes, foi possível simular situações de diferentes leiautes arquitetônicos de modo a se adaptar às reais necessidades de uso dos ambientes pelos moradores do Conjunto Habitacional Moradias Sambaqui.

Mobiliário para dividir ambientes Uso da sala durante o dia Uso do quarto à noite

FIGURA 56 - SIMULAÇÃO DE DIFERENTES LEIAUTES CONFORME HÁBITOS DOS MORADORES

FONTE: A autora (2008)

Assim, foi proposto o uso de ambientes reversíveis, multiuso ou integrados através do uso do mobiliário como elemento construtivo flexível. Desta forma, durante o dia, o morador poderá dispor de maior espaço para a sala e durante a noite, poderá dispor de maior espaço para o quarto. O projeto da COHAB-CT já prevê o uso de ambientes multiusos, de modo que a configuração do leiaute permite a integração das funções de estar, cozinha e refeições. No entanto, a consideração deste tipo de ambiente multifuncional para integrar quarto e sala ainda é inovador.

FIGURA 57 - PRESENÇA DE AMBIENTES MULTIUSOS E INTEGRADOS

FONTE: COHAB-CT (2007)

Essa solução de ambientes multiusos para integrar sala e cozinha tem sido adotada inclusive por moradores que financiaram suas próprias construções, de modo que foi possível verificar nessas residências, o leiaute do tipo “cozinha americana”, que consiste na ligação direta entre sala e cozinha através de um balcão. Conforme Larcher (2005), uma abordagem integrada entre arquitetura e mobiliário podem evitar ou reduzir as necessidades de expansão, além de otimizar os recursos existentes. Assim, é possível criar ambientes flexíveis e sujeitos a mudanças conforme necessidades do morador. Segundo Fischer (2003), existe grande incidência de adequações nessas unidades habitacionais, realizadas normalmente pelos próprios moradores já nos primeiros anos de residência. Por isso torna-se importante prever no projeto de Habitações de Interesse Social mecanismos que permitam flexibilidade de ambientes a fim de favorecer futuras adaptações nessas residências.

FIGURA 58 – ABORDAGEM INTEGRADA ENTRE ARQUITETURA E MOBILIÁRIO
FONTE: A autora (2008)

4.2 DIAGNÓSTICO E ANÁLIDE DA COORDENAÇÃO MODULAR NA CADEIA PRODUTIVA ATRAVÉS DO MÉTODO DELPHI

O Método Delphi foi aplicado nesta pesquisa com o objetivo de investigar a situação da cadeia produtiva da construção civil quanto aos gargalos para a disseminação da coordenação modular. Este trabalho foi uma das ações da Rede “Desenvolvimento e difusão de tecnologias construtivas para a Habitação de Interesse Social” e envolveu as seguintes Universidades: UFRGS, UFSC, UFPR, USP, UFMG, UFAL, UFC, UFPB. Os componentes construtivos analisados foram: blocos cerâmicos; blocos de gesso; blocos de concreto; revestimentos cerâmicos; esquadrias; projetos de estruturas de concreto e pré-fabricados de concreto nas regiões das diversas Universidades envolvidas na pesquisa.

O Método Delphi foi composto por três rodadas, de modo que, a cada rodada era enviado um questionário aos diretores ou responsáveis pela produção via e-mail. A elaboração dos questionários foi baseada nas respostas dos participantes da pesquisa, de modo a esclarecer pontos ambíguos e estimular a discussão nas questões onde não existiu consenso. O conteúdo dos questionários pode ser consultado no Apêndice 2 deste trabalho. O Método Delphi foi conduzido de forma anômina, de modo a preservar a integridade da opinião acerca do problema questionado. No entanto, a cada rodada do método era reportada ao grupo investigado a síntese das respostas às questões levantadas. Isto permitiu, de forma indireta, o diálogo entre os diversos representantes dos setores estudados, buscando o consenso de forma interativa e sistemática.

4.2.1 Perfil dos participantes

O critério para seleção das empresas foi a sua relevância e experiência de atuação no mercado da construção civil. Quanto ao porte da empresa, buscaram-se perfis diversos de modo a prover informações mais ricas em relação ao problema levantado, permitindo assim compreender a situação da cadeia produtiva em um campo mais amplo de estudo. Em relação às regiões pesquisadas, o trabalho estendeu-se aos Estados Brasileiros do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, Minas Gerais, Alagoas e Paraíba. Em cada região procurou-se um representante por setor. Na primeira rodada foram capturados 35 contatos considerando todas as regiões envolvidas, sendo que apenas dezenove (19) empresas efetivamente participaram da pesquisa com suas respostas. Isto reflete um retorno percentual de 54% dos participantes para esta primeira rodada. Apesar de não ter sido contactada durante a primeira rodada, uma empresa do Estado do Rio Grande do Sul dispô-se a responder o primeiro questionário enviado. A segunda rodada ocorreu a partir dessas dezenove (19) empresas que mostram interesse na pesquisa, no entanto houve uma nova adesão do Estado do Rio Grande do Sul. Portanto, a segunda rodada conseguiu angariar um número de 23 contatos de empresas dispostas a participar da pesquisa. Desse número, apenas dezesseis (16) questionários foram respondidos, representando um índice percentual de retorno de 70%. Por fim, a última rodada partiu da amostra de respondentes da rodada anterior, alcançando um retorno de doze (12) questionários respondidos. Isto representou um percentual de participação de 75%. Esse crescente índice de participação corrobora a tendência do Método Delphi de que conforme a evolução das discussões, o processo torna-se gradualmente mais ágil.

A distribuição detalhada por rodada, Estado e setor pesquisado encontra-se no quadro abaixo. Os itens destacados na cor azul referem-se aos setores que efetivamente participaram da pesquisa e os itens mantidos na cor preta referem-se às empresas que apenas mostraram-se dispostas em participar, porém não retornaram com suas respostas.

4.2.1.1 Participantes da primeira rodada do Método Delphi

Estado	*Setor*	*Enviados*	*Entregues*
RS	Esquadrias de madeira	01	01
SC	Blocos cerâmicos	05	03
	Esquadrias		
	Blocos de Concreto/Pré-fabricados de concreto		
	Revestimentos Cerâmicos		
	Projeto de Estruturas de Concreto		
PR	Blocos cerâmicos	08	05
	Blocos de gesso		
	Esquadrias de alumínio		
	Revestimentos Cerâmicos		
	Blocos de concreto		
	Pré-fabricados de concreto		
	Projeto de Estruturas de concreto		
	Esquadrias de madeira		
MG	Blocos cerâmicos	04	03
	Revestimentos cerâmicos		
	Blocos de concreto/pré-fabricados de concreto		
	Projeto de estruturas de concreto		
AL	Blocos cerâmicos	06	03
	Revestimentos cerâmicos		
	Esquadrias de madeira		
	Blocos de concreto/Pré-fabricados de concreto		
	Esquadrias de alumínio		
	Projeto de estruturas de concreto		
PB	Revestimentos cerâmicos	05	04
	Blocos cerâmicos		
	Blocos de gesso		
	Blocos de concreto/Projeto de estruturas de concreto/Pré-fabricados de concreto		
	Esquadrias		
CE	Blocos cerâmicos	06	0
	Blocos de gesso		
	Blocos de concreto/Pré-fabricados de concreto		
	Revestimentos cerâmicos		
	Esquadrias		
	Projeto de estruturas de concreto		
Total		35	19
Percentual de retorno: 54%			

QUADRO 15 - PARTICIPANTES DA PRIMEIRA RODADA DO MÉTODO DELPHI

FONTE: A autora (2008)

4.2.1.2 Participantes da segunda rodada do Método Delphi

Estado	*Setor*	*Enviados*	*Entregues*
RS	Pré-fabricados de concreto	05	04
	Blocos cerâmicos		
	Esquadrias de madeira		
	Blocos de concreto		
	Projeto de estruturas de concreto		
SC	Blocos de Concreto/Pré-fabricados de concreto	03	03
	Revestimentos Cerâmicos		
	Projeto de Estruturas de Concreto		
PR	Revestimentos Cerâmicos	05	05
	Blocos de concreto		
	Pré-fabricados de concreto		
	Projeto de Estruturas de concreto		
	Esquadrias de madeira		
MG	Revestimentos cerâmicos	03	03
	Blocos de concreto/pré-fabricados de concreto		
	Projeto de estruturas de concreto		
AL	Blocos de concreto/Pré-fabricados de concreto	03	0
	Esquadrias de alumínio		
	Projeto de estruturas de concreto		
PB	Blocos cerâmicos	04	01
	Blocos de gesso		
	Blocos de concreto/Projeto de estruturas de concreto/Pré-fabricados de concreto		
	Esquadrias		
Total		23	16
Percentual de retorno: 70%			

QUADRO 16 - PARTICIPANTES DA SEGUNDA RODADA DO MÉTODO DELPHI

FONTE: A autora (2008)

4.2.1.3 Participantes da terceira rodada do Método Delphi

Estado	*Setor*	*Enviados*	*Entregues*
RS	Blocos cerâmicos	04	04
	Esquadrias de madeira		
	Blocos de concreto		
	Projeto de estruturas de concreto		
SC	Projeto de Estruturas de Concreto	03	02
	Blocos de Concreto/Pré-fabricados de concreto		
	Revestimentos Cerâmicos		
PR	Revestimentos Cerâmicos	05	03
	Projeto de Estruturas de concreto		
	Blocos de concreto		
	Pré-fabricados de concreto		
	Esquadrias de madeira		
MG	Blocos de concreto/pré-fabricados de concreto	03	02
	Revestimentos cerâmicos		
	Projeto de estruturas de concreto		
PB	Esquadrias	01	01
Total		16	12
Percentual de retorno: 75%			

QUADRO 17 - PARTICIPANTES DA TERCEIRA RODADA DO MÉTODO DELPHI

FONTE: A autora (2008)

4.2.2 Análise da primeira rodada do Método Delphi

A primeira rodada do Método Delphi questionou a respeito das características do produto fabricado pela empresa, incluindo suas dimensões, o que cada participante entende acerca do significado do termo “coordenação modular" e por fim, quais as barreiras percebidas em relação à adoção da coordenação modular no ambiente fabril e em projetos.

Tanto em relação à definição do conceito de coordenação modular como quanto aos gargalos para a sua disseminação, nesta primeira rodada, as empresas apresentaram respostas diversas. No entanto, acerca do conceito de coordenação modular foi possível classificar as respostas dentro dos seguintes grupos: padronização; sistemas construtivos; relação projeto e produto.

4.2.2.1 Conceito de coordenação modular com foco na padronização

Algumas empresas entendem a coordenação modular como sendo a padronização da construção através de um módulo, conforme pode ser observado em algumas definições citadas: “*é a utilização de um módulo padrão”, “é a adoção de um mínimo múltiplo comum para todos os componentes da construção”, “é a criação de um módulo para a construção civil”, “é a padronização de medidas dos componentes”, “é a padronização da construção”.* A análise crítica dessas respostas aponta para uma confusão entre a correta definição do termo e os seus princípios. Conforme visto na seção referente à revisão da literatura, a coordenação modular trata-se de uma técnica projetual baseada em um sistema dimensional de referência. A fim de permitir a realização desta técnica é necessário que todos os componentes construtivos sejam padronizados, de forma que, o processo projetual torne-se a coordenação destes elementos. Por isso, a visão da coordenação modular como foco na padronização dos componentes contrutivos torna-se equivocada, uma vez que a padronização significa os meios e a coordenação modular diz respeito ao fim. Além disso, a ênfase neste aspecto da padronização pode conduzir a um esquecimento em relação às possibilidades oferecidas pela coordenação modular, como a customização e flexibilidade para a construção. Através do uso de módulos padronizados com interfaces bem definidas é possível favorecer a intercambiabilidade entre componentes e subsistemas da construção civil. Dessa forma, adaptações e modificações na construção tornam-se viáveis, o que contribui para atender uma necessidade de grande incidência nas Habitações de Interesse Social.

Esclarece-se ainda que a coordenação modular, apesar de preconizar a padronização para componentes e detalhes construtivos, não impõe uma construção estandardizada. A partir de módulos padronizados com interfaces definidas é possível compor uma construção personalizada. A esse respeito Nissen (1976) faz uma analogia com a música. Assim, o módulo básico pode ser compreendido como uma nota musical, sendo possível, como em uma sinfonia, compor diversos tipos de edificações a partir desses módulos estandardizados, mantendo inclusive a harmonia e perfeição de formas e espaços.

4.2.2.2 Conceito de coordenação modular com foco no sistema construtivo

Algumas empresas definiram a coordenação modular com foco em sistemas construtivos, conforme se pode observar nessas respostas: *“é um sistema construtivo modulado”, “é a evolução do processo construtivo tradicional”, “é a otimização da construção”.* Conforme esclarecido na seção anterior, a compreensão da cordenação modular com ênfase em sistemas construtivos se torna equivocada, uma vez que a sua correta definição refere-se à tecnica projetual, e o sistema construtivo modulado refere-se ao resultado atingido através dessa técnica. Portanto, a fim de alcançar uma construção modulada, é necessário conceber um projeto modular por meio da ferramenta “coordenação modular” de modo que seja possível a sua correta execução.

4.2.2.3 Conceito de coordenação modular com foco na relação projeto e produto

O conceito de coordenação modular também foi defendido por algumas empresas com foco no relacionamento entre projeto e produto, conforme se observa nas seguintes respostas: *“é a interação entre projeto e produto”, “é a coordenação de “tamanhos” entre o projeto e o produto”, “é o projeto arquitetônico pensado em módulos”, “é a construção planejada em módulos”, “é o projeto ou produto com dimensões pré-definidas dentro de um padrão métrico”.* Apesar de incompleta, as respostas indicadas por esses participantes foram mais próximas da correta definição da coordenação modular. Conforme Lucini (2001) a coordenação modular é a técnica que define e relaciona dimensões de materiais e componentes em projeto e obra, através de medidas modulares organizadas através de um reticulado espacial de referência. Confrontando essa definição, dada por Lucini (2001), com o conceito revelado pelos participantes, verifica-se que a definição dada pelo grupo pesquisado é limitada em escopo, pois não considera o sistema dimensional de referência e nem a questão do módulo básico de dez centímentros, que constituem o fundamento da coordenação modular.

4.2.2.4 Conceitos isolados de coordenação modular

Nesta primeira rodada de questionamento também existiram algumas respostas isoladas, que conceituaram a coordenação modular como: *“é o estudo para que todos os materiais tenham o máximo rendimento” e “é o aproveitamento de material pré-existente”.* Essas respostas não foram classificadas por serem muito vagas.

4.2.2.5 Benefícios revelados da coordenação modular

Durante a primeira rodada, junto com o entendimento acerca do termo coordenação modular foi revelado, pelo grupo estudado, as vantagens que a sua aplicação pode oferecer às construções. As vantagens percebidas foram as seguintes: racionalização da obra, evitar perdas por cortes ou improvisos, evitar desperdício de material e mão de obra, máximo rendimento, rápida execução, racionalizar os projetos com as medidas modulares, favorecer execução mais simples e facilidade, economia e rapidez nas fases de projeto, fabricação e montagem. Os benefícios apontados pelas empresas vão do encontro aos indicados na literatura, mostrados no capítulo referente à revisão de literatura. Dessa forma, a constatação das vantagens da coordenação modular pelas empresas participantes da pesquisa sugere que a barreira para a sua disseminação não seja reconhecer as suas vantagens, e sim conhecer profundamente o conceito e a sua forma de aplicação.

4.2.2.6 Gargalos para a disseminação da coordenação modular

A última questão da primeira rodada do Método Delphi tratava a respeito da identificação dos gargalos para a disseminação da coordenação modular. Algumas empresas indicaram como gargalo os recursos humanos, expresso em respostas como*: "pouco conhecimento dos arquitetos e engenheiros", "falta de conhecimento de empreendedores", "falta de conhecimento dos clientes", "falta de formação nas Universidades e escolas técnicas", "falta de mão de obra qualificada" e "falta de cultura dos construtores".* Outras empresas caracterizaram a barreira como sendo um problema de mercado, conforme se pode observar nas respostas a seguir: *"falta de demanda na região", "falta de aceitação no mercado", "demanda sob medida" e "falta de disseminação na cadeia produtiva".* O gargalo para a disseminação da coordenação modular também foi compreendido como sendo um problema projetual, conforme as respostas: *"projeto arquitetônico", "variedade de soluções arquitetônicas", "conceitos confusos de arquitetura", "falha na compatibilização de projetos", "contratação tardia de projetos para produção, já tendo sido definidos os parâmetros arquitetônicos e construtivos".* Algumas empresas indicaram o problema em razão do equipamento, como pode ser constatado através de respostas como: *"tipo de equipamento disponível" e "custo elevado para aquisição do equipamento".*

Existiram também algumas respostas isoladas, por exemplo: *"legislações municipais de uso do solo" e "nivelamento de produtos devido à padronização, deixando apenas como diferencial o preço".* Este último gargalo revelado na pesquisa, na verdade não poderia ser encarado como uma barreira para a disseminação da coordenação modular, mas sim como um benefício aos consumidores. A partir do momento que se obtém produtos uniformes, a escolha de componentes torna-se muito mais ágil e transparente ao cliente, de modo que o processo de decisão seja baseado apenas no preço. Dessa forma, o consumidor não precisa preocupar-se com questões de compatibilidades entre produtos, uma vez que isto já está resolvido no mercado. Para os produtores, a questão da padronização também é vantajosa, uma vez que seus produtos poderão intercambiar com outros, permitindo adaptações e substituições através da fácil

reposição de peças. Isto amplia o campo de atuação, de modo a permitir a extensão do comércio em outras fronteiras, aumentando o potencial de vendas.

4.2.2.7 Discussão sobre a primeira rodada do Método Delphi

No que se refere ao objetivo proposto nesse estudo, essa primeira fase da pesquisa permite refletir acerca da situação da cadeia produtiva da construção civil em relação aos gargalos para disseminação da coordenação modular. O desacordo revelado entre o conceito de coordenação modular apontado pelos participantes e a correta definição do termo oferece indícios de que a principal barreira pode ser a falta de conhecimento pelos agentes da construção civil sobre o conceito ou falha na formação nas Universidades e escolas técnicas. Esse indício foi em seguida comprovado na última questão da pesquisa, na qual o grupo investigado caracterizou o problema para a disseminação da coordenação modular como sendo o pouco conhecimento sobre o assunto. Ainda em relação aos gargalos para a disseminação da coordenação modular, os participantes apontaram entraves quanto ao mercado, projeto arquitetônico e equipamentos.

Em relação aos benefícios da coordenação modular apresentado pelos participantes, estes correspondem com a literatura do tema, o que indica que as vantagens da adoção desta técnica são claramente percebidas pelos profissionais da área pesquisada. No entanto, a percepção das vantagens da coordenação modular possue enfoque na racionalização da construção, o que implica que ainda são necessários esclarecimentos quanto às vantagens a respeito da intercambialidade de componentes e autonomia de etapas de execução.

4.2.3 Análise da segunda rodada do Método *Delphi*

Em virtude da divergência nas respostas quanto à definição do conceito de coordenação modular, a segunda rodada do Método Delphi propôs uma reflexão sobre esse assunto de modo a obter uma convergência de idéias. Assim, a primeira pergunta dessa segunda rodada reuniu os conceitos já levantados de modo que os participantes pudessem opinar novamente com base no conhecimento revelado pelo grupo. Esse procedimento também foi realizado para a convergência do conhecimento em relação aos benefícios advindos da coordenação modular. Dessa maneira, os participantes da pesquisa puderam indicar a vantagem com a qual concordava entre aquelas citadas pelo grupo, na rodada anterior. Para a identificação dos gargalos prioritários para a disseminação da coordenação modular, este processo de convergência de idéias também foi aplicado. Assim, o grupo pesquisado pôde indicar os entraves mais relevantes entre aqueles já levantados pelos participantes. Apesar de o questionário solicitar a atribuição de uma nota para classificar os gargalos, esta informação não pôde ser utilizada, pois não foi estabelecido um limite em relação a quantos quesitos poderiam ser marcados. Isso inviabilizou a compilação desta informação. A segunda rodada do método Delphi também questionou a respeito da possibilidade de personalizar um ambiente da construção civil através da coordenação modular, visto que na primeira rodada do método existiu ênfase no aspecto da padronização da construção. Por fim, a pesquisa perguntou a respeito do módulo ideal para o componente construtivo respectivo a cada setor investigado, com base nas dimensões mostradas na rodada anterior.

4.2.3.1 Ranking do conceito de coordenação modular

Os conceitos de coordenação modular que apresentaram maior acordo entre os participantes referem-se à: utilização de um módulo padrão; à adoção de um mínimo múltiplo comum para todos os componentes da construção; à construção planejada em módulos e à padronização das medidas dos componentes. Esses conceitos obtiveram uma representação de 63% das respostas das empresas consultadas. Isto indica que a coordenação modular é vista pela maioria dos participantes com enfoque na padronização. Apesar de não corresponder à definição correta, uma vez que a padronização é apenas um princípio que permite a aplicação da coordenação modular, o acordo da maioria sobre esse aspecto revela que as empresas estão conscientes da importância de padronizar seus componentes para propiciar a coordenação modular. Assim, o trabalho para a disseminação da coordenação modular na construção civil torna-se facilitado, visto que as empresas já possuem consciência deste importante aspecto para a coordenação modular.

Em termos médios, a coordenação modular foi conceituada pelas empresas como sendo: a evolução do processo construtivo tradicional (56%); otimização da construção (56%); interação entre o projeto e produto (50%); coordenação de tamanhos entre projeto e produto (50%); um sistema construtivo (44%); um sistema construtivo modulado (44%); o projeto ou produto com dimensões pré-definidas dentro de um padrão métrico (44%); o projeto arquitetônico pensado em módulos (38%) e a padronização da construção (38%). Isto revela que, em um nível intermediário, as empresas compreendem a coordenação modular como tendo relação entre as medidas dos componentes e medidas modulares de projeto, resultando em um sistema modulado. Apesar de incompleta a definição, pois não considera o sistema dimensional de referência e nem o módulo básico de dez centímetros, essa constatação indica que, em termos médios, as empresas estão conscientes de que o objetivo da coordenação modular é organizar os componentes construtivos através de medidas modulares. Por fim, os conceitos que obtiveram menos acordo entre os participantes da pesquisa foram: estudo para que todos os materiais tenham o máximo rendimento (32%); criação de um módulo para a construção civil (25%) e o aproveitamento de material pré-existente (19%).

Conceito de coordenação modular	***%***
É a utilização de um módulo padrão	63
É a adoção de um mínimo múltiplo comum para os componentes da construção	63
É a construção planejada em módulos	63
É a padronização das medidas dos componentes	63
É a evolução do processo construtivo tradicional	56
É a otimização da construção	56
É a interação entre projeto e produto	50
É a coordenação de “tamanhos” entre o projeto e o produto	50
É um sistema construtivo	44
É um sistema construtivo modulado	44
É o projeto ou produto com dimensões pré-definidas dentro de um padrão métrico	44
É o projeto arquitetônico pensado em módulos	38
É a padronização da construção	38
É um estudo para que todos os materiais tenham o máximo rendimento	32
É a criação de um módulo para a construção civil	25
É o aproveitamento de material pré-existente	19

QUADRO 18 - RANKING DO CONCEITO DE COORDENAÇÃO MODULAR

FONTE: A autora (2008)

4.2.3.2 Ranking dos benefícios da coordenação modular

Os benefícios que apresentaram maior acordo entre os participantes da pesquisa referem-se à: racionalização da obra; evitar perdas por cortes ou improvisos; evitar desperdício de material e mão de obra; rápida execução e racionalizar os projetos com medidas modulares. Esses benefícios alcançaram uma representação de 82% da indicação dos participantes.

Em termos médios, os benefícios da coordenação modular foram indicados como: máximo rendimento (69%); economia nas fases de projeto, fabricação e montagem (69%); favorecer execução mais simples (56%); facilidade nas fases de projeto, fabricação e montagem (56%).

O benefício menos apontado pelas empresas foi a rapidez nas fases de projeto, fabricação e montagem, com representação de 44% das respostas analisadas. Apesar de ser a vantagem menos percebida pelos participantes da pesquisa, esse índice percentual é bastante expressivo.

Em uma análise geral percebe-se que todos esses benefícios da coordenação modular levantados pelas empresas consultadas baseiam-se na racionalização da construção civil. Isto pode ser constatado através do maior índice percentual dos benefícios percebidos da coordenação modular, que se refere claramente à racionalização. Portanto, de modo geral as empresas participantes concordam que na coordenação modular residem potenciais para a racionalização, de modo a contribuir para a economia de custo e esforço humano. Esse aspecto encontra suporte na literatura sobre o tema, de modo a indicar que o grupo investigado está correto quanto aos benefícios oferecidos através da aplicação da coordenação modular. No entanto, os benefícios da coordenação modular não se restringem à racionalização da construção. Através da coordenação modular também é possível a intercambialidade de componentes e subsistemas, de modo a favorecer processos de adaptações e modificações no ambiente contruído. Dessa forma, uma obra concebida por meio da coordenação modular é flexível quanto às mudanças, conforme necessidades dos moradores. Este foi um aspecto não abordado entre os participantes, o que indica uma necessidade de esforços na divulgação desse benefício da coordenação modular.

Benefícios da coordenação modular	***%***
Racionalização da obra	82
Evitar perdas através de cortes ou improvisos	82
Evitar desperdício de material e mão de obra	82
Rápida execução	82
Racionalizar os projetos com as medidas modulares	82
Máximo rendimento	69
Economia nas fases de projeto, fabricação e montagem	69
Favorecer execução mais simples	56
Facilidade nas fases de projeto, fabricação e montagem	56
Rapidez nas fases de projeto, fabricação e montagem	44

QUADRO 19 - RANKING DOS BENEFÍCIOS DA COORDENAÇÃO MODULAR

FONTE: A autora (2008)

A verificação das vantagens da coordenação modular já tinha sido realizada através de uma pesquisa conduzida pelo Centro Brasileiro da Construção Bouwcentrum (CBC) em 1970. O CBC foi uma sociedade sem fins lucrativos, fundada e administrada por quartro entidades: o Banco Nacional da Habitação, o Centro das Indústrias do Estado de São Paulo, o Instituto de Engenharia e o Instituto de Arquitetos do Brasil. O CBC visava principalmente à promoção da contrução civil através de estudos, pesquisa e divulgação de medidas de racionalização a fim de obter máximo rendimento dos recursos disponíveis. Com esse intuito, em 1969, o CBC foi contratato pelo Banco Nacional de Habitação (BNH) para desenvolver uma estratégia de implantação da coordenação modular no Brasil. Assim, fez parte dos estudos do CBC a investigação a respeito das condições que a indústria de materiais e componentes possuía para se adaptar à coordenação modular. Deste estudo foi possível conhecer quais as vantagens as indústrias percebiam quanto à coordenação modular. Em ordem decrescente de importância, os principais benefícios de modular os produtos foram: racionalização; mecanização e simplificação da produção; política de estoques; melhor aproveitamento da matéria-prima; maiores facilidades no provimento e intercambialidade dos produtos. Quanto às vantagens da padronização foram levantados os seguintes aspectos, em ordem decrescente: utilização de equipamentos padronizados; redução de modelos; aprimoramento das técnicas de produção; produção em série; simplificação e planejamento da produção incluindo maior rendimento da mão-de-obra; facilidades na aplicação, montagem, manuseio e estocagem; redução do custo operacional; melhor aproveitamento da matéria-prima; melhor comercialização; entregas em menor tempo e maior potencial de vendas (BALDAUF, 2004).

Assim, constata-se que há mais de 30 anos, os benefícios da modulação e da padronização são conhecidos pela indústria da construção civil, no entanto ainda não são usufruídos em toda sua potencialidade. É necessário um esforço conjunto de todos os setores de materiais e componentes da construção civil a fim de que realmente seja atingida a padronização de medidas para conceber um edifício modular. Assim, como pode ser observado através das vantagens mencionadas da coordenação modular, todos os envolvidos poderão ser beneficiados, desde produtores, projetistas e clientes.

4.2.3.3 Ranking dos gargalos para disseminação da coordenação modular

Os maiores gargalos para a disseminação da coordenação modular identificados na pesquisa através do Método Delphi referem-se à falta de formação nas Universidades e escolas técnicas e à contratação tardia de projetos para produção, já tendo sido definidos os parâmetros arquitetônicos e construtivos. Esses dois gargalos receberam um índice percentual de 75% das respostas analisadas. A barreira que se refere à falta de formação dos profissionais ganha suporte dos gargalos subsequentes no ranking da pesquisa. Estes entraves dizem respeito ao: pouco conhecimento dos arquitetos e engenheiros (69%); à falta de cultura dos construtores (69%) e à falta de conhecimento dos empreendedores (56%). Na literatura, este tipo de barreira é classificado como sendo de recursos humanos, conforme Neves (1995). A constatação desse tipo de gargalo significa que um dos esforços mais importantes para a disseminação da coordenação modular deve ser na maior divulgação de seu conceito e também da sua forma de aplicação, tanto no meio acadêmico como no meio empresarial. Dessa maneira, poderá ser superado este tipo de gargalo referente aos recursos humanos e à formação profissional.

Em relação ao gargalo identificado como sendo a contratação tardia dos projetos para produção, considerado como prioritário, não deveria ser compreendido como uma barreira importante para a disseminação da coordenação modular. Conforme Lucini (2001), a coordenação modular permite autonomia de etapas de execução e da montagem de componentes. Portanto, quando se tem um projeto modulado é possível adiar decisões na execução de obras, incluindo a contratação, uma vez que os componentes possuem interfaces bem definidas de maneira a permitir a independência dos processos de montagem e desmontagem. Este gargalo pode ter sido levantado devido à falta de um projeto arquitetônico coordenado modularmente. Assim, a contratação tardia dos projetos para produção seria realmente um entrave para a adaptação dos projetos complementares ao conceito de coordenação modular. Esse indício pode ser comprovado diante do gargalo apontado pelo grupo pesquisado como sendo o projeto arquitetônico, com representação percentual de 50% das respostas analisadas. Este gargalo não foi indicado como prioritário, pois muitas vezes o resultado, que neste caso implica na

contratação tardia, é visto com mais evidência pelas pessoas envolvidas do que a sua verdadeira causa. Assim, superando a barreira que se refere à falta de projeto arquitetônico coordenado modularmente torna-se possível vencer o gargalo referente à contratação tardia, identificado como de grande importância pelo grupo pesquisado.

Gargalos para disseminação da Coordenação Modular	***%***
Falta de formação nas Universidades e escolas técnicas.	75
Contratação tardia de projetos para produção, já tendo sido definidos os parâmetros arquitetônicos e construtivos.	75
Pouco conhecimento dos arquitetos e engenheiros.	69
Falta de cultura dos construtores.	69
Falta de conhecimento dos empreendedores.	56
Falta de disseminação na cadeia produtiva.	56
Projeto arquitetônico.	50
Falta de compatibilização de projetos.	44
Falta de conhecimento dos clientes.	44
Variedade de soluções arquitetônicas.	31
Nivelamento de produtos devido à padronização, deixando o preço como diferencial.	31
Falta de mão de obra qualificada.	31
Falta de demanda na região.	25
Falta de aceitação no mercado.	25
Demanda sob medida.	25
Conceitos confusos de arquitetura.	19
Custo elevado para aquisição de equipamentos.	19
Legislações municipais de uso do solo.	19
Tipo de equipamento disponível.	13

QUADRO 20 - RANKING DOS GARGALOS PARA A DISSEMINAÇÃO DA COORDENAÇÃO MODULAR

FONTE: A autora (2008)

O estudo realizado pelo CBC em 1970 também abordou os problemas enfrentados quanto à coordenação modular. Em ordem decrescente de importância, os principais entraves foram: projetos arquitetônicos, que por não serem modulares geravam a necessidade de serem refeitos ou adaptados; fabricação de componentes sob encomenda a fim de atender dimensões fora das séries de estoque; matérias-primas dimensionadas em pé-polegada; equipamentos importados. Para as indústrias que padronizaram seus produtos, as principais dificuldades apontadas foram: projetos e encomendas de componentes fora do padrão; utilização de patentes estrangeiras; dificuldade de adaptação de alguns equipamentos; duplicidade do sistema de medidas; necessidade de utilizar componentes não padronizados; falta de combinação entre componentes e a inadequação das juntas (BALDAUF, 2004).

Portanto, constata-se que há mais de 30 anos os problemas enfrentados para a adoção da coordenação modular e para a padronização continuam praticamente os mesmos. Ainda permanece o problema da falta de um projeto arquitetônico modular, a existência de demandas de fabricação sob encomenda e problemas de equipamentos disponíveis, conforme se observa na pesquisa realizada através do Método Delphi. Apesar de não ter sido mencionado pelo grupo pesquisado o entrave referente a materiais primários em pé-polegada, falta de combinação entre componentes e a inadequação das juntas, esses gargalos continuam presentes nos dias atuais quanto à adoção da coordenação modular. Por isso, verifica-se tanto através da pesquisa realizada pelo CBC quanto através desta conduzida por meio do Método Delphi de que é necessário um esforço direcionado em favor de um projeto arquitetônico coordenado modularmente, da padronização dos componentes, da produção de matérias-primas de acordo com o sistema métrico e ainda da adequação das juntas entre componentes construtivos. Constata-se ainda a necessidade de maior divulgação dos conceitos e formas de aplicação da coordenação modular, tanto no meio acadêmico e empresarial, visto que, na pesquisa realizada através do Método Delphi, o gargalo identificado como prioritário refere-se à falta de conhecimentos dos envolvidos na construção civil.

4.2.3.4 Customização de ambientes através da coordenação modular

Como na primeira rodada de questionamentos existiu ênfase na visão da coordenação modular sob a ótica da padronização, foi questionada às empresas, nesta segunda etapa da pesquisa, a possibilidade de personalizar um ambiente da habitação através da coordenação modular. Com 100% das respostas, as empresas atingiram o consenso de que é possível personalizar um ambiente por meio da coordenação modular.

Algumas indicaram como alternativa viável a coordenação de medidas através do uso de módulos, multimódulos e submódulos para permitir a customização. Apesar do conceito do módulo prever a definição clara de interface a fim de facilitar a intercambialidade, nenhuma empresa indicou nitidamente esse aspecto da coordenação modular para possibilitar a customização. Neste sentido, a padronização das interfaces e interações dos módulos é um requisito fundamental para atender a diversidade de variações para a construção. Dessa análise, constata-se que existe um conhecimento restrito acerca da viabilidade de customização por meio da coordenação modular, o que implica em um esforço de conscientização deste aspecto da modulação de modo a permitir que a coordenação modular seja utilizada em toda a sua potencialidade.

4.2.3.5 Análise dos módulos das empresas participantes

Na segunda rodada do Método Delphi foi questionado qual seria o módulo ideal para o componente construtivo fabricado ou utilizado pelas empresas participantes. Este questionamento foi elaborado com base nas respostas dadas na primeira rodada do método, que indicaram as dimensões fabricadas para os componentes construtivos pesquisados. Dessa maneira, o grupo estudado poderia opinar a respeito do módulo ideal para o seu setor com base nas dimensões usualmente adotadas pelo mercado. A partir das respostas apontadas para os módulos ideais para cada setor pesquisado, foi realizada uma análise quanto ao

atendimento ao conceito de coordenação modular. Como a indicação dos módulos ideais foi feita com base nas dimensões reais dos componentes construtivos, a análise quanto à coordenação modular considerou a medida nominal de cada componente. O quadro abaixo mostra os módulos ideais segundo as empresas pesquisadas e a respectiva análise conforme a coordenação modular:

Componente	***Largura (cm)***	***Altura (cm)***	***Comp. (cm)***	***Atende C.M.***
Blocos de concreto	14	19	29	Sim
	19	19	19	Sim
	19	19	39	Sim
	14	19	19	Sim
	14	19	39	Sim
Blocos cerâmicos	14	19	29	Sim
Janelas	154	100		Não
	104	100		Não
Portas	60	210		Não
	70	210		Não
	80	210		Não
Revestimento Cerâmico	41	41		Não
	20	20		Não
	30	30		Não
	40	40		Não
Pilares	30	30	250	Não
	90	130	3000	Não
Vigas	20	40	300	Não
	160	60	3000	Não
Lajes alveolares	125	15,21	300	Não
	125	26	1400	Não

QUADRO 21 - MÓDULOS IDEAIS PARA COMPONENTES CONSTRUTIVOS

FONTE: A autora (2008)

A partir dessa análise constata-se que 71% das respostas para os módulos ideais não atendem a coordenação modular. Este é um dado bastante relevante, pois indica que grande parte dos componentes construtivos ainda não está adaptada à coordenação modular. Apenas os blocos de concreto e os blocos cerâmicos, que possuem uma normatização quanto à padronização dimensional foi que mostrou conformidade em relação às medidas nominais para componentes modulares. Portanto, contata-se a necessidade de uma regulamentação normativa quanto à padronização dimensional dos demais componentes construtivos da construção civil. Essa falta de especificação pode ser observada inclusive na análise a respeito das normas brasileiras de coordenação modular, que apenas orientam que as medidas dos componentes devem ser modulares, porém não faz nenhuma recomendação

quanto à padronização de medidas nominais e modulares. Apenas as normas de coordenação modular que versam sobre tijolos de barro cozido, blocos de concreto e tacos de madeira é que apresentam uma recomendação para a padronização dimensional. Esse aspecto refletiu no mercado e contribuiu para a adequação dos blocos de concreto e blocos cerâmicos quanto à coordenação modular.

4.2.3.6 Discussão sobre a segunda rodada do Método Delphi

A segunda rodada do Método Delphi permitiu analisar tanto o entendimento acerca do termo coordenação modular, quanto as suas vantagens e gargalos sob a ótica das empresas pesquisadas. O resultado desta análise aponta que a maior parte dos participantes compreende a coordenação modular com enfoque na padronização, indicando conhecimento a respeito da importância da padronização dimensional para propiciar a coordenação modular. Em relação às vantagens obtidas através da coordenação modular, 82% das respostas analisadas concorda que através da coordenação modular é possível racionalizar a construção civil, de modo a contribuir para a economia de custo e esfoço humano. Quanto aos gargalos para a disseminação da coordenação modular, os entraves prioritários referem-se à falta de formação nas Universidades e escolas técnicas e à contratação tardia de projetos para produção, já tendo sido definidos os parâmetros arquitetônicos e construtivos, abrangendo 75% das respostas analisadas.

Apesar de compreender a coordenação modular sob o enfoque da padronização, as empresas pesquisadas de forma unânime afirmaram que é possível customizar um ambiente ou subsistema da construção através desta técnica projetual. No entanto, embora alguns participantes indicassem a coordenação de módulos, submódulos e multimódulos como estratégia viável para customização, nenhuma empresa ressaltou a importância da definição clara de interface e interações dos módulos para permitir a diversidade de variações na construção. Por fim, a segunda rodada do Método Delphi constatou que, apesar de reconhecer a importância da padronização dimensional para os componentes construtivos, o questionamento acerca dos módulos ideais revelou que apenas os

blocos de concreto e os blocos cerâmicos é que realmente possuem medidas nominais conforme a coordenação modular, indicando o grande caos dimensional dos demais componentes construtivos.

4.2.4 Análise da terceira rodada do Método Delphi

A terceira e última rodada do Método Delphi questionou a respeito das ações das empresas diante dos gargalos mencionados para a disseminação da coordenação modular. Dessa forma, para cada gargalo identificado na primeira rodada da pesquisa foi questionado sobre as ações providenciadas para superá-lo, as dificuldades encontradas e o tempo estimado para vencê-lo. Apesar de dispor de informações acerca de cada barreira, a análise desta última etapa da pesquisa foi feita a partir da classificação feita na análise da primeira etapa, atribuindo aos gargalos levantados a seguinte classificação: recursos humanos; problemas de mercado; projeto arquitetônico e problemas de equipamentos. A análise desta terceira rodada do Método Delphi foi realizada desta forma devido à similaridade de respostas coletadas. A descrição detalhada a respeito das ações tomadas, dificuldades encontradas e tempo estimado para superar o gargalo individualmente poderão ser consultados no Apêndice 2 deste trabalho.

4.2.4.1 Ações contra gargalos do tipo “recursos humanos”

Os gargalos classificados como sendo problemas de recursos humanos dizem respeito à falta de conhecimento de arquitetos, engenheiros, construtores e empreendedores sobre a coordenação modular. Este tipo de entrave também inclui a falta de formação nas Universidades e escolas técnicas. As principais ações contra os gargalos do tipo “recursos humanos” dizem respeito à divulgação de conceitos e conscientização de todos os envolvidos no processo construtivo, desde empreendedores até clientes. Este trabalho tem sido realizado através do contato

direto com arquitetos, gerentes e possíveis clientes, eventos da área, palestras personalizadas para construtoras e projetistas, visitas em obras e o fornecimento de informações. Em relação à falta de formação dos profissionais, as providências tomadas referem-se ao treinamento, incentivo educacional e apoio técnico para projetistas.

Para realizar essas ações, as principais dificuldades encontradas referem-se a custos e prazos para a qualificação dos profissionais, falta de oportunidades para prestar informações e pouco interesse das instituições para realizar palestras. Além desses aspectos foram também apontadas a falta de envolvimento da direção na implantação de novas práticas construtivas, alta rotatividade de operários e a falta de apoio das instituições ligadas ao setor. Em relação ao tempo estimado para superar o gargalo, poucas empresas souberam especificar essa informação. Algumas atribuiram um tempo de cinco a seis anos, outras estimaram entre dois a três anos, porém a maioria indicou que o trabalho para superar o gargalo deveria ser contínuo, levando provavelmente muito tempo para vencê-lo.

4.2.4.2 Ações contra gargalos referentes aos problemas de mercado

Os gargalos identificados como sendo problemas de mercado, referem-se principalmente à falta de demanda na região, à falta de aceitação no mercado, à existência de demanda sob medida e à falta de disseminação na cadeia produtiva. Para combater esses gargalos, as principais ações referem-se à ampliação do departamento comercial, à política mais agressiva de vendas e à divulgação técnica e institucional através de palestras.

As dificuldades enfrentadas para realizar essas ações dizem respeito aos custos para aumentar a equipe de trabalho, à falta de apoio das instituições e à falta de padronização dos produtos. Em relação ao tempo estimado para superar os gargalos desta natureza, as empresas afirmaram que se trata de um processo evolutivo, consistindo em um trabalho contínuo.

4.2.4.3 Ações contra a falta de projeto arquitetônico coordenado modularmente

Os gargalos que tratam a respeito da falta de projeto arquitetônico coordenado modularmente referem-se à contratação tardia dos projetos para produção, projeto arquitetônico, falha na compatibilização de projetos, variedade de soluções arquitetônicas e aos conceitos confusos de arquitetura. A fim de superar esses gargalos, os participantes da pesquisa indicaram que estão realizando as seguintes ações: adaptação do projeto arquitetônico à malhar modular, verificação da compatibilização de projetos, orientação técnica, palestras e contato com arquitetos, engenheiros, consultores e gerentes. Para realizar essas ações, os participantes alegaram que encontram dificuldades principamente em relação: aos prazos reduzidos para as adaptações de projeto; mudanças repentinas no projeto; falta de comprometimento dos projetistas de instalações; limitações de recursos disponíveis; necessidade de atendimento ao disposto no código de obras; falta de oportunidade para prestar informações e falta de um software específico. Quanto ao tempo estimado para superar os gargalos que se referem ao projeto arquitetônico, os participantes consideraram um tempo entre dois a três anos, sendo que outros atribuíram um prazo entre cinco a seis anos. No entanto, a maioria considera um tempo indeterminado, consistindo em um esforço contínuo.

4.2.4.4 Ações contra gargalos referentes aos problemas de equipamentos

Os gargalos classificados como problemas de equipamentos referem-se ao tipo de equipamento disponível e ao custo elevado para aquisição de equipamentos. As principais ações realizadas de modo a superar esses gargalos referem-se aos investimentos na aquisição de equipamentos, renovação das plantas industriais, fabricação dos próprios equipamentos e formas de financiamento. No entanto, a fim de realizar essas ações, as empresas estão encontrando dificuldades como: recursos disponíveis, prazo para a implantação das plantas industriais e burocracia.

Em relação aos prazos para superar esse tipo de gargalo, as empresas estimam um período de cinco a dez anos ou indeterminado.

4.2.4.5 Discussão sobre a terceira rodada do Método Delphi

A terceira rodada do Método Delphi permitiu analisar o que as empresas estão fazendo de modo a superar os gargalos para a disseminação da coordenação modular mencionados na pesquisa. Quanto a essas ações ainda foram questionadas as dificuldades encontradas e tempo estimado de superação dos gargalos levantados. Em uma síntese geral pode-se constatar que as principais ações aos gargalos classificados como recursos humanos, mercado, projeto arquitetônico e equipamentos referem-se respectivamente à: divulgação técnica e treinamento de profissionais; políticas agressivas de vendas; adaptação do projeto arquitetônico à malha modular; aquisição de novos equipamentos e busca de financiamentos. Em relação às dificuldades encontradas os principais aspectos levantados dizem respeito à falta de recursos financeiros, prazos reduzidos e falta de apoio das instituições relacionadas ao setor da construção civil. Em termos de prazos para superação dos gargalos, os participantes de modo geral não souberam especificar, afirmando que se trata de um esforço contínuo.

A respeito dos gargalos mencionados para a disseminação da coordenação modular, Baldauf (2004) identificou possibilidades de ações atuais para a implementação da coordenação modular na indústria da construção civil no Brasil. Essas ações, indicadas por Baldauf (2004), mostram-se como diretrizes para superar as barreiras apresentadas nessa pesquisa e um auxílio aos intervenientes da cadeia produtiva a fim de se adequarem a coordenação modular. Dessa forma, além das ações praticadas pelas empresas mostradas na pesquisa através do Método Delphi, outros caminhos ainda são possíveis para a implementação da coordenação modular. Portanto, conforme Baldauf (2004) é possível tomar as seguintes providências em favor da coordenação modular na construção civil no Brasil:

a) abordagem da coordenação modular nas instituições de ensino, de modo a contribuir para a realidade da prática profissional;
b) fiscalização quanto à conformidade de produtos com a normalização técnica pelo INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial). O INMETRO apresenta-se como um agente importante para a viabilidade de aplicação das normas sobre coordenação modular aos componentes construtivos. Dessa maneira, o INMETRO poderá realizar ensaios a fim de verificar o atendimento dos componentes às dimensões decimétricas dos produtos brasileiros, atuando de forma direta no mercado.
c) revisão das normas de coordenação modular e dos códigos de edificação. O fato das normas sobre o assunto serem incipientes e pouco objetivas provocam dúvidas quanto à sua interpretação, tornando a sua viabilidade frágil. Além disso, os códigos de edificações não estão em conformidade com a coordenação modular, limitando a sua aplicação. Por esses motivos, verifica-se a necessidade de novo exame tanto das normas de coordenação modular quanto dos códigos de edificações;
d) elaboração de manuais técnicos para os componentes da construção civil, conforme o Manual Técnico de Modulação de Vãos de Esquadrias preparado por Lucini (2001). Essa ação contribuiria para a padronização de elementos da indústria da construção civil. No entanto, cabe a ressalva de que, além da elaboração de manuais técnicos é necessário que estes sejam efetivamente aplicados, de forma que todos os intervenientes da construção civil sejam beneficiados;
e) uso do Código de Defesa do Consumidor como mecanismo de proteção aos interesses econômicos;
f) posicionamento mais radical dos órgãos de estímulo e financiamento, como o BNDES, para aquisição de equipamentos industriais importados com o intuito de não admitir equipamentos com outro sistema de medidas;
g) mobilização de esforços através do PBQP-H (Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat). Este programa se mostra como um grande articulador de todo o setor da indústria da construção civil, tornando assim um instrumento de grande força para a implementação da

> coordenação modular, pois agrega forças da área pública e privada. Através do PBQP-H, os agentes da construção civil podem atuar visando à modernização, organização, métodos e ferramentas de gestão. Assim, é possível existir dentro do PBQP-H um programa específico para a coordenação modular, pois com o seu suporte estatal poderá mobilizar os intervenientes da construção civil para as seguintes ações: renovação das normas; cumprimento das normas por meio de certificações dos componentes; incorporação do assunto ao ensino de graduação; realização de cursos dedicados aos projetistas e demais profissionais da construção civil e divulgação do assunto aos consumidores.

Essas ações, em conjunto com as demais já praticadas pelas empresas pesquisadas, poderão contribuir para a superação dos gargalos levantados para a disseminação da coordenação modular, decorrentes de problemas quanto aos recursos humanos, mercado, projeto arquitetônico e equipamentos. Institutos e Programas como o INMETRO e o PBQP-H poderão colaborar na fiscalização de produtos e mobilização de esforços em favor da coordenação modular. Assim como, o Código de Defesa do Consumidor pode atuar na proteção de interesses econômicos e o BNDES no impedimento de importação de equipamentos com outro sistema de medidas. No entanto, ainda há muito trabalho a ser feito, como a revisão das normas, dos códigos de edificações, a elaboração de manuais técnicos e a inserção da coordenação modular como assunto a ser abordado nos institutos de ensino.

4.2.5 Considerações finais sobre o Método Delphi

Como resultado final conclui-se que as empresas pesquisadas possuem um conhecimento restrito a respeito da coordenação modular. Durante a pesquisa existiram diversas respostas vagas e incompletas, sendo que algumas empresas nem souberam definir o termo. No entanto, nas respostas referentes ao conceito de coordenação modular foi possível extrair os benefícios obtidos, segundo o grupo

pesquisado. Os benefícios revelados pelos participantes dão ênfase à racionalização, no entanto, aspectos de intercambiliadade entre componentes e independência das etapas de montagem não foram mencionados. Por isso, os esforços para a disseminação da coordenação modular devem ser direcionados no esclarecimento do seu conceito, formas de aplicação e características quanto à intercambialidade de componentes em favor da flexibilidade de ambientes e subsistemas da construção. Apesar das empresas reconhecerem a importância de padronizar seus componentes para permitir a coordenação modular, o questionamento acerca dos módulos ideais revelou que apenas os blocos de concreto e os blocos cerâmicos é que realmente possuem medidas nominais conforme a coordenação modular, indicando o grande caos dimensional dos demais componentes construtivos. Em relação aos gargalos para a disseminação da coordenação modular foi possível classificá-los como: recursos humanos, mercado, projeto arquitetônico e equipamentos. Desses gargalos, os prioritários, com 75% das respostas analisadas, dizem respeito aos recursos humanos e projeto, expressos como: *falta de formação nas Universidades e escolas técnicas e contratação tardia de projetos para produção.* Para combater os gargalos, de modo geral, as empresas estão atuando quanto à: divulgação técnica e treinamento de profissionais; políticas agressivas de vendas; adaptação do projeto arquitetônico à malha modular; aquisição de novos equipamentos e busca de financiamentos. A esse respeito Baldauf (2004) aponta ainda outros caminhos, como: a revisão das normas e dos códigos de edificações, a elaboração de manuais técnicos e a inserção da coordenação modular como assunto a ser abordado nos institutos de ensino. Além disso, Baldauf (2004) indica institutos, programas, mecanismos e órgãos capazes de auxiliar a promoção da coordenação modular, como o INMETRO, o PBQP-H, o Código de Defesa do Consumidor e o BNDES.

Diante dessa análise verifica-se que, apesar das ações isoladas de algumas empresas, ainda existe muito trabalho a ser feito em favor da coordenação modular. Quanto a isso, diversos mecanismos e institutos podem atuar de forma efetiva tanto na fiscalização quanto ao fomento da prática da coordenação modular. A articulação de todas essas ações trará benefícios diretos em termos de redução de custos e esforço humano de modo a contribuir para a elevação da qualidade na indústria da construção civil.

4.3 DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE DO SISTEMA CAD-WEB PARA APLICAÇÃO DA COORDENAÇÃO MODULAR

A partir do estudo em campo realizado no Conjunto Habitacional Moradias Sambaqui e na pesquisa sobre os gargalos para disseminação da coordenação modular através do Método Delphi, foi iniciado o desenvolvimento dos dois protótipos de sistema CAD-WEB para aplicação da coordenação modular. Este sistema CAD-WEB teve como objetivo oferecer um suporte computacional para o projeto “Kits Divisória-Mobiliário *Do-it-yourself* para Habitação de Interesse Social” para a composição de um leiaute gráfico de divisória utilizando móveis. O estudo em campo permitiu conhecer o usuário potencial do sistema, suas formas de linguagem e de cognição, de modo a estabelecer uma interface gráfica amigável e ergonomicamente adequada. Além disso, através das análises quanto à modulação construtiva foi possível perceber os impactos da falta de coordenação modular nas habitações estudadas e como estes poderiam ser contornados através do uso do sistema na concepção de um leiaute arquitetônico que considera os conceitos de coordenação modular.

O estudo realizado através do Método Delphi permitiu conhecer a situação da cadeia produtiva em relação à coordenação modular e quais os principais gargalos para a sua disseminação. Foi constado que uma das dificuldades encontradas em relação ao problema caracterizado como projeto arquitetônico é a falta de um software específico. Dessa maneira, o desenvolvimento de um sistema CAD-WEB para aplicação da coordenação modular torna-se uma estratégia viável para disseminar os conceitos de coordenação modular na cadeia produtiva, além de contribuir na resolução do problema referente a falta de projeto arquitetônico coordenado modularmente.

4.3.1 Desenvolvimento do primeiro protótipo CAD-WEB através da plataforma JMONKEYENGINE

Com base nos requisitos do sistema mencionados no capítulo de método de pesquisa, foi desenvolvido o primeiro protótipo do sistema CAD-WEB para aplicação da coordenação modular. Este protótipo foi desenvolvido em linguagem Java 3D através da plataforma *JMonkeyEngine*, que consiste em uma biblioteca de alta performance para jogos em 3D. Os recursos disponibilizados por esta plataforma gráfica permitem a construção de modelos 3D com grande realismo visual. Portanto, é possivel construir desde formas primitivas como cubo, esfera, cilindro até modelos tridimensionais mais complexos de esqueletos e peles, incluindo efeitos de luz, sombras, texturas e render. Esta plataforma gráfica também permite a navegação por meio de câmeras dentro da cena construída, sendo realizada em todas as direções, orientada pelo usuário através do mouse.

Para o desenvolvimento deste sistema CAD-WEB, os objetos em 3D, que se referem à casa e aos armários, foram modelados através do software ArchiCAD (Graphisoft) versão 11 e convertidos no formato 3DS. Como a plataforma *JMonkeyEngine* permitia livre navegação no modelo 3D em todas as direções, optou-se por fixar as formas de visualização em vistas pré-definidas de planta e perspectiva, a fim de orientar um usuário inexperiente na elaboração do projeto e na manipulação das vistas do modelo. Dessa maneira, o processo projetual poderia ser facilitado, uma vez que a vista em planta é a mais adequada para o posicionamento preciso dos elementos construtivos. A verificação dos espaços no modelo construído poderia então ser feita na vista em perspectiva. No entanto, para um usuário experiente, a funcionalidade de livre navegação foi mantida, caso fosse necessário um passeio no ambiente 3D. Ao lado do menu de objetos, o sistema CAD-WEB também disponibiliza um relatório dinâmico para consulta de informações pertinentes ao arranjo do mobiliário-divisória, como: custo unitário do móvel, custo total dos móveis inseridos, lista de fornecedores, processo de montagem e desmontagem. A orientação à coordenação modular foi feita através da ferramenta *snap* que permite o posicionamento dos armários somente dentro do *grid* modular de dez centímetros.

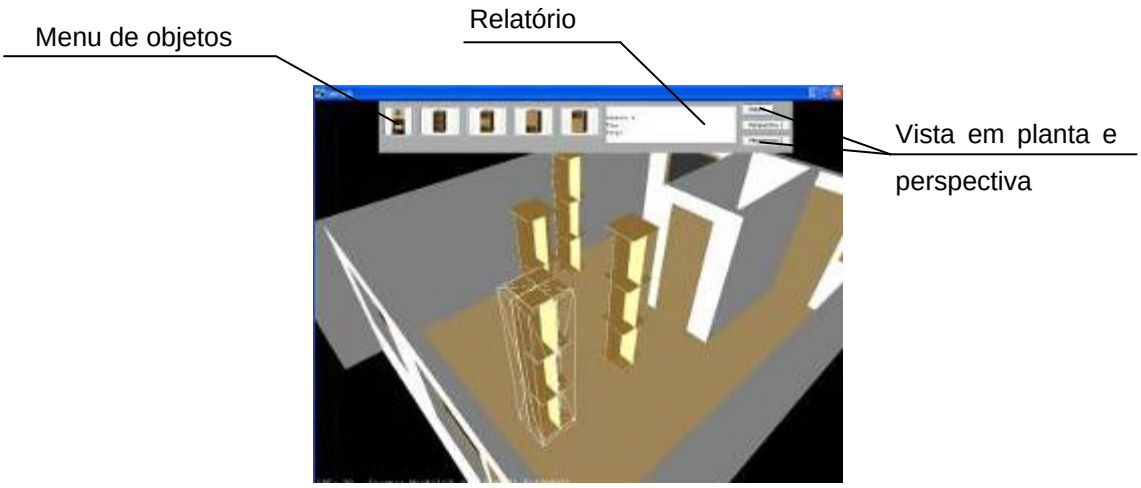


FIGURA 59 - INTERFACE DO PROTÓTIPO COM JMONKEYENGINE
FONTE: A autora (2008)

O desenvolvimento deste sistema CAD-WEB através da plataforma *JmonkeyEngine* apresentou algumas incompatibilidade entre a tecnologia aplicada e os objetivos gerais do projeto do sistema. Como a plataforma utilizada era direcionada para aplicação de jogos em 3D na WEB, o sistema exigia computadores de alta performance para o processamento de dados, além de acessórios, como placas gráficas *off-board*. Esses requisitos foram considerados como um entrave para a disseminação e aceitação do sistema CAD-WEB. Além disso, a ferramenta *snap* mostrou-se inconsistente nesta plataforma, dificultando o posicionamento dos objetos principalmente nos cantos na vista em perspectiva aproximada. Por esses motivos optou-se por um segundo desenvolvimento, que fosse mais adequado aos usuários em geral do sistema e que permitisse a construção de um sistema CAD-WEB mais estável e confiável.

4.3.2 Desenvolvimento do segundo protótipo CAD-WEB: Linguagem Java e VRML

O segundo protótipo CAD-WEB foi baseado em tecnologias WEB como a linguagem Java e a linguagem VRML. Desta maneira, o sistema pode ser acessado via Internet por meio de um *browser* WEB. A interface do sistema foi projetada conforme os princípios de ergonomia e usabilidade de sistemas gráficos interativos, com o objetivo de conceber uma maior interação entre usuário e máquina. Portanto, a fim de aumentar a usabilidade, o processo projetual através do sistema CAD-WEB inicia com a interface em 2D, de modo que neste plano sejam executadas todas as manipulações e operações como rotação e posicionamento. A princípio, no menu de objetos foram carregados três modelos de armário pré-definidos com prateleiras, largura padrão de 60 cm e alturas fixas de 80 cm, 160 cm e 240 cm. Este último armário corresponde à altura do pé-direito da residência. Conforme o protótipo anterior, o sistema traz pré-definido o modelo da residência da COHAB CT2-34B. Além destes armários com prateleiras, o sistema CAD-WEB também disponibiliza ao usuário três tipos de painéis com largura de 60 cm e alturas de 80 cm, 160 cm e 240 cm, permitindo maior flexibilidade na construção de arranjos de divisórias. Conforme o primeiro protótipo, a orientação à coordenação modular foi implementada através da ferramenta *snap*, com objetivo de conduzir o usuário na elaboração do projeto respeitando o módulo básico de dez centímetros. Os objetos são dispostos no plano 2D conforme sua vista em planta e para facilitar a identificação dos diversos objetos inseridos foram associadas diferentes cores para diferentes alturas. Portanto, para as alturas de 80 cm, 160 cm e 240 cm foram designadas respectivamente as cores: bege, marrom claro e marrom escuro, que aparece tanto no ícone do objeto como na sua representação em 2D. Com esse mesmo intuito, para suportar o processo projetual, a indicação da frente do armário foi feita através de uma seta. Durante a elaboração do projeto de leiaute de mobiliário-divisória é disponibilizada de forma dinâmica ao usuário um relatório contendo informações pertinentes ao projeto, como: custo unitário do móvel, custo total dos móveis inseridos, lista de fornecedores, processo de montagem e desmontagem. Essas informações são atualizadas automaticamente, conforme operações para inserir ou deletar objetos. Após definido o leiaute gráfico na interface 2D, o usuário gera o modelo 3D a fim de

verificar em um modelo realístico se o projeto está de acordo com o planejado. O modelo 3D é aberto em uma nova página WEB através de um plugin VRML e apresenta ao usuário a visão tridimensional da casa com todos os objetos inseridos que compõem o novo arranjo gráfico. O visualizador VRML permite a livre navegação e passeio no modelo 3D para auxiliar no estudo do novo projeto concebido. Para auxiliar o usuário na visualização da escala adequada do projeto, a representação tridimensional da casa foi enriquecida com um modelo de um carro e de uma pessoa em 3D. O desenvolvimento deste sistema CAD-WEB iniciou com a modelagem de dados através da UML, com o objetivo de representar a estrutura geral do sistema. No entanto, neste projeto não foram realizados todos os diagramas UML, representando apenas as funcionalidades do sistema, vistos por atores externos, através do diagrama de Caso de Uso e a estrutura geral de dados através do diagrama de Classes. A última etapa do desenvolvimento deste sistema CAD-WEB consistiu na avaliação da usabilidade de interfaces gráficas interativas através de um *checklist* de ergonomia e de ensaios de interação.

4.3.2.1 Modelagem de objetos através da UML

A UML é uma linguagem padrão para especificar, visualizar, documentar e construir artefatos de um sistema e pode ser utilizada em todos os processos ao longo do ciclo de desenvolvimento e através de diferentes tecnologias de implementação. A linguagem UML utiliza a notação de diagramas para representar a estrutura estática, interação dinâmica, aspectos não funcionais (tempo de processamento, confiabilidade, produção) e organizacionais. Portanto, os diagramas utilizados pela UML são compostos por oito tipos: diagrama de classe, diagrama de caso de uso, diagrama de seqüência, diagrama de colaboração, diagrama de estado, diagrama de atividade, diagrama de componente e diagrama de implantação. Cada tipo de diagrama captura uma perspectiva diferente, enfatizando um aspecto particular do sistema, de modo que, tais diagramas, junto com a documentação de suporte, são os elementos primários de modelagem de um sistema (FURLAN, 1998).

4.3.2.1.1 Diagrama de Caso de Uso: Projetar Leiaute Mobiliário-Divisória

Os diagramas de caso de uso estabelecem um modo de descrever a visão externa do sistema e suas interações com o mundo exterior, representando uma visão de alto nível de funcionalidade intencional mediante o recebimento de um tipo de requisição do usuário. A modelagem de caso de uso é utilizada não somente para capturar necessidades de um novo sistema, mas também para desenvolver novas versões. Neste caso, a nova funcionalidade é adicionada ao contexto do modelo de caso de uso através da inserção de novos atores e casos (FURLAN, 1998).

Para este protótipo de CAD-WEB, as funcionalidades do sistema foram representadas em um único caso de uso denominado “Projetar Leiaute Mobiliário-Divisória”. O “Projetista” representa o ator do sistema e os cenários de interação são expostos através das operações: inserir objetos, posicionar objetos, rotacionar objetos, deletar objetos, gerar modelo 3D, navegar no modelo 3D e consultar relatório.

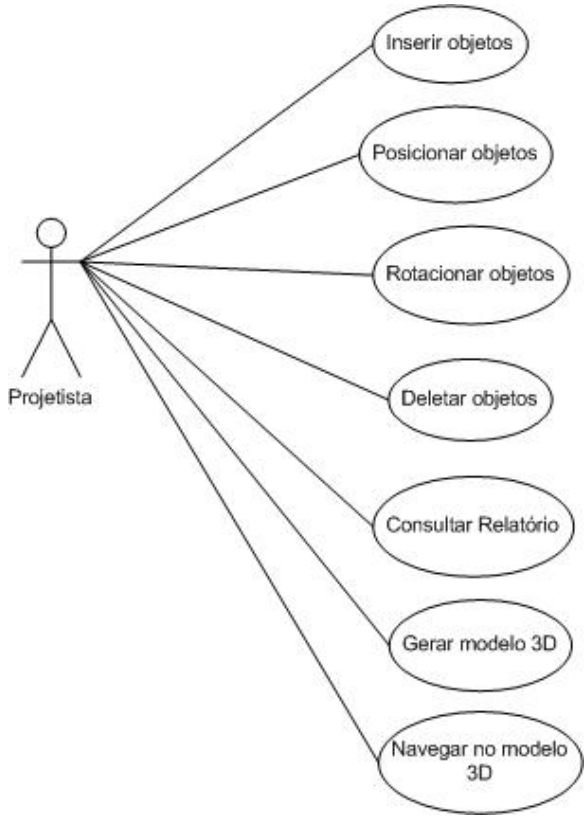


FIGURA 60 - DIAGRAMA DE CASO DE USO: PROJETAR LEIAUTE MOBILIÁRIO-DIVISÓRIA
FONTE: A autora (2008)

4.3.2.1.2 Diagrama de Classe

O diagrama de classe refere-se à estrutura estática de um sistema e as classes representam um conjunto de coisas reais ou abstratas que são reconhecidas como sendo do mesmo tipo, pois compartilham as mesmas características de atributos, operações, relações e semântica. Este diagrama é considerado estático, pois a estrutura descrita é sempre válida em qualquer ponto no ciclo de vida do sistema (FURLAN, 1998).

Neste protótipo a classe principal é a “Classe Applet”, responsável pelo controle do menu de operações e do fluxo geral de dados. Esta classe relaciona-se com a “Classe Impressão” e a “Classe Figuras”, que é responsável pela manipulação da representação em 2D dos objetos no sistema.

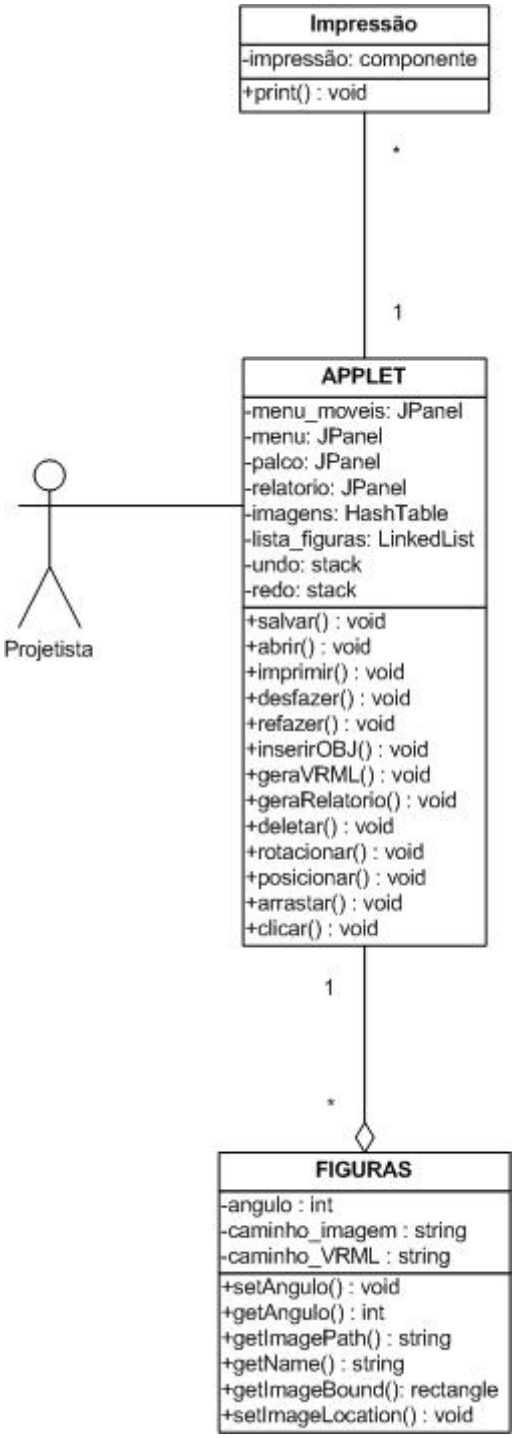


FIGURA 61 - DIAGRAMA DE CLASSES

FONTE: A autora (2008)

4.3.2.2 Implementação do CAD na WEB

A implementação do segundo protótipo CAD-WEB combinou duas tecnologias para a WEB: a linguagem Java e a linguagem VRML. A linguagem Java foi utilizada para a construção da interface 2D do ambiente e para a implementação de todas das funcionalidades do sistema, incluindo a comunicação dinâmica entre o Applet Java e o modelo 3D em VRML. O sistema CAD-WEB é executado através da máquina virtual Java, um programa de gerenciamento de aplicativos que é incorporado ao browser do usuário, o que garante independência da plataforma de aplicação.

Os objetos tridimensionais foram modelados no software ArchiCAD (Graphisoft) versão 11 e convertidos no formato WRL para permitir a visualização através do browser VRML. Assim, a visualização e manipulação do modelo 3D são feitas através do browser WEB por meio de um plugin VRML. Para gerar a visualização 3D é necessário salvar antes localmente o projeto. Esse modo de implementação permitiu o acesso simultâneo de várias pessoas via WEB ao sistema.

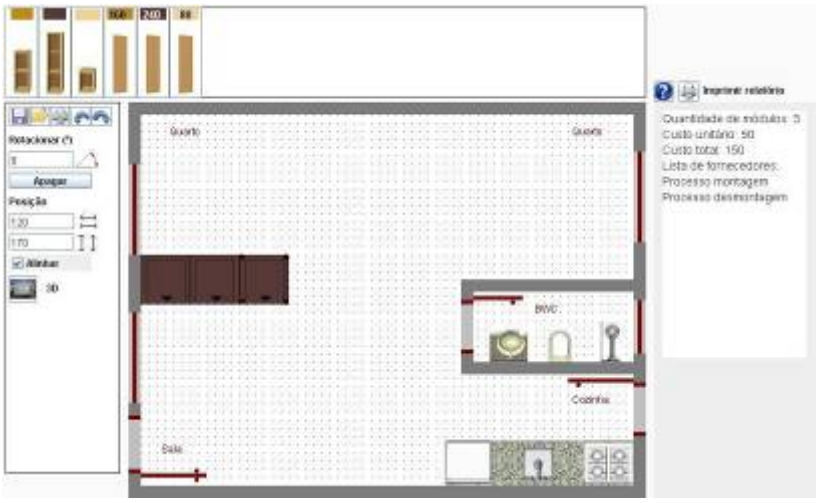


FIGURA 62 - INTERFACE CAD-WEB
FONTE: A autora (2008)

FIGURA 63 - VISUALIZAÇÃO 3D BROWSER VRML
FONTE: A autora (2008)

4.3.2.3 Resultado da avaliação de usabilidade de interfaces gráficas interativas: *checklist* de ergonomia

A avaliação da usabilidade da interface do sistema através do *checklist* de ergonomia, elaborada a partir da lista de verificação denominada Ergolist, fez parte da pré-análise para o ensaio de interação com usuários potenciais do sistema e permitiu diagnosticar os principais problemas de interação homem-máquina.

A tabulação dos resultados foi executada conforme as alternativas disponíveis no *checklist* de avaliação de ergonomia. Assim, os resultados foram agrupados em questões conformes, que indicam consistência apropriada em termos ergonômicos, questões não conformes, que indicam falta de qualidade ergonômica e questões não aplicáveis, que se referem a questões inexistentes na interface do sistema.

4.3.2.3.1 Critérios Conformes da Avaliação Ergonômica

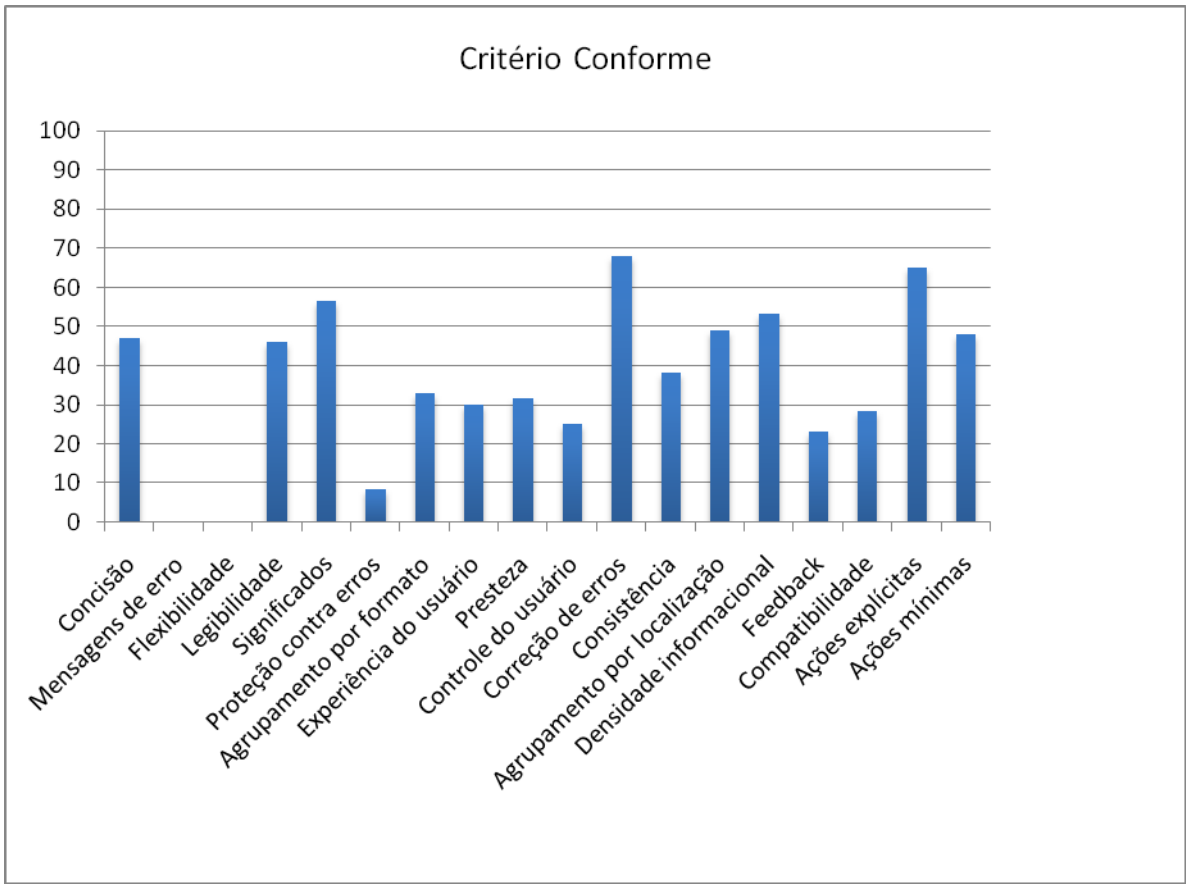


GRÁFICO 1 - ERGOLIST: CRITÉRIOS CONFORMES

FONTE: A autora (2008)

Das questões ergonomicamente conformes, o critério melhor avaliado foi o que diz respeito à “correção de erros”, com o índice percentual de 68% das respostas dos avaliadores. Este critério refere-se aos meios colocados à disposição do usuário a fim de permitir a correção de seus erros. No *checklist* de avaliação, este item é verificado principalmente através de operações de “desfazer” e “refazer”, o que corresponde com os mecanismos operacionais disponibilizados na interface de usuário do sistema CAD-WEB. O critério “mensagens de erro”, que avalia a qualidade das mensagens de erro enviadas aos usuários em dificuldades e “flexiblidade”, que verifica se o sistema permite personalizar as apresentações e os diálogos, não receberam nenhuma indicação conforme. Em relação ao item

“mensagem de erros”, a ausência de conformidade foi devido à falta deste alerta ao usuário e não devido à falta de adequação deste dispositivo. Assim, este critério recebeu a indicação de 100% na análise dos itens não aplicáveis pelo sistema. Em termos de índice médio, a interface do sistema recebeu 37% de índice de conformidade ergonômica, o que pode ser considerado um nível aceitável para um sistema em fase de protótipo.

Conformes	
Critérios	**%**
Correção de erros	68
Ações explícitas	65
Significados	57
Densidade informacional	53
Agrupamento por localização	49
Ações mínimas	48
Concisão	47
Legibilidade	46
Consistência	38
Agrupamento por formato	33
Presteza	32
Experiência do usuário	30
Compatibilidade	29
Controle do usuário	25
Feedback	23
Proteção contra erros	9
Mensagens de erro	0
Flexibilidade	0

QUADRO 22- PERCENTUAIS POR CRITÉRIOS CONFORMES

FONTE: A autora (2008)

4.3.2.3.2 Critérios Não Conformes da Avaliação Ergonômica

Em relação aos critérios não conformes, o critério mais apontado foi o item "*feedback*", com 47% das respostas dos avaliadores, o que significa a falta da qualidade ergonômica em relação às respostas do sistema às ações do usuário. Na média dos avaliadores, as questões não conformes correspondem a um percentual de 13% das respostas, o que corresponde a um baixo percentual de itens não conformes e, portanto, um razoável nível de qualidade ergonômica.

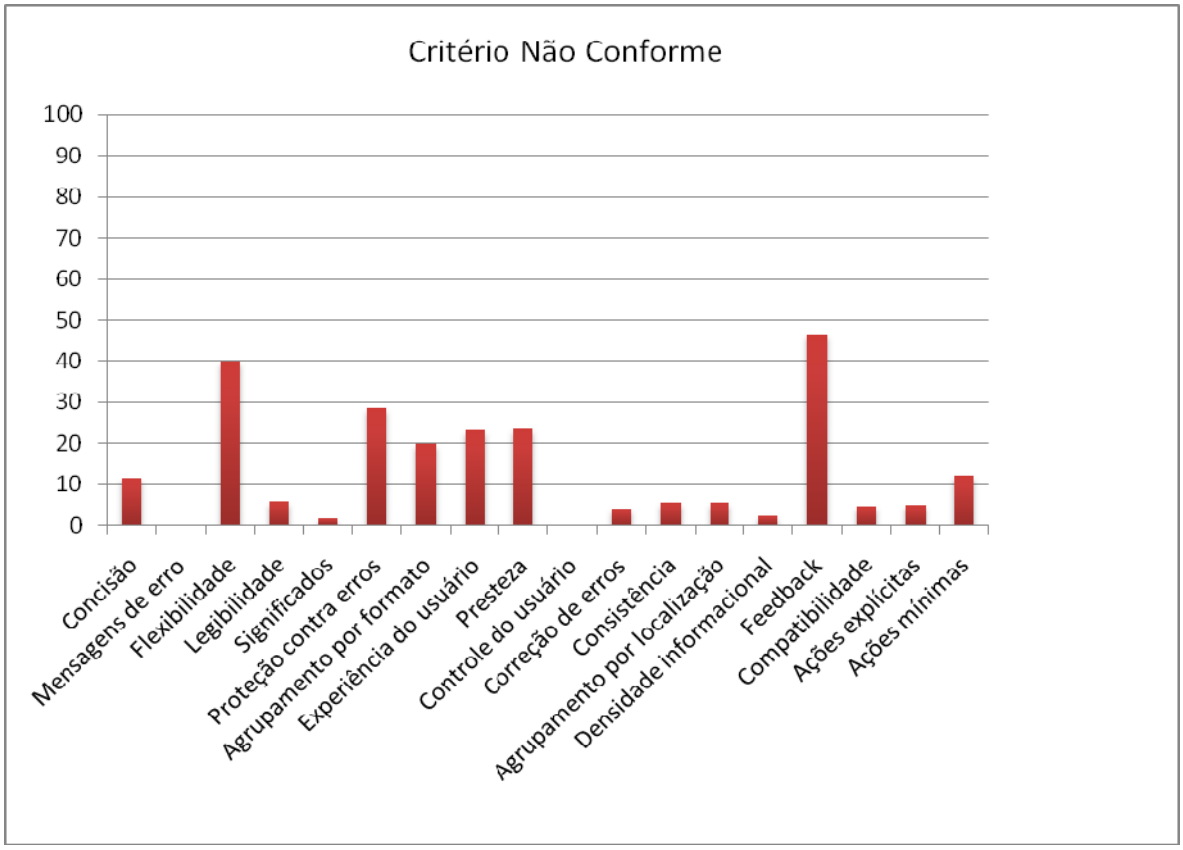


GRÁFICO 2 - ERGOLIST: CRITÉRIOS NÃO CONFORMES

FONTE: A autora (2008)

Não Conformes	
Critérios	**%**
Feedback	47
Flexibilidade	40
Proteção contra erros	29
Presteza	24
Experiência do usuário	23
Agrupamento por formato	20
Ações mínimas	12
Concisão	11
Legibilidade	6
Consistência	5
Agrupamento por localização	5
Ações explícitas	5
Compatibilidade	5
Correção de erros	4
Densidade informacional	2
Significados	2
Mensagens de erro	0
Controle do usuário	0

QUADRO 23 - PERCENTUAIS POR CRITÉRIOS NÃO CONFORMES

FONTE: A autora (2008)

4.3.2.3.3 Critérios Não Aplicáveis da Avaliação Ergonômica

Das questões não aplicáveis na interface gráfica do sistema, o critério que recebeu maior índice foi o item “mensagens de erro”, com 100% das respostas dos avaliadores, seguindo-se os critérios: controle do usuário (75%) e compatibilidade (67%). Em termos médios, a interface do sistema foi avaliada com um percentual 50% de itens não aplicáveis. Este resultado justifica-se pela baixa complexidade do sistema, de modo que não existem complexos processos de interação através de janelas de diálogos ou complicados fluxos de dados. Além disso, o sistema ainda encontra-se em fase de protótipo e muitos mecanismos para facilitar a interação entre usuário e máquina, como por exemplo, as mensagens de erros, ainda não foram totalmente implementados.

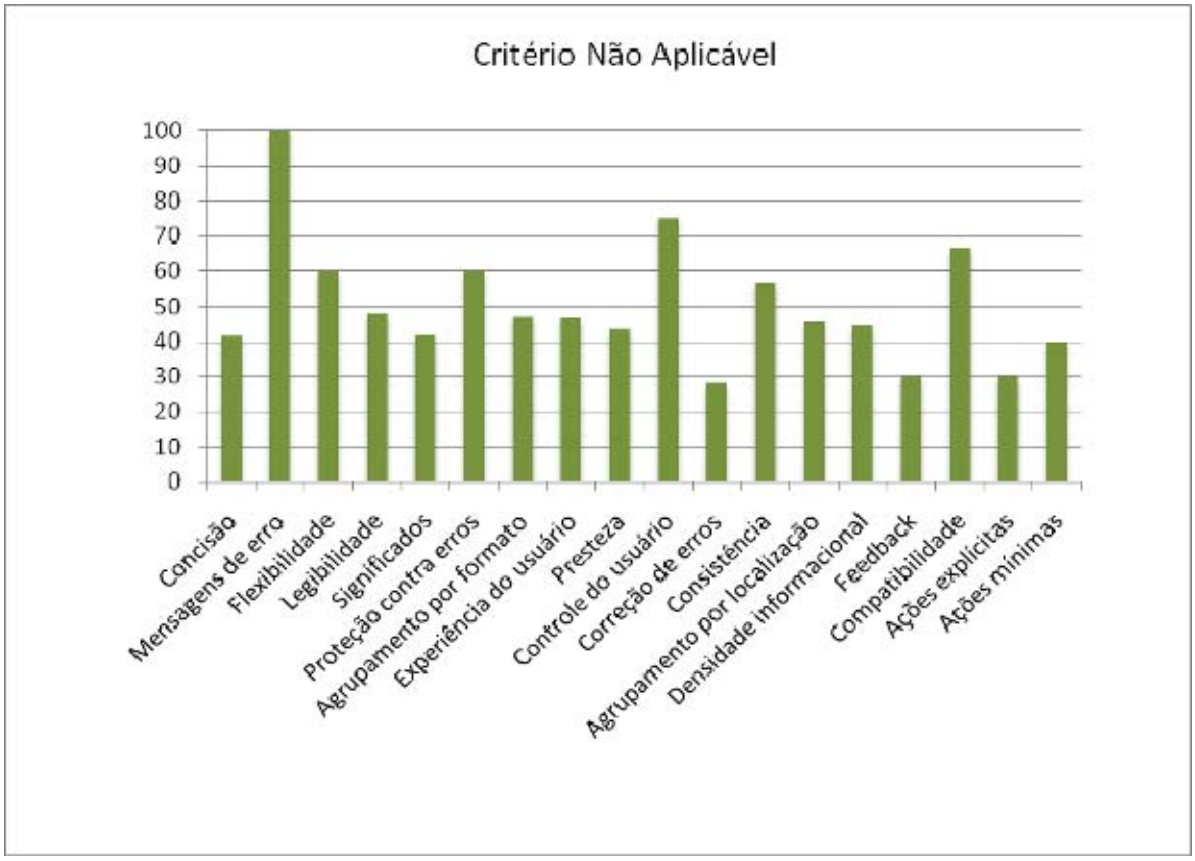


GRÁFICO 3 - ERGOLIST: CRITÉRIOS NÃO APLICÁVEIS

FONTE: A autora (2008)

Não Aplicável	
Critérios	%
Mensagens de erro	100
Controle do usuário	75
Compatibilidade	67
Flexibilidade	60
Proteção contra erros	60
Consistência	56
Legibilidade	48
Agrupamento por formato	47
Experiência do usuário	47
Agrupamento por localização	45
Densidade informacional	44
Presteza	44
Significados	42
Concisão	41
Ações mínimas	40
Feedback	30
Ações explícitas	30
Correção de erros	28

QUADRO 24 - PERCENTUAIS POR CRITÉRIOS NÃO APLICÁVEIS

FONTE: A autora (2008)

4.3.2.3.4 Análise geral da avaliação ergonômica através do *checklist*

Em uma análise geral da avaliação ergonômica, conclui-se que a maior parte dos itens foram indicados como “não aplicável”, existindo uma baixa incidência de itens não conformes e um nível aceitável para critérios ergonômicos conformes. A partir do gráfico abaixo é possível ter uma percepção visual do resultado do processo de avaliação da ergonomia da interface gráfica.

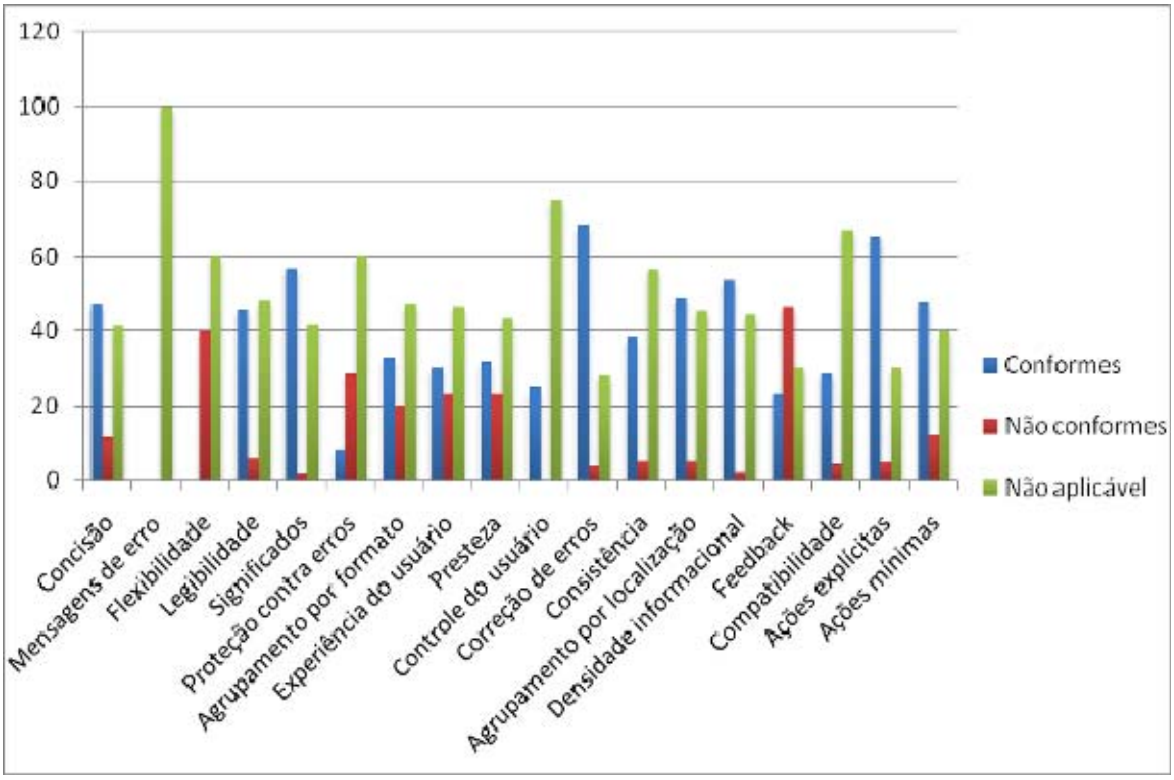


GRÁFICO 4 - ERGOLIST: AVALIAÇÃO GERAL
FONTE: A autora (2008)

Durante a aplicação do *checklist* de ergonomia, os avaliadores apontaram diversos problemas na interface do sistema, que foram posteriormente corrigidos para a aplicação do teste de usabilidade através de ensaios de interação com usuários potenciais. Dos problemas apontados, pode-se enfatizar os seguintes:

a) em relação ao critério agrupamento por formato, que verifica os formatos dos itens como meio para transmitir associações e diferenças, o sistema CAD-WEB não permite identificar o objeto selecionado para execução de comandos de edição;

b) em relação ao critério *feedback*, que se refere às respostas do sistema às ações do usuário, o sistema não define o foco das atenções para objetos recém-criados, de modo que, quando um novo objeto é inserido na área projetual, o objeto anterior fica sobreposto.

O critério presteza, que verifica se o sistema conduz o usuário durante a interação, apresentou o maior número de problemas segundo os avaliadores, sendo detacados os seguintes:

a) o sistema não delimita o posicionamento dos objetos, de modo que um componente pode ser inserido fora da área de projeto, sendo posteriormente impossível recuperá-lo;
b) o dado para o campo “posicionar”, que possui formato específico em centímetros não está informado;
c) não existem rótulos para identificar a caixa de relatório e demais ícones do sistema para informar ao usuário sobre ações disponíveis;
d) os botões para “desfazer” e “refazer” confundem-se com a funcionalidade “rotacionar à esquerda e à direta”.

Como síntese final deste processo de avaliação, é possível afirmar que a interface gráfica apresenta um índice percentual médio de 37% de critérios conformes, 13% de critérios não conformes e 50% de critérios não aplicáveis. O sistema responde adequadamente aos itens ergonômicos de correção de erros, ações explícitas e significados, o que contribui para uso adequado do sistema. No entanto, o sistema apresenta alguns problemas de qualidade ergonômica referentes ao *feedback* imediato e flexibilidade. A adaptação do sistema a esses itens ergonômicos poderá auxiliar o usuário quanto ao uso mais intuitivo e ágil do sistema, sendo adequado tanto a usuário experientes como inexperientes quanto ao uso da tecnologia. A maioria dos itens analisados foram classificados como “não aplicável”, devido a baixa complexidade do sistema e ainda pela inexistência, nesta fase de desenvolvimento, desses mecanismos que contribuem para a usabilidade do aplicativo. Para as próximas versões, esses dispositivos inexistentes deverão ser implementados a fim de aumentar a interação entre usuário e máquina. Os critérios considerados como “não conformes” também deverão merecer atenção nas próximas atualizações do sistema CAD-WEB, de maneira a melhorar a usabilidade. Diante dessa avaliação pode-se concluir que a interface do sistema possui um nível aceitável de ergonomia, podendo ser melhorado através de devidos ajustes na interface e implementações dos critérios ergonômicos ausentes.

4.3.2.4 Atualização do sistema CAD-WEB

Baseando-se nos resultados e comentários dos avaliadores do *checklist* de ergonomia, a interface do sistema CAD-WEB foi aprimorada. As principais modificações foram: destaque aos objetos selecionados, função para inserir objetos lado-a-lado no plano de projeto, delimitação da área projetual, introdução da unidade de medida para a função posicionar, inserção de rótulos nos botões de comando, substituição dos botões para desfazer e refazer por outro ícone, implementação da função rotacionar através do antigo ícone para desfazer e refazer e inserção do botão “OK” para a função rotacionar. A nova interface pode ser visualizada na figura abaixo:

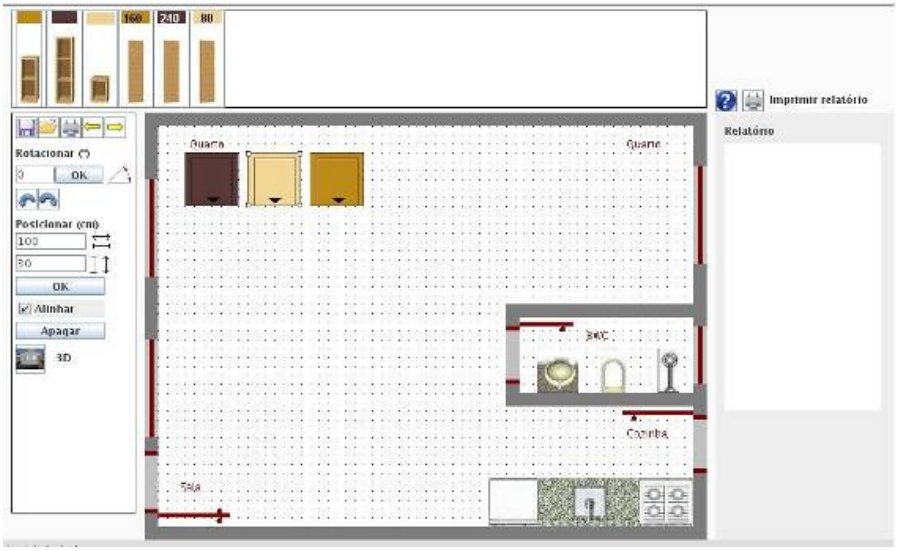


FIGURA 64 - NOVA INTERFACE DO SISTEMA CAD-WEB
FONTE: A autora (2008)

4.3.2.4.1 Modelagem de dados através da UML da atualização do sistema

A atualização do sistema CAD-WEB demandou uma nova modelagem de dados de modo a refletir as novas funcionalidades implementadas. Como os requisitos do sistema permaneceram os mesmos, apenas foi alterado o diagrama de classes. Aproveitando a oportunidade de uma nova modelagem, os dados foram re-organizados de modo a facilitar a implementação e novas atualizações. Desta maneira, surgiu uma nova classe chamada “móveis” e outra chamada “menu”.

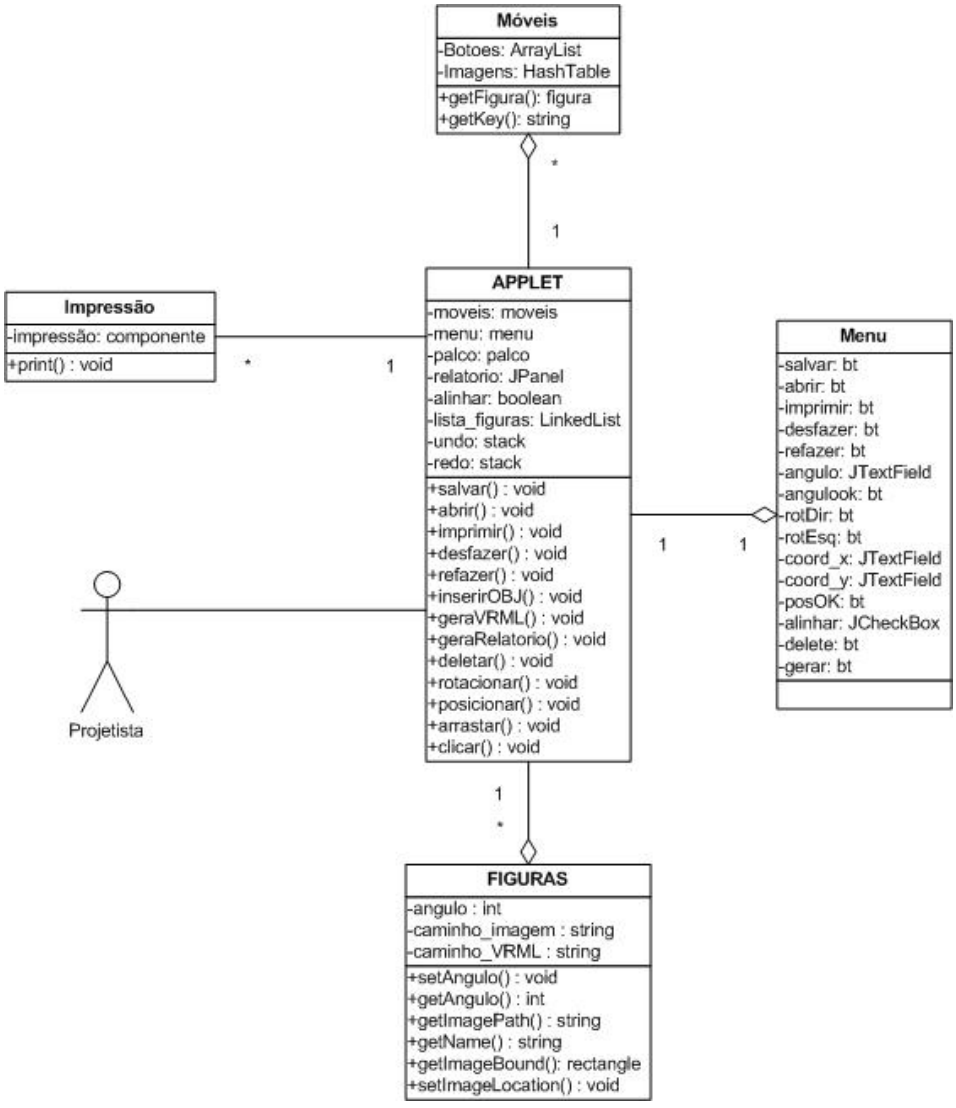


FIGURA 65 - DIAGRAMA DE CLASSES DA ATUALIZAÇÃO DO SISTEMA CAD-WEB
FONTE: A autora (2008)

4.3.2.5 Resultado da avaliação de usabilidade de interfaces gráficas interativas: ensaio de interação

A avaliação de usabilidade de interfaces gráficas interativas através de ensaios de interação refere-se à simulação do uso do sistema por usuários representativos tentando realizar tarefas típicas. Neste estudo foram realizados seis ensaios, de modo que, cada ensaio consistia em três etapas: explicação a respeito da tarefa a ser realizada, desenvolvimento da tarefa e discussão a respeito do ensaio de interação. Durante a realização dos ensaios, o condutor anotava as principais dúvidas e dificuldades que os usuários eventualmente encontravam.

4.3.2.5.1 Perfil dos avaliadores

O perfil dos avaliadores que participaram do processo de avaliação de usabilidade de interfaces gráficas através do ensaio de interação procurou representar os usuários em geral do sistema. O sistema foi projetado de maneira a suportar qualquer pessoa que tenha necessidade em elaborar um leiaute gráfico de mobiliário-divisória. Por isso, o perfil de usuário selecionado para avaliar o sistema foi baseado nos seguintes critérios: possuir conhecimentos básicos de informática e noções projetuais. Entre os selecionados para participar do ensaio procurou-se incluir pessoas com idades mais avançadas, a fim de verificar a legibilidade das informações apresentadas na tela e diagnosticar o nível de usabilidade até mesmo para usuários que possuem pouca acuidade visual. A descrição detalhada do perfil dos participantes do ensaio de interação encontra-se logo abaixo:

	Idade (anos)	***Gênero***	***Grau de instrução***
Participante 01	41-50	Fem.	3º grau
Participante 02	31-40	Fem.	2º grau
Participante 03	41-50	Fem.	3º grau
Participante 04	Mais de 51	Masc.	3º grau
Participante 05	Mais de 51	Fem.	3º grau
Participante 06	Mais de 51	Fem.	3º grau

QUADRO 25 - PERFIL DOS PARTICIPANTES DO ENSAIO DE INTERAÇÃO

FONTE: A autora (2008)

4.3.2.5.2 Diagnóstico da avaliação do ensaio de interação

A simulação do uso do sistema CAD-WEB permitiu observar as principais dificuldades de interação entre usuario e máquina durante a realização de tarefas típicas. De maneira geral, todos os participantes conseguiram realizar suas tarefas com sucesso, mostrando-se satisfeitos quanto ao uso do sistema. Nesta avaliação de usabilidade foram analisados os seguintes aspectos do sistema: manipulação de objetos, visualização 3D e design de interface.

4.3.2.5.3 Manipulação de objetos

Em relação à manipulação dos objetos, que incluem operações de inserir, deletar, arrastar e rotacionar através do sistema CAD-WEB, a maioria dos participantes considerou a tarefa com um nível baixo de dificuldade. Apenas alguns participantes alegaram um nível médio de dificuldade, indicando que o entrave correspondia mais à falta de habilidade quanto ao uso do computador do que em relação à interface do sistema. Portanto, de maneira geral a interface do sistema CAD-WEB permite uma fácil manipulação dos objetos, sendo que, para usuários inexperientes em relação ao uso de tecnologias de informação, é necessária uma utilização mais sistematizada do aplicativo a fim de aumentar o nível de experiência.

Através deste ensaio pode-se verificar que, para esse sistema, o processo de inserção de objetos mais intuitivo é por meio do mouse através do arraste da peça para dentro do plano de projeto, visto que todos os participantes tentaram iniciar a tarefa desta forma. Apesar do processo de interação adotado para inserção de objetos não ser o mais intuitivo, após algumas tentativas todos os participantes descobriram que, para inserir um objeto é necessário apenas clicar com o mouse no respectivo ícone do menu. O processo de posicionamento dos objetos através do arraste pelo mouse foi claramente percebido pelos participantes, contribuindo para o rápido aprendizado do sistema.

Para a operação de “rotacionar” objetos, os usuários apresentaram certa dificuldade, visto que a interação não era direta somente através do mouse. Para rotacionar objetos o usuário deveria acionar este comando através do menu de ferramentas, ao lado do plano de projeto. Isto permitia ativar a operação através da entrada do valor do ângulo desejado no campo “rotacionar” ou através do botão “rotacionar à esquerda” e “rotacionar à direita”. Este processo de interação através do menu de ferramentas desviava a atenção do usuário do plano de projeto, reduzindo a agilidade na tarefa projetual. Apesar de a função rotacionar também ter sido implementada para ser executada através do mouse, a operação demandava o uso conjunto da tecla CTRL. Essa informação não era fornecida através da interface do sistema, prejudicando o uso dessa forma de interação. Assim, apenas usuários experientes em relação ao uso da tecnologia da informação conseguiram interagir no sistema através do mouse para rotacionar objetos. A respeito do significado dos termos associados aos comandos, foi observada que a palavra “rotacionar” não mostrou muita representatividade aos participantes do processo de interação, de modo que, a palavra “girar” apresentou melhor familiaridade para associar o termo ao respectivo comando.

Por fim, a função deletar objetos foi facilmente percebida pelos usuários. Ao invés de utilizar a palavra “deletar”, o comando foi relacionado à palavra “apagar”, o que contribuiu para a rápida assimilação do método. No entanto, a ação para deletar ainda não estava implementada para ser executada através do teclado do computador, o que causou um entrave para usuários habituados a esse tipo de interação com a máquina.

4.3.2.5.4 Visualização 3D

Durante o ensaio de interação todos os participantes conseguiram associar a representação em 2D com o modelo 3D. Assim, os usuários foram capazes de indentificar as alterações feitas na interface 2D sendo refletidas no ambiente tridimensional. No entanto, para a tarefa de navegar no modelo 3D, alguns usuários apresentaram dificuldades em relação à manipulação do objeto a fim de colocá-lo na vista adequada. Isto se justifica pela falta de hábito na interação com esse tipo de artefato. Mas, após algumas tentativas, os participantes atingiram êxito na manipulação da vista desejada do modelo tridimensional. Na opinião dos participantes do ensaio de interação, as principais vantagens em visualizar o modelo 3D são: perceber em um modelo realístico a distribuição dos espaços, as dimensões e proporções dos objetos inseridos e auxiliar na compreensão da representação bidimensional.

4.3.2.5.5 Design de interface

A maioria dos participantes considerou a representação dos textos e ícones com boa legibilidade, além de analisar como apropriado o posicionamento dos botões e caixas de comandos. No entanto, o menu de objetos apresentou alguns problemas cognitivos para os usuários. Na opinião dos entrevistados, o ícone que representa os móveis não associa intuitivamente as diferentes alturas (80 cm, 160 cm e 240 cm) representadas pelas diferentes cores. Alguns participantes confundiram essa informação com diferentes larguras para os objetos e outros participantes inclusive nem perceberam a informação transmitida através das cores. Ainda no menu de objetos, o ícone que representa as placas também causou ambigüidade. Segundo os participantes, a representação do ícone da placa no menu de objetos, apesar de associar diferentes cores às diferentes alturas, não era clara, uma vez que o desenho do ícone era o mesmo para diferentes objetos. No entanto, o símbolo de seta para indicar a frente do armário na vista 2D foi claramente

percebido pelos participantes, contribuindo para a elaboração correta do projeto. O comando “rotacionar” também apresentou problemas. Foi alegado que visualmente a área ocupada pela função ficou muito carregada, de modo que, poderia ser suprimido o desenho contendo a informação do ângulo. Este desenho, que representava apenas uma informação visual, poderia ser confundido, segundo os participantes, com um botão de interação, prejudicando o desempenho do usuário. Ainda em relação ao comando “rotacionar”, a informação a respeito do formato do dado em graus ficou muito pequena e poucos puderam ler a informação.

De modo geral, os participantes consideraram adequada a interface, merecendo alguns ajustes. Em relação à usabilidade, os participantes afirmaram que a interação do sistema é de fácil memorização e que em uma próxima operação eles são capazes de lembrar os procedimentos executados, dispensando um novo aprendizado do sistema. Quanto aos aspectos de satisfação de uso, todos se mostraram contentes com o uso da ferramenta, atingindo êxito em suas tarefas.

Como sugestão de melhoramentos para a interface, alguns participantes propuseram a implementação de um manual dinâmico na interface do sistema, com objetivo de apresentar na introdução do sistema uma ajuda passo-a-passo para usuários iniciantes. Além disso, foi apontada a inclusão das medidas da casa no plano bidimensional a fim de auxiliar o usuário na elaboração adequada do projeto. Outra sugestão dada foi propor ajustes automáticos para o fechamento da modulação do projeto através do sistema.

4.3.2.6 Considerações finais sobre a avaliação de usabilidade

Conclui-se pelo processo de análise da usabilidade do sistema CAD-WEB que a maioria dos avaliadores considera a qualidade ergonômica do software como aceitável, visto sua simplicidade e fase experimental de desenvolvimento. Essa constatação pode ser extraída tanto através do método de *checklist* de ergonomia quanto através da avaliação do ensaio de interação. Em uma síntese geral, o sistema CAD-WEB corresponde bem aos critérios ergonômicos de correção de erros e ações explícitas, atingindo um índice percentual de 68% e 65% respectivamente.

Isto indica que o usuário é capaz de controlar o encadeamento de suas ações e que uma vez cometido um erro, ele consegue corrigi-lo apropriadamente. Atribuir esse tipo de qualidade do sistema transmite maior confiabilidade ao usuário durante a interação homem-máquina. No entanto, em relação ao critério ergonômico *feedback* imediato, foi verificado um índice de não conformidade de 47% das respostas dos avaliadores. Isso significa que o sistema ainda é deficiente em relação às respostas para as ações dos usuários, demandando melhoramentos neste quesito. Em termos de mensagens de erros, a avaliação de ergonomia indicou um índice de 100% de questões não aplicáveis, o que indica que o sistema necessita de implementações deste mecanismo de usabilidade.

Em relação ao ensaio de interação, foi possível perceber alguns problemas de interface que elevavam a carga cognitiva do usuário. Os principais aspectos levantados foram em relação às informações visuais proporcionadas pelos ícones de comandos que foram apontadas como deficientes. Outro aspecto importante analisado durante a aplicação do ensaio foi em relação aos dispositivos de interação, tanto através do mouse como por meio de entradas de valores. Foi verificado que o processo de interação mais intuitivo e ágil é através do mouse, considerando um ambiente gráfico, e que a manipulação de objetos desta forma contribui para o aprendizado do sistema.

A partir desses aspectos observados torna-se possível direcionar o foco do desenvolvimento das próximas atualizações do aplicativo nos quesitos ergonômicos deficientes de modo a melhorar a usabilidade do sistema. O resultado do ensaio de interação contribuiu para avaliar uma situação real de uso do sistema com usuários potenciais executando tarefas típicas. Através das observações feitas deste processo, foi possível constatar principalmente formas de interação intuitivas e a densidade informacional da interface do sistema. Esses aspectos avaliados tornam-se fundamentais para a aceitação e disseminação de uso do sistema.

5 CONCLUSÕES

O capítulo de conclusões está organizado da seguinte forma: primeiramente serão apresentadas as considerações gerais a respeito do problema de pesquisa, do objetivo geral e dos específicos e ainda quanto aos métodos de pesquisa aplicados neste trabalho. A seguir serão apresentados os subsídios para a concepção de um sistema CAD baseado na WEB para aplicação da coordenação modular nas Habitações de Interesse Social. Por fim, serão indicadas sugestões para futuros trabalhos, de modo que possam contribuir e fornecer novos subsídios ao problema de pesquisa proposto.

5.1 CONCLUSÕES GERAIS

O estudo das referências teóricas, a aplicação dos métodos de pesquisa e a análise dos dados coletados permitiram responder a seguinte problemática de pesquisa: *"Como conceber um sistema CAD baseado na WEB para aplicação da coordenação modular nas Habitações de Interesse Social?"*

Em uma síntese geral das evidências levantadas neste estudo, pode-se afirmar que a concepção de um sistema CAD baseado na WEB para aplicação da coordenação modular pode ser realizada através da combinação das tecnologias Java e VRML. Além disso, é importante considerar na fase de projeto questões relacionadas à usabilidade de interfaces gráficas, de modo a favorecer a aceitação e uso do sistema. Como se trata de uma aplicação computacional focada na aplicação da coordenação modular torna-se igualmente importante considerar aspectos relacionados à construção modular. Portanto, do estudo realizado pode-se concluir que uma construção modular demanda uma visão sistêmica da produção e a subdivisão em especialidades técnicas. Assim, torna-se importante, não apenas a definição da modulação dimensional do projeto, mas também a clara especificação de interfaces entre componentes e subsistemas da edificação. Este foi um caráter pouco conhecido entre as empresas participantes deste estudo através do Método

Delphi, o que indicou necessidades de esforços no esclarecimento deste aspecto do sistema modular. A definição clara de interfaces em um sistema modular permite a flexibilidade de ambientes e assim promove a sua adaptação conforme o uso dos moradores. Para as Habitações de Interesse Social, esta é uma questão de fundamental importância, visto que muitas unidades são reformadas já nos primeiros anos de ocupação. Apesar da COHAB já prever esse tipo de intervenção nas construções e propor um projeto para expansão, as residências analisadas apresentaram problemas tanto em relação à modulação dimensional, quanto em relação à desconexão entre componentes e subsistemas. Isto dificultará futuras intervenções, resultando em quebras de materiais, baixa produtividade e baixa qualidade final da obra.

O sistema CAD baseado na WEB contribui para aplicação da coordenação modular, pois através de um *grid* modular de dez centímetros e da ferramenta *snap*, o usuário é capaz de posicionar adequadamente cada componente da construção, conforme os conceitos de coordenação modular. A questão do ajuste modular entre subsistemas, através do sistema CAD-WEB, ainda não está resolvida nesta fase de estudos, porém a fundamentação teórica sobre o tema aponta a possibilidade de incorporar agentes inteligentes de modo a assistir o usuário durante a resolução de problemas relacionados às zonas neutras.

O método de estudo de caso permitiu a análise do contexto de vida dos moradores e das construções do Conjunto Habitacional Moradias Sambaqui. Foi possível também verificar os anseios dos moradores em relação às adaptações nas construções conforme suas principais atividades. Assim, foi possível fazer um diagnóstico quanto à modulação construtiva e quanto à utilização dos espaços arquitetônicos. Além disso, o estudo de caso também permitiu conhecer o usuário potencial do sistema CAD-WEB, de modo a perceber suas formas de linguagem e cognição. Isso contribuiu para o projeto de interface amigável do sistema.

Através do Método Delphi, foi possível enriquecer o trabalho, sendo possível compreender a coordenação modular sob a ótica dos projetistas e fabricantes de componentes da construção civil. Por fim, o desenvolvimento do sistema CAD-WEB comprovou a viabilidade da combinação das tecnologicas Java e VRML e através da avaliação de usabilidade do sistema CAD-WEB foi possível conhecer formas de interações intuitivas que pudessem contribuir para o rápido aprendizado do sistema.

5.2 SUBSÍDIOS PARA CONCEPÇÃO DE UM SISTEMA CAD BASEADO NA WEB PARA APLICAÇÃO DA COORDENAÇÃO MODULAR NAS HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL

Essa pesquisa objetivou a busca de subsídios para a concepção de um sistema CAD baseado na WEB para aplicação da coordenação modular nas Habitações de Interesse Social e demais projetos com características semelhantes.

O estudo bibliográfico a respeito de coordenação modular forneceu contribuição importante para o problema de pesquisa proposto. Os exemplos apresentados sobre construções modulares, em âmbito nacional e internacional, permitiram conhecer as práticas correntes, sendo possível analisar as principais vantagens e limitações de cada sistema construtivo apresentado. O exemplo brasileiro, devido à forte influência cultural, mantém a alvenaria como o processo modular mais difundido. Dessa maneira, a modulação é atingida através do posicionamento dos blocos e as juntas são rígidas, prejudicando a flexibilidade dos ambientes e a sua adaptação para outros contextos. No entanto, o estado da arte a respeito de sistemas construtivos modulares implica na produção industrial dos módulos, no planejamento e controle dos processos, no gerenciamento da cadeia de suprimentos, no atendimento às necessidades do cliente e no uso da tecnologia da informação.

Considerando a aplicação da tecnologia, como os sistemas CAD baseados na WEB, a fundamentação teórica esclarece a viabilidade desta estratégia. Através dos autores estudados ficou constado que a implementação do CAD na WEB pode ser realizada por meio da linguagem Java. Caso necessite sistemas mais realísticos, a inserção de modelos tridimensionais pode ser assegurada através da implementação da linguagem VRML. A consideração do *design* de interface foi um aspecto analisado na literatura sobre o tema, o que contribuiu para facilitar a usabilidade do proposto sistema CAD-WEB para aplicação da coordenação modular.

O estudo de caso realizado no Conjunto Habitacional Moradias Sambaqui evidenciou que os aspectos da modulação não são obedecidos para a concepção de Habitações de Interesse Social, o que implica em interferências construtivas. Além disso, o uso da alvenaria como sistema construtivo impede a flexibilidade dos

ambientes e a sua customização, uma vez que não considera o uso de juntas secas (mecânicas) como método de conexão. A pesquisa através do Método Delphi revelou que tanto projetistas como produtores de componentes da construção civil possuem um conhecimento restrito a respeito dos conceitos, formas de aplicação e benefícios da coordenação modular. Isto indica uma barreira importante a ser superada para a total implementação da coordenação modular. O resultado da avaliação de usabilidade de sistemas gráficos interativos, realizado com o sistema CAD-WEB desenvolvido no presente trabalho, revelou que o sistema possui um nível de usabilidade aceitável, o que indica a sua viabilidade para uso e elaboração de leiautes gráficos de divisórias-mobiliário para Habitações de Interesse Social, considerando a coordenação modular.

A partir dos estudos realizados da literatura sobre o tema, na condução do estudo de caso, na aplicação do Método Delphi e no desenvolvimento e avaliação de usabilidade do sistema CAD-WEB, foi possível estabelecer subsídios para a concepção de um sistema CAD baseado na WEB para aplicação da coordenação modular nas Habitações de Interesse Social:

a) estabelecer a padronização dimensional dos componentes construtivos: as dimensões dos elementos da construção devem adotar a modulação de dez centímetros para o módulo básico. Assim, é possível favorecer tanto as relações comerciais de produtos da construção, como também assegurar a sua compatibilidade dimensional;
b) elaborar o projeto arquitetônico de acordo com a malha modular: a elaboração do projeto arquitetônico deve considerar na malha modular tanto o sistema construtivo a ser empregado bem como os materiais e componentes. Dessa forma torna-se possível prever o espaço de cada elemento adequadamente, de modo a não existir interferências construtivas;
c) projetar interfaces claras entre módulos e subsistemas da construção: as interfaces devem estar bem definidas a fim de evitar cortes e improvisações no canteiro de obras. Assim, é importante prever durante a concepção dos componentes construtivos a sua operação de

montagem bem como a sua forma de interação com outros subsistemas;

d) utilizar métodos de juntas secas (mecânicas) entre componentes e subsistemas da construção, a exemplo dos módulos concebidos em painéis (*frames*): Dessa forma torna-se possível assegurar a flexibilidade construtiva a fim de permitir a adaptação conforme mudanças do ciclo familiar. Isto contribui tanto para reduzir a obsolescência das edificações como para atender as necessidades de frequentes de modificações que usualmente ocorrem nas Habitações de Interesse Social;

e) reconhecer a edificação de modo sistêmico: a edificação deve ser compreendida como um sistema e todas as suas especialidades técnicas devem ser vistas como subsistemas da edificação. Para isso, é necessário primeiramente prever o desacoplamento dos componentes e formas de conexões flexíveis. Assim, a subdivisão da edificação poderá ser estendida, de modo a contribuir para formas de contratação e gerenciamento mais eficazes;

f) prever funcionalidade aos módulos construtivos: sendo parte de um sistema, os módulos devem possuir funções definidas. Assim, na concepção dos módulos é importante considerar os requisitos estruturais, as instalações e equipamentos necessários para atender a função desempenhada;

g) permitir a participação do usuário na concepção dos módulos: a exemplo das construções modulares no âmbito internacional, promover a possibilidade de escolhas aos futuros moradores, conforme estilos de vida ou necessidades pessoas. Por exemplo, permitir escolhas em relação à fachada, cobertura, projeto de interiores, paisagismo, instalações, equipamentos entre outros;

h) avaliar questões como transporte, operação de montagem, mão-de-obra e equipamentos disponíveis: essas questões devem ser avaliadas em conjunto de maneira a obter a melhor solução custo-benefício. Por exemplo, a concepção de módulos que favorecem economias no

transporte pode demandar complexos processos de montagem e disponibilidade de mão de obra especializada;

i) incentivar a integração entre todos os agentes do processo de edificação: a integração entre todos os envolvidos irá contribuir tanto para uma abordagem sistêmica da construção como para a busca da padronização dos componentes. Assim, será possível estabelecer uma linguagem única para empreendedores, projetistas, produtores, construtores e clientes da construção civil;

j) disseminar os conceitos, formas de aplicação e benefícios da coordenação modular tanto no meio empresarial como no meio acadêmico: a falta de conhecimento acerca do conceito de coordenação modular constitui um gargalo importante a ser combatido, implicando em dificuldades para a sua total implementação;

k) readequar as normas brasileiras vigentes sobre coordenação modular: atualmente as normas brasileiras de coordenação modular são incipientes e fornecem pouca orientação a respeito da especificação de medidas para componentes construtivos. Isto reflete no caos dimensional que a construção civil apresenta. Além disso, questões relacionadas à conectividade e processos de montagem não são mencionadas nessas normas citadas;

l) desenvolver sistema CAD-WEB: O desenvolvimento do sistema CAD-WEB pode ser assegurado através da combinação de tecnologias para a WEB, como a linguagem Java e a linguagem VRML. A linguagem Java mostrou-se adequada para projetar a interface do sistema e a linguagem VRML mostrou-se apropriada para desenvolver o ambiente 3D;

m) garantir obediência às regras de coordenação modular no sistema CAD-WEB: para o desenvolvimento de um sistema CAD-WEB focado na coordenação modular é necessário que a ferramenta oriente o usuário durante o processo de projeto. Para o sistema CAD-WEB desenvolvido nesta pesquisa, às regras de coordenação modular são asseguradas através do *grid* modular e da ferramenta *snap*, que orientam o usuário de modo a respeitar o módulo básico de dez centímetros;

n) garantir a simultaneidade de acesso ao sistema CAD-WEB: como se trata de um sistema para Internet esse é um requisito importante a ser considerado, pois está sujeito a diversos acessos ao mesmo tempo. Além disso, para sistemas gráficos, que envolvem manipulação de objetos, essa recomendação torna-se fundamental. Essa recomendação foi seguida no desenvolvimento do proposto sistema CAD-WEB, de modo que, para gerar a visualização 3D e permitir a sua manipulação, é necessário salvar antes localmente o projeto;

o) prever a usabilidade da interface gráfica do sistema CAD-WEB: favorecer a usabilidade de sistemas contribui tanto para a sua aceitação e satisfação de uso, como para a sua disseminação. Portanto, torna-se importante considerar na fase do projeto do sistema, formas de interações intuitivas, baixa densidade informacional, associação semântica adequada entre símbolos, *feedback* imediato e controle das ações dos usuários;

p) promover a compreensão do projeto através de modelos realísticos 3D: a sensação de realidade virtual contribui para o melhor entendimento do projeto e evita erros de concepção. A consideração de interfaces 3D torna-se essencial, pois durante a avaliação de usabilidade foi constatado que os ambientes tridimensionais contribuem tanto para a compreensão sobre a representação bidimensional como sobre a distribuição dos espaços arquitetônicos.

Abaixo segue um quadro que sintetiza o levantamento dos subsídios para a concepção do sistema CAD baseado na WEB para aplicação da coordenação modular nas Habitações de Interesse Social, conforme as fontes de evidências buscadas.

Subsídios para a concepção de um sistema CAD baseado na WEB para aplicação da coordenação modular nas Habitações de Interesse Social	***Fundamentação Teórica***	***Estudo Caso***	***Método Delphi***	***Sistema CAD-WEB***
Estabelecer a padronização dimensional dos componentes construtivos	MILLER E ELGARD (1998);			
Elaborar o projeto arquitetônico de acordo com a malha modular	BALDAUF (2004); LUCINI (2001)			
Projetar interfaces claras entre módulos e subsistemas da construção	MILLER E ELGARD (1998); CUPERUS (2001); AMORIM (2006)			
Utilizar métodos de juntas secas (mecânicas) entre componentes e subsistemas da construção	RICHARD (2007)			
Reconhecer a edificação de modo sistêmico	RICHARD (2007) AMORIM (2006) CUPERUS (2001)			
Prever funcionalidade aos módulos construtivos	MILLER E ELGARD (1998) DROSTE (1992); KENTGENS-CRAIG (1998)			
Permitir a participação do usuário na concepção dos módulos	OOSTRA E CLAESON-JONSSON (2007); CUPERUS (2001)			
Avaliar questões como transporte, operação de montagem, mão-de-obra e equipamentos disponíveis	RICHARD (2007)			
Incentivar a integração entre todos os agentes do processo de edificação	MARTINS (2004)			
Disseminar os conceitos, formas de aplicação e benefícios da coordenação modular tanto no meio empresarial como no meio acadêmico				
Readequar as normas brasileiras vigentes sobre coordenação modular	BALDAUF (2004)			
Desenvolver sistemas CAD-WEB				
Garantir obediência às regras de coordenação modular no sistema CAD-WEB				
Garantir a simultaneidade de acesso ao sistema CAD-WEB				
Prever a usabilidade da interface gráfica do sistema CAD-WEB	SOUZA (2004)			
Promover a compreensão do projeto através de modelos realísticos 3D				

QUADRO 26 - SÍNTESE DOS SUBSÍDIOS COM BASE NAS EVIDÊNCIAS DA PESQUISA

FONTE: A autora (2008)

5.3 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Essa pesquisa consistiu no levantamento de subsídios para a concepção de um sistema CAD baseado na WEB para aplicação da coordenação modular nas Habitações de Interesse Social. Neste trabalho foram realizados estudos nas construções do Conjunto Habitacional Moradias Sambaqui, além da aplicação do Método Delphi para identificação dos gargalos para disseminação da coordenação modular e o desenvolvimento do sistema CAD-WEB para aplicação da coordenação modular, incluindo a sua avaliação de usabilidade. Portanto, as sugestões para futuros trabalhos estão dividas da seguinte forma: estudos de campo, intervenientes da cadeia produtiva e desenvolvimento de sistemas CAD-WEB.

Em relação aos estudos em campo poderia-se replicar esse trabalho em outros tipos de construções, com outros portes e tipologias construtivas. Poderia-se analisar o perfil de outros tipos de moradores e verificar seus anseios de mudanças, estilos de vida e hábitos familiares relacionados ao uso de ambientes. Ainda quanto ao perfil dos usuários, poderia-se avaliar a aceitação de edificações baseada em painéis construtivos. Assim, a pesquisa poderia também ser replicada a fim de analisar sistemas construtivos com chapas ou painéis, a exemplo do *drywall*, sendo possível ampliar as análises a respeito da conectividade e formas de interações entre componentes e subsistemas da construção. Além disso, poderiam-se estender as análises quanto aos processos de adaptações e mudanças no leiaute arquitetônico.

Em relação ao estudo realizado com os intervenientes da cadeia produtiva através do Método Delphi, as análises poderiam ser estendidas de modo a investigar se estes estão preparados para atender as necessidades de adaptações nas residências, de modo a acompanhar o ciclo familiar dos moradores. Assim, as principais ações desenvolvidas poderiam ser avaliadas, bem como as dificuldades encontradas.

Quanto ao desenvolvimento do sistema CAD-WEB para aplicação da coordenação modular, novos mecanismos para facilitar a usabilidade poderiam ser implementados. Por exemplo, dispositivos para mensagens de erros e para *feedback* imediato poderiam ser inseridos. Além disso, novos requisitos funcionais

poderiam ser agregados, por exemplo, funcionalidades para projetar a própria planta da residência e acréscimo de componentes construtivos na biblioteca virtual de objetos. Poderia-se também aumentar a inteligência do sistema, por meio de sistemas multi-agentes capazes de melhor orientar o usuário durante a tarefa projetual e assim garantir que regras de coordenação modular sejam observadas. Um sistema multi-agente poderia contribuir na resolução de problemas de conexão entre componentes e subsistemas e assim promover o ajuste automático para vãos não modulares, através do reconhecimento de zonas neutras. Em relação à visualização e formas de interação com o ambiente 3D, o sistema poderia ser aprimorado de modo a aumentar a realidade virtual do sistema, através de dispositivos multi-sensoriais que promovam a sensação de imersão 3D. Assim, através de projetores 3D, óculos estereoscópicos e luvas de interação, o usuário poderá sentir-se imerso no ambiente virtual de modo a facilitar o entendimento e a manipulação do projeto.

Portanto, a partir dessas sugestões para futuros trabalhos, torna-se possível ampliar o conhecimento a respeito do problema de pesquisa levantado, de modo a obter uma compreensão mais ampla sobre o tema, implicando em novos subsídios para a concepção de um sistema CAD baseado na WEB para aplicação da coordenação modular nas Habitações de Interesse Social.

REFERÊNCIAS

AMORIM, S. R. L. **Construção Modular: uma abordagem prática com sistema de kits.** 22f. São Paulo, 2006.

ASSAD, R. **Benefícios da Internet às Empresas.** 132f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5706:** Coordenação modular da construção: procedimento. Rio de Janeiro, 1977.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5707:** Posição dos componentes da construção em relação à quadrícula modular de referência: procedimento. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5708:** Vãos modulares e seus fechamentos: procedimento. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5709:** Multimódulos: procedimentos. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5710:** Alturas modulares de piso a piso, de compartimento e estrutural: procedimento. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5711:** Tijolo modular de barro cozido: padronização. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5713:** Altura modular de teto-piso (entre pavimentos consecutivos): procedimento. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5714:** Painel modular vertical: procedimento. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5715:** Local e instalação sanitária modular: procedimento. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5716:** Componentes de cerâmica, de concreto ou de outro material utilizado em lajes mistas na construção coordenada modularmente: procedimento. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5717:** Espaço modular para escadas: procedimento. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5718:** Alvenaria modular: procedimento. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5719:** Revestimentos: procedimento. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5720:** Coberturas: procedimento. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5721:** Divisória modular vertical interna: procedimento. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5722:** Esquadrias modulares: procedimento. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5723:** Forro modular horizontal de acabamento (placas, chapas ou similares): procedimento. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5724:** Tacos modulares de madeira para soalhos na construção coordenada modularmente: procedimento. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5725:** Ajustes modulares e tolerâncias: procedimento. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5726:** Série modular de medidas: procedimento. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5727:** Equipamento para complemento da habitação na construção coordenada modularmente: procedimento. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5728:** Detalhes modulares de esquadrias: procedimento. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5729:** Princípios fundamentais para a elaboração de projetos coordenados modularmente: procedimento. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5730:** Símbolos gráficos empregados na coordenação modular da construção: simbologia. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5731:** Coordenação modular da construção: terminologia. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6136:** Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – requisitos. Rio de Janeiro, 2006.

BALDAUF, A. S. F. **Contribuição à Implementação da Coordenação Modular da Construção no Brasil.** 148f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2004.

BARROS, M. M. B. **Metodologia para implantação de tecnologias construtivas racionalizadas na produção de edifícios.** Tese (Doutor em Engenharia). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1996.

BASTIEN, C.; SCAPIN, D. **Ergonomic criteria for the evaluation of human-computer interfaces.** INRIA, 1993. Report Technique.

BLAYSE, A. M.; MANLEY, K. Key influence on construction innovation. **Construction Innovation**, v.4, p. 143-154. 2004.

CALDAS, C. H.; SOIBELMAN, L. Automating Hierarquical Document Classification for Construction Management Information Systems. **Automation in Construction**, v. 12, p. 395-406, jan. 2003.

CHING, F.D.K. **Arquitetura: forma, espaço e ordem.** São Paulo: Martins Fontes, 2005.

COHAB-CT. **Programa Urbanização, Regularização e Integração de Assentamentos Precários – Recursos OGU. Ação: Apoio a melhoria das condições de habitabilidade.** Comunidade Sambaqui, Curitiba, 2006. Relatório Técnico.

COHAB-CT. **Apresentação Moradias Sambaqui.** Curitiba, 2007.

CORUS LIVING SOLUTION: START BUILDING WITH ROOMS. Disponível em: < www.couruslivingsolutions.com>. Acesso em: 05/12/2007.

CUPERUS, Y. An introduction to Open Building. In: 9th ANNUAL CONFERENCE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 2001, Singapore,

CYBIS, W. A. **Engenharia de usabilidade: uma abordagem ergonômica.** Laboratório de Utilizabilidade de Informática. Florianópolis, 2003.

DROSTE, M. **Bauhaus 1919-1933**. Benedikt taschen, Bauhaus-Archiv Museum, 1992.

EICHERT, J.; KAZI, A. S. Vision and strategy of ManuBuild – Open building manufacturing. **Open Building Manufacturing– Core Concepts and Industrial Requeriments.** Finlândia: VTT – Technical Research Centre of Finland, 2007. p. 5 – 14.

ERGOLIST. Disponível em: < http://www.labiutil.inf.ufsc.br/ergolist/check.htm.> Acesso em: 20/1/2008.

FERREIRA, A. B.H. **Pequeno Dicionário Brasileiro da Língua Portuguesa.** 10ª edição. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira S. A.; 1948.

FISCHER, S. **Diretrizes de Projeto Arquitetônico e Design de Interiores para Permitir Expansões de Habitações de Interesse Social.** 136f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Departamento de Construção Civil, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2003.

FRANCO, L. S. **Aplicação de diretrizes de racionalização construtiva para a evolução tecnológica dos processos construtivos em alvenaria estrutural não armada.** 319f. Tese (Doutor em Engenharia). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1992.

FURLAN, J. D. **Modelagem de objetos através da UML – The Unified Modeling Language.** São Paulo: MAKRON *Books,* 1998.

GANN, D. M.; SALTER, A. J. Innovation in project-based, service-enhanced firms: the construction of complex products and systems. **Research Policy**, v. 29, p. 955-972, 2000.

GRAZIADIO, T. **Estudo comparativo entre os fornecedores de componentes automotivos de plantas convencionais e modulares.** 185f. Tese (Doutor em Engenharia). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2004.

GREVEN, H. A.; BALDAUF, A. F. **Palestra intitulada: A coordenação modular na construção: um resgate imprescindível.** Curitiba, maio de 2007.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 3.ed. São Paulo: Atlas S. A, 1991.

HÄKKINEN, T.; PULAKKA, S. Use of LC Guides in Open Building Manufacturing. In: KAZI, A. S.; HUNNUS, M.; BOUDJABEUR, S.; MALONE, A. **Open Building Manufacturing– Core Concepts and Industrial Requeriments.** Finlândia: VTT – Technical Research Centre of Finland, 2007. p. 85 – 104.

INTARAPADUNG, A.; PRANEETPOLGRANG, P.; HORADAL, P. An architecture conceptual software design and implementation of WEB-based open standard computer aided design for supporting SMEs. In: INTERNACIONAL CONFERENCE ON BUSINESS AND INFORMATION, Tokyo, Japan, 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA: IBGE. Pesquisa Anual de Serviços. Suplemento Produtos e Serviços 2004-2005.

JMONKEYENGINE. Disponível em: <http://jmonkeyengine.com/>. Acesso em: 20/7/2007.

KALE, S.; ARDITI, D. Diffusion of Computer Aided Design Technology in Architectural Design Process. **Jornal of Construction Engineering and Management (ASCE)**, v. 131, p. 1135-1141, 2005.

KAZI, A. S. **Open Building Manufacturing – core concepts and industrial requirements.** Finlândia: VTT – Technical Research Centre of Finland, 2007.

KENTGENS-CRAIG, M. **The Dessaus Bauhaus Building 1926-1999.** Birkhäuser,1998.

KUROSE, J. F; ROSS, K. W. **Redes de computadores e a Internet: uma abordagem top-down.** Tradução: Arlete Simille Marques; revisão técnica Wagner Luiz Zucchi. – 3. ed. São Paulo: Pearson Addison Wesley, 2006.

LARCHER, J. V. M. **Diretrizes visando a melhoria de projetos e soluções construtivas na expansão de Habitações de Interesse Social.** 159f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Departamento de Construção Civil, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2005.

LESSING, J.; STEHN, L.; EKHOLM, A. Industrialised Housing: Definition and Categorization of the Concept. In: 13th INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, Sydney, Australia, 2005. p. 471-480.

LUCINI, H. C. **Manual Técnico de Modulação de Vãos de Esquadrias.** São Paulo: Pini, 2001.

MAMEDE, F. C. **Utilização de Pré-Moldados em Edifícios de Alvenaria Estrutural.** 187f. Dissertação (Mestre em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2001.

MARTINS, M .G. **A inovação tecnológica na produção de edifícios impulsionada pela indústria de materiais e componentes.** 154f. Dissertação (Mestre em Engenharia). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2004.

MILLER, T.D; ELGARD, P. Defining Modules, Modularity and Modularization – Evolution of the Concept in a Historical Perspective. ISBN 87-89867-60-2, Design for Integration in Manufacturing, In: 13th IPS RESEARCH SEMINAR, Fw34uglose, 1998.

NEVES, C.M.M. Alguns aspectos que interferem na implantação de melhorias e inovações tecnológicas na produção do edifício. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1995.

NIELSEN, J. **Usability Engineering.** San Francisco, CA: Morgan Kaufmann, 1993.

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

NOUSCH, M.; JUNG, B. Cad on the World Wide WEB: Virtual Assembly of Furniture with BEAVER. In: VRML99 – WEB 3D CONFERENCE. Paderborn, Germany, 19-21 February, 2001.

OOSTRA, M.; CLAESON-JONSSON, C. Best practices: Lessons Learned on Building Concepts. **Open Building Manufacturing**– **Core Concepts and Industrial Requeriments.** Finlândia: VTT – Technical Research Centre of Finland, 2007. p. 17 – 31.

PELEGRINI, A. V. **O processo de modularização em embalagens orientado para a customização em massa: uma constribuição para a gestão do design.** 162f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2005.

QUAH, L. K.; VAN DEN BRAND, G.-J.; DI GIULIO, R. **Process innovation for design and delivery of IFD Buildings. 2004.** Disponível em < www.bwk.tue.nl/ade/includes/download.php?fileId=328> Acesso em: 21/1/2008.

PEREIRA, A. C. W. **Diretrizes para Implantação de Sistemas Construtivos Abertos na Habitação de Interesse Social através da Modulação.** 151f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Departamento de Construção Civil, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2005.

PRUDÊNCIO JR, L. R.; OLIVEIRA, A. L.; BEDIN, C. A. **Alvenaria estrutural de blocos de concreto.** Florianópolis, 2002.

RICHARD, R. B. A generic Classification of Industrialised Building Systems. In: KAZI, A. S.; HUNNUS, M.; BOUDJABEUR, S.; MALONE, A. **Open Building Manufacturing** – **Core Concepts and Industrial Requeriments.** Finlândia: VTT – Technical Research Centre of Finland, 2007. p. 35 – 48.

RICHARDSON, R. J.; PERES, J. A. S.; WANDERLEY; J. C. V.; CORREIA, L. M; PERES, M. H. M. **Pesquisa Social – Métodos e Técnicas.** 3. ed. rev. e ampl. São Paulo: Atlas S. A., 1999.

REZENDE, M. A. P.; BARROS, M. M. S. B.; ABIKO, A. K. **Barreiras e facilitadores da inovação tecnológica na produção de habitações populares.** In: IX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2002

ROBSON, C. **Real world research: a resource for social scientists and practitioner**. Oxford: Blackwell, 1993.

SÁFADI, C. M. Q. **Delphi: Um estudo sobre sua aceitação.** V SEMEAD. Seminários em Administração FEA/USP, 2001.

SANTOS, A.; VIDOTTO, L. S.; GIUBLIN, C. R. A utilização do Método Delphi em pesquisas na área da gestão da construção. **Ambiente Construído: Metodologia de Pesquisa**, Porto Alegre, V5 N2, p. 51-59, 2005.

SEVERINO, A. J. **Metodologia do Trabalho Científico.** 20. ed. rev. e ampl. São Paulo: Cortez, 1996.

SILVA, M. M. A. **Diretrizes para o projeto de alvenarias de vedação.** 167f. Dissertação (Mestre em Engenharia) – Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.

SILVA, V. G. **Avaliação da Sustentabilidade de Edifícios de Escritórios Brasileiros: Diretrizes e Base Metodológica.** 210f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.

SOUZA, A. C. **Proposta de um processo de avaliação da usabilidade de interfaces gráficas de sistemas interativos computacionais, através da integração das técnicas prospectiva, analítica e empírica.** 263f. Tese (Doutorado em Engenharia da Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2004.

SWEET HOME 3D. Disponível em < http://sweethome3d.sourceforge.net > Acesso em: 25/1/2008.

TEIXEIRA, C. M. S.; SCHIEL, U. A Internet e seu impacto nos processos de recuperação da informação. **Ciência da Informação**, v. 26, n. 1, Brasília, 1997. Disponível em < www.scielo.br > Acesso em: 29/12/2007.

WRIGHT, J. T. C; GIOVINAZZO, R. A. Delphi: uma ferramenta de apoio ao planejamento prospectivo. **Cadernos de Pesquisa em Administração**, São Paulo, v. 1, n. 12, p .54-65, 2000.

YIN, R. K. **Estudo de Caso: Planejamento e Métodos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005. trad. Daniel Grassi.

ZARA, J.; CERNOHORSKY, D. On design of 3D and multimedia extension of information system using VRML. In: 3rd WORKSHOP ON VIRTUAL REALITY. Rio de Janeiro: Brazilian Computer Society – SBC, 2000.

ZENG, J.; CHEN, W.; DING, Q. A WEB-basead CAD system. **Jornal of Materials Processing Technology**, v. 139, p. 229-232, 2003.

APÊNDICES

APÊNDICE 01

Estudo de caso

Roteiro de Entrevista

Há quanto tempo mora nessa casa?

Histórico de renda da família: o salário se mantém, aumentou ou diminuiu com o tempo? Se houve mudanças na renda, o que mudou com isso?

Tem alguma perspectiva de evolução da renda?

Se você pudesse mudar sua casa, o que mudaria primeiro? Grau de prioridade:

Algum ambiente muda de função durante o dia, a tarde e a noite?

Comprou a casa pela COHAB-CT?

( ) sim ( ) não

Já mudou alguma coisa na casa?

( ) sim

Se sim: o que mudou? ----------

( ) não

Se não: tem planos para mudar? ----------

( ) sim ( ) não

Se sim: qual modificação pretende fazer? ----------

Quem fez (ou vai fazer) a obra?

A casa é adequada para a família?

Se pudesse ampliá-la, o que aumentaria?

Nesta ou em outra casa, o senhor já usou móveis para dividir uma peça da casa?

( ) sim ( ) não

Se sim: o que dividiu?

O que usou para dividir?

Como era o som entre os dois espaços?

Como era a luz entre os dois espaços?

Como era a ventilação entre os dois espaços?

Funções realizadas no período do dia			
	Manhã	Tarde	Noite
Sala			
Quarto casal			
Quarto solteiro			
Cozinha			

Roteiro de Observação

Residência com morador

Materiais utilizados	***Tipo***
Revestimento piso	
Revestimento teto	
Revestimento paredes	
Material para vedação	
Janelas	
Portas	
Cobertura - estrutura	
Cobertura - telhas	

Interface entre sistemas	***Sim***	***Não***
Dispositivos para facilitar a expansão		
Fácil montagem e desmontagem de componentes da construção -*esquadrias*		
Fácil montagem e desmontagem de componentes da construção - *paredes*		
Fácil montagem e desmontagem de componentes da construção - *forros*		
Fácil montagem e desmontagem de componentes da construção - *estrutura cobertura*		
Fácil montagem e desmontagem de componentes da construção - *tubulação hidráulica*		
Facilidade de instalação e alterações - *fiação elétrica*		
Tubulação embutida		
Tubulação aparente		
Shaft		

Flexibilidade	***Sim***	***Não***
Mobiliário utilizado como divisória		
Ambientes reversíveis		
Ambientes multiuso		
Ambientes integrados		

Residência em construção

Processos construtivos	***Sim***	***Não***
Seqüências construtivas práticas e simplificadas		
Modulação do espaço		
Habilidade de mão de obra		

APÊNDICE 02

Método Delphi

Diagnóstico dos Gargalos da Cadeia Produtiva com Respeito à Coordenação Modular

1º Rodada do Método Delphi

Questão 01: Qual o componente abaixo que o senhor fabrica/utiliza/executa?

( ) blocos cerâmicos
( ) blocos de gesso
( ) blocos de concreto
( ) revestimentos cerâmicos
( ) esquadrias
( ) projetos de estruturas de concreto
( ) pré-fabricados de concreto

Questão 02: Quais são as dimensões dos produtos que fabrica ou utiliza em seus projetos? (No caso de projetos de estruturas de concretos, quais as dimensões adotadas para vigas, pilares e lajes?).

Questão 03: O que entende que seja o uso da “coordenação modular” na construção civil?

Questão 04: Quais as principais barreiras que o senhor (a) encontra para utilizar a coordenação modular em sua fábrica ou seus projetos?

Na próxima rodada de perguntas lhe reportaremos a síntese das respostas dos outros experts convidados, apontado os aspectos que foram consenso e instigando perguntas naqueles itens onde houver discrepâncias nas respostas.

Reiteramos que sua resposta é fundamental.

2º Rodada do Método Delphi

Com sua participação realizamos na primeira etapa do Método Delphi questões para representantes da indústria buscando entender os “gargalos para a aplicação da coordenação modular na construção civil”. Na primeira etapa a primeira pergunta tratava da caracterização do tipo de produto fabricado pela empresa; a segunda pergunta tratava das dimensões; a terceira buscava o entendimento de cada participante acerca do significado do termo coordenação modular e, finalmente, a quarta pergunta buscava as barreiras percebidas relativas à adoção da coordenação modular no ambiente fabril e em projetos.

Nesta segunda etapa estamos aprofundando o entendimento do que vem a ser os gargalos da coordenação modular, tomando como base as respostas da primeira etapa. Contamos com vossa colaboração através do provimento de sua opinião nesta segunda etapa, o que deverá ajudar na identificação de prioridades para investimentos em pesquisa e desenvolvimento pelas instituições de pesquisa envolvidas neste projeto.

Questão 01: Marque com um (X) na definição de coordenação modular com a qual concorda. Poderá ser marcada mais de uma definição.

Conceito de Coordenação Modular segundo as empresas	***Concorda***
É a utilização de um módulo padrão	
É a adoção de um mínimo múltiplo comum para os componentes da construção	
É a interação entre projeto e produto	
É um sistema construtivo	
É a construção planejada em módulos	
É evolução do processo construtivo tradicional	
É um sistema construtivo modulado	
É a coordenação de “tamanhos” entre o projeto e o produto	
É a criação de um módulo para a construção civil	
É um estudo para que todos os materiais tenham o máximo rendimento	
É o aproveitamento de material pré-existente	
É a padronização das medidas de componentes	
É o projeto arquitetônico pensado em módulos	
É a padronização da construção	
É a otimização da construção	
É o projeto ou produto com dimensões pré-definidas dentro de um padrão métrico	
Outros	

Questão 02: O que o senhor adicionaria ou retiraria nesta listagem da questão 01?

Questão 03: Seria possível personalizar um ambiente/subsistema de uma habitação através da coordenação modular? Por quê?

Questão 04: Marque com um (X) na(s) vantagem(s) da coordenação modular para a construção civil com a qual concorda. Poderá ser marcada mais de uma vantagem.

Vantagens da Coordenação Modular segundo as empresas	***Concorda***
Racionalização da obra	
Evitar perdas através de cortes ou improvisos	
Máximo rendimento	
Evitar desperdício de material e mão de obra	
Rápida execução	
Racionalizar os projetos com as medidas modulares	
Favorecer execução mais simples	
Facilidade nas fases de projeto, fabricação e montagem	
Rapidez nas fases de projeto, fabricação e montagem	
Economia nas fases de projeto, fabricação e montagem	
Outros	

Questão 05: O que o senhor adicionaria ou retiraria nesta listagem da questão 04?

Módulos adotados nas empresas

A seguir serão apresentados os módulos adotados pelas empresas dos diversos componentes da construção civil, tendo por base as respostas do primeiro questionário. Observe essas dimensões para responder a questão 06:

Componente	Largura (cm)	Altura (cm)	Comprimento (cm)
Bloco de concreto	9	19	39
Bloco de concreto	9	19	19
Canaleta de concreto - U	9	19	19
Bloco de concreto	14	19	14
Bloco de concreto	14	19	39
Bloco de concreto	14	19	29
Bloco de concreto	14	19	19
Bloco de concreto	14	19	34
Bloco de concreto	14	19	44
Bloco de concreto	14	19	54
Bloco de concreto	15	20	40
Canaleta de concreto - U	14	19	14
Canaleta de concreto – Bloco J	14	19	19/15
Canaleta de concreto – Bloco J	14	19	19/27
Canaleta de concreto – Bloco J	14	19	19/31
Bloco de concreto	19	19	39
Bloco de concreto	19	19	19
Canaleta de concreto - U	19	19	19

Componente	Largura (cm)	Altura (cm)	Comprimento (cm)
Bloco cerâmico de laje	30	7	20
Bloco cerâmico de laje	37	7	20
Bloco cerâmico estrutural	11,5	19	29
Bloco cerâmico estrutural	14	19	29
Tijolo de vedação	9	19	19
Bloco cerâmico	15	20	30

Componente	Largura (cm)	Altura (cm)	Comprimento (cm)
Blocos de Gesso	7,5	51	68

Componente	Largura (cm)	Altura (cm)	Comprimento (cm)
Revestimentos cerâmicos	41	41	
Revestimentos cerâmicos	11	11	
Revestimentos cerâmicos	150	75	
Porcelanatos	47	47	
Porcelanatos	33	33	
Porcelanatos	57	57	
Porcelanatos (retificado)	42,5	42,5	
Porcelanatos (retificado)	41	87	
Porcelanatos (retificado)	46	46	
Porcelanatos (retificado)	44	44	
Porcelanatos (retificado)	44	63	
Componente	Largura (cm)	Altura (cm)	Comprimento (cm)
Pilares	25	25	
Pilares	25	30	
Pilares	25	40	
Pilares	25	50	
Pilares	29	50	
Pilares	30	30	250
Pilares	40	40	
Pilares	40	50	
Pilares	40	60	
Pilares	90	130	3000

Componente	Largura (cm)	Altura (cm)	Comprimento (cm)
Vigas	20	40	300
Vigas	25	30	
Vigas	25	35	
Vigas	25	42	
Vigas	25	50	
Vigas	29	50	
Vigas	30	60	
Vigas	30	70	
Vigas	40	40	
Vigas	40	50	
Vigas	40	60	
Vigas	40	70	
Vigas	40	80	
Vigas	160	60	3000

Componente	Largura (cm)	Altura (cm)	Comprimento (cm)
Lajes e painéis	100	8	500
Lajes e painéis	100	20	500
Lajes alveolares	125	15,21	300
Lajes alveolares	125	26	1400

Componente	Largura (cm)	Altura (cm)	Espessura (cm)
Esquadrias em série	84	100	7
Esquadrias em série	104	100	7
Esquadrias em série	124	100	7
Esquadrias em série	154	100	7
Esquadrias em série	190	100	10

Questão 06: Em seu entendimento qual seria o módulo ideal para o componente construtivo que fabrica ou utiliza?

Questão 07: Marque com um (X) nos gargalos para o uso da coordenação modular como o qual o senhor concorda e na coluna ao lado indique a ordem de importância (1 = mais importante; 2 = segundo mais importante e assim por diante)

Gargalos para uso da coordenação modular	***Concorda***	***Ordem***
Pouco conhecimento dos arquitetos e engenheiros		
Tipo de equipamento disponível		
Projeto arquitetônico		
Variedade de soluções arquitetônicas		
Falta de demanda na região		
Falta de conhecimento de empreendedores		
Falta de conhecimento dos clientes		
Falta de mão de obra qualificada		
Falta de cultura dos construtores		
Falta de disseminação na cadeia produtiva		
Falta de aceitação no mercado		
Demanda sob medida		
Conceitos confusos de arquitetura		
Falta de formação nas Universidades e escolas técnicas.		
Custo elevado para aquisição de equipamento		
Falha na compatibilização de projetos		
Contratação tardia de projetos para produção, já tendo sido definidos os parâmetros arquitetônicos e construtivos.		
Legislações municipais de uso do solo		
Nivelamento de produtos devido a padronização, deixando como diferencial o preço		

Na próxima rodada de perguntas lhe reportaremos a síntese das respostas dos outros experts convidados, apontando os aspectos que foram consenso e instigando perguntas naqueles itens onde houver discrepâncias nas respostas.

Reiteramos que sua resposta é fundamental.

3º Rodada do Método Delphi

Questão 01: Indique na tabela abaixo como cada gargalo para uso da coordenação modular está sendo enfrentado na empresa em que atua. Não economize palavras para explicar a sua resposta!

Gargalos para uso da coordenação modular	***O que está fazendo para superar o gargalo***	***Qual(s) a(s) dificuldade(s) encontrada(s)***	***Quanto tempo levará para superar o gargalo***
Contratação tardia de projetos para produção, já tendo sido definidos os parâmetros arquitetônicos			
Pouco conhecimento dos arquitetos e engenheiros			
Falta de formação nas Universidades e escolas técnicas			
Falta de cultura dos construtores			
Falta de conhecimento de empreendedores			
Falta de disseminação na cadeia produtiva			
Projeto arquitetônico			
Falta de conhecimento dos clientes			
Falha na compatibilização de projetos			
Falta de mão de obra qualificada			
Variedade de soluções arquitetônicas			
Falta de demanda na região			
Nivelamento de produtos devido a padronização, deixando como diferencial o preço			
Falta de aceitação no mercado			
Demanda sob medida			
Conceitos confusos de arquitetura			
Legislações municipais de uso do solo			
Tipo de equipamento disponível			
Custo elevado para aquisição de equipamento			

Reiteramos que sua resposta é fundamental.

Relatório da Primeira Rodada do Método Delphi

1. Conceito de Coordenação Modular segundo as empresas

Blocos Cerâmicos: Quem fabrica o bloco cerâmico revelou que a coordenação modular é a utilização de um módulo padrão, que consiste em um mínimo múltiplo comum para todos os componentes da construção, visando à racionalização da obra.

Blocos de Gesso: O representante deste setor revelou desconhecimento acerca do termo “coordenação modular”

Bloco Concreto: Os fabricantes de blocos de concreto indicam que a coordenação modular é a evolução do sistema construtivo tradicional na qual a construção é planejada em módulos. Existe a adoção de um mínimo múltiplo comum e a interação entre projeto e produto visando à racionalização construtiva e redução de perdas por cortes ou improvisos.

Revestimento Cerâmico: Os fabricantes de revestimento cerâmico apontam que a coordenação modular é a coordenação de “tamanhos” entre projeto e produto e entre pisos e revestimentos de paredes. Neste setor a coordenação modular foi conceituada também como a criação de um módulo para a construção civil.

Esquadrias: Os fabricantes de esquadrias revelam que a coordenação modular é a padronização de medidas de componentes com objetivo de buscar a racionalização, máximo rendimento, menor custo e maior rapidez.

Estruturas Concreto: Os projetistas de estruturas de concreto indicam que a coordenação modular é a busca por uma padronização na fase de projeto e produção. Neste caso, o projeto arquitetônico deverá ser pensando em módulos, sendo adotado um mínimo múltiplo comum para todos os componentes da construção civil.

Pré-Fabricados de Concreto: Os produtores de peças pré-fabricadas de concreto revelam que a coordenação modular é um sistema construtivo modulado no qual existe uma padronização nas fases de projeto e produção. O projeto ou produto deverá possuir dimensões pré-definidas dentro de um padrão métrico, existindo a adoção de um mínimo múltiplo comum. Neste caso, existe a otimização da construção uma vez que permitirá repetição de peças. O conceito de coordenação modular também foi indicado como a interação entre projeto e produto com objetivo de evitar perdas por cortes ou improvisos.

2.Gargalos para o uso da Coordenação Modular segundo as empresas

Blocos Cerâmicos: Quem utiliza os blocos cerâmicos aponta como entraves para o uso da coordenação modular os conceitos confusos da arquitetura; as legislações municipais de uso do solo e a falta de conhecimento de empreendedores.

Blocos de Gesso: O representante desse setor apontou como barreira para o uso da coordenação modular a falta de mão de obra qualificada e a falta de aceitação do mercado para um produto diferente.

Bloco Concreto: Os fabricantes de blocos de concreto indicam que as principais barreiras para uso da coordenação modular são: falta de conhecimento entre os envolvidos na construção civil (empreendedores, engenheiros, arquitetos, produtores e clientes), falta de preparo e formação nas Universidades e escolas técnicas, falta de demanda na região, custo elevado para aquisição de equipamentos para fabricação de materiais, os conceitos confusos de arquitetura e as legislações municipais de uso do solo.

Revestimento Cerâmico: Neste setor foi indicado como gargalo para o uso da coordenação modular a padronização das medidas. Uma padronização não seria conveniente, pois nivelaria os produtos deixando apenas como diferencial o preço. Outro entrave para o uso da coordenação modular nesse setor é o tipo de equipamento utilizado.

Esquadrias: Os fabricantes de esquadrias indicam que a principal barreira para o uso da coordenação modular é a demanda sob medida. Outro entrave apontado nesse setor são as falhas na compatibilização dos projetos e a contratação tardia dos projetos para produção, quando já foram definidos os parâmetros arquitetônicos e construtivos.

Estruturas de Concreto: Os projetistas de estruturas de concreto revelam que a principal barreira para o uso da coordenação modular é o projeto arquitetônico, pois o projeto estrutural está diretamente ligado ao arquitetônico. Um dos problemas dos projetos arquitetônicos são os conceitos confusos e a diversidade de solução que não foram projetadas modularmente. Outro gargalo para o uso da coordenação modular nesse setor são as legislações municipais de uso do solo e a falta de conhecimento de empreendedores.

Pré-Fabricados Concreto: Os produtores de peças pré-fabricadas apontam que as principais barreiras para o uso da coordenação modular é a falta de modulação e variedade de peças nos projetos arquitetônicos, obrigando a adaptações dimensionais. Outros entraves para o uso da coordenação modular revelados nesse setor são: falta de conhecimento de empreendedores, falta de cultura de construtores e falta de demanda de clientes. A falta de preparo e formação nas Universidades e escolas técnicas também foi indicada como entrave, além das legislações municipais de uso do solo.

Relatório da Segunda Rodada do Método Delphi

1. Conceito de Coordenação Modular segundo as empresas

A seguir será apresentado o ranking no que tange a definição do conceito de coordenação modular segundo os representantes das empresas consultadas:

Conceito de Coordenação Modular segundo as empresas	***%***
É a utilização de um módulo padrão	63
É a adoção de um mínimo múltiplo comum para os componentes da construção	63
É a construção planejada em módulos	63
É a padronização das medidas de componentes	63
É evolução do processo construtivo tradicional	56
É a otimização da construção	56
É a interação entre projeto e produto	50
É a coordenação de “tamanhos” entre o projeto e o produto	50
É um sistema construtivo	44
É um sistema construtivo modulado	44
É o projeto ou produto com dimensões pré-definidas dentro de um padrão métrico	44
É o projeto arquitetônico pensado em módulos	38
É a padronização da construção	38
É um estudo para que todos os materiais tenham o máximo rendimento	32
É a criação de um módulo para a construção civil	25
É o aproveitamento de material pré-existente	19
Outros	

2. Vantagens da Coordenação Modular segundo as empresas

A seguir será apresentado o ranking no que tange as vantagens da coordenação modular segundo os representantes das empresas consultadas:

Vantagens da Coordenação Modular segundo as empresas	***%***
Racionalização da obra	82
Evitar perdas através de cortes ou improvisos	82
Evitar desperdício de material e mão de obra	82
Rápida execução	82
Racionalizar os projetos com as medidas modulares	82
Máximo rendimento	69
Economia nas fases de projeto, fabricação e montagem	69
Favorecer execução mais simples	56
Facilidade nas fases de projeto, fabricação e montagem	56
Rapidez nas fases de projeto, fabricação e montagem	44
Outros	

3. Identificação dos gargalos para uso da Coordenação Modular

A seguir será apresentado o ranking no que tange os gargalos da coordenação modular segundo os representantes das empresas consultadas:

Gargalos para uso da coordenação modular	***%***
Falta de formação nas Universidades e escolas técnicas.	75
Contratação tardia de projetos para produção, já tendo sido definidos os parâmetros arquitetônicos e construtivos.	75
Pouco conhecimento dos arquitetos e engenheiros	69
Falta de cultura dos construtores	69
Falta de conhecimento de empreendedores	56
Falta de disseminação na cadeia produtiva	56
Projeto arquitetônico	50
Falha na compatibilização de projetos	44
Falta de conhecimento dos clientes	44
Variedade de soluções arquitetônicas	31
Nivelamento de produtos devido a padronização, deixando como diferencial o preço	31
Falta de mão de obra qualificada	31
Falta de demanda na região	25
Falta de aceitação no mercado	25
Demanda sob medida	25
Conceitos confusos de arquitetura	19
Custo elevado para aquisição de equipamento	19
Legislações municipais de uso do solo	19
Tipo de equipamento disponível	13

4. Possibilidade de personalização de ambientes através da coordenação modular

Com 100% das respostas, as empresas foram unânimes em concordar que é possível personalizar um ambiente por meio da coordenação modular. Como forma de viabilização, as empresas indicaram o uso de módulos, multimódulos e submódulos para permitir a customização.

5. Módulos preferidos adotados nas empresas

Componente	Largura (cm)	Altura (cm)	Comprimento (cm)
Blocos de concreto	14	19	29
	19	19	19
	19	19	39
	14	19	19
	14	19	39
Blocos cerâmicos	14	19	29
Janelas	154	100	
	104	100	
Portas	60	210	
	70	210	
	80	210	
Revestimento Cerâmico	41	41	
	20	20	
	30	30	
	40	40	
Pilares	30	30	250
	90	130	3000
Vigas	20	40	300
	160	60	3000
Lajes alveolares	125	15,21	300
	125	26	1400

Relatório da Terceira Rodada do Método Delphi

Gargalos para uso da coordenação modular: Contratação tardia de projetos para produção, já tendo sido definidos os parâmetros arquitetônicos.

O que está sendo feito para superar o gargalo: maior contato direto com arquitetos, gerentes e possíveis clientes; conscientização dos profissionais para futuros projetos; verificação do projeto arquitetônico antecipadamente; fornecer informação; auxílio em coordenação dimensional do projeto, adaptando o projeto original à malha modular; interceder junto aos arquitetos e engenheiros para readequar o projeto; visita a construtores e arquitetos.

Qual(s) a(s) dificuldade(s) encontrada(s): investimentos para aumentar a equipe de trabalho, além dos prazos reduzidos para qualificação dos profissionais; cultura sob encomenda; mudanças repentinas do projeto; desconhecimento da importância em iniciar junto; prazo reduzido para modificações; ensinar o arquiteto a projetar na malha e falar com o arquiteto antes da definição final do projeto; prazo reduzido entre a readequação e início da fabricação da estrutura; pouco conhecimento.

Quanto tempo levará para superar o gargalo: entre dois a três anos; até 36 meses; provavelmente muito tempo; cinco a seis anos.

Gargalo para uso da coordenação modular: pouco conhecimento dos arquitetos e engenheiros

O que está sendo feito para superar o gargalo: eventos; maior contato direto com arquitetos, gerentes e possíveis clientes; conscientização dos profissionais para futuros projetos; incentivo educacional e treinamento aos profissionais; palestras sobre geometria e modulação para alvenaria; fornecer informação e realizar palestras em faculdades de engenharia e arquitetura; palestras personalizadas para construtoras e projetistas, revisão de projetos elaborados por projetistas iniciantes e apoio técnico para ensinar alvenaria modular, além de visitas nas obras para

verificar o processo construtivo e promoção de eventos que buscam a formação de profissionais como calculistas, engenheiros, arquitetos e mestres de obras; exemplificar na prática.

Qual(s) a(s) dificuldade(s) encontrada(s): levar os profissionais aos eventos; investimentos para aumentar a equipe de trabalho, além dos prazos reduzidos para qualificação dos profissionais; cultura sob encomenda; dificuldade de entendimento pelos arquitetos; pouco interesse de algumas faculdades em palestras; lacuna grande entre projeto e obra.

Quanto tempo levará para superar o gargalo: este gargalo não se supera completamente nunca; entre dois a três anos; até 36 meses; provavelmente muito tempo; cinco a seis anos.

Gargalo para uso da coordenação modular: falta de formação nas Universidades e escolas técnicas

O que está sendo feito para superar o gargalo: participação em feiras universitárias e promoção de palestras e visitas periódicas de alunos à fábrica; fornecer informações; treinamento de mão de obra.

Qual(s) a(s) dificuldade(s) encontrada(s): investimento para aumentar a equipe de trabalho, além de prazos reduzidos para qualificação dos profissionais; pouco interesse de algumas faculdades em palestras; transporte para realizar as visitas.

Quanto tempo levará para superar o gargalo: trabalho contínuo; provavelmente muito tempo.

Gargalo para uso da coordenação modular: falta de cultura dos construtores

O que está sendo feito para superar o gargalo: fornecer informações; divulgação e aumento da quantidade de obras no mercado; conscientização dos profissionais para futuros projetos; verificação de compatibilização de projetos; cursos mensais de treinamento de mão de obra e visitas em obras; palestras técnicas personalizadas nas construtoras, apoio a eventos de formação no assunto.

Qual(s) a(s) dificuldade(s) encontrada(s): mão de obra; investimento para aumentar a equipe de trabalho, além de prazos reduzidos para qualificação dos profissionais; cultura sob encomenda; custo elevado na implantação de novos sistemas construtivos; falta de entendimento; falta de oportunidade para prestar informações; falta de envolvimento da direção na implantação de novas práticas construtivas; baixa amplitude de ação, pois a prestação de informações ocorre apenas após a negociação da obra; falta de interesse em alguns.

Quanto tempo levará para superar o gargalo: este gargalo não se supera completamente nunca; trabalho contínuo; até 36 meses; muito tempo; uma a duas gerações; indeterminado; provavelmente muito tempo.

Gargalo para uso da coordenação modular: falta de conhecimento de empreendedores

O que está sendo feito para superar o gargalo: divulgação e aumento da quantidade de obras no mercado; palestras internas em empreendedoras; fornecer informações; cursos mensais de treinamento de mão de obra e visitas em obras; palestras técnicas personalizadas nas construtoras e apoio a eventos de formação no assunto.

Qual(s) a(s) dificuldade(s) encontrada(s): investimento para aumentar a equipe de trabalho, além de prazos reduzidos para qualificação dos profissionais; agendar palestras; falta de oportunidade para prestar informações; baixa amplitude de ação, pois a prestação de informações ocorre apenas após a negociação da obra; falta de

interesse; falta de envolvimento da direção na implantação de novas práticas construtivas.

Quanto tempo levará para superar o gargalo: trabalho contínuo; provavelmente muito tempo; indeterminado; uma a duas gerações.

Gargalo para uso da coordenação modular: falta de disseminação na cadeia produtiva

O que está sendo feito para superar o gargalo: divulgação e aumento da quantidade de obras no mercado; fornecer informações a arquitetos e construtores; palestras técnicas; promoção e apoio a eventos de formação no assunto, além de visitas focadas em cada interveniente da cadeia produtiva.

Qual(s) a(s) dificuldade(s) encontrada(s): investimento para aumentar a equipe de trabalho, além de prazos reduzidos para qualificação dos profissionais; falta de oportunidade para prestar informações; falta de envolvimento de outras empresas de componentes construtivos; dificuldades operacionais no fluxo das informações; falta de interesse em alguns.

Quanto tempo levará para superar o gargalo: trabalho contínuo; provavelmente muito tempo; duas a três gerações; processo evolutivo.

Gargalo para uso da coordenação modular: projeto arquitetônico

O que está sendo feito para superar o gargalo: eventos; palestras; contato direto; incentivo; divulgação técnica e institucional; conscientização dos profissionais para projetos futuros; orientação aos arquitetos (coordenação de projetos); prestar informações; ajuste de paginação para blocos de concreto; auxílio em coordenação dimensional do projeto, adaptando o projeto original à malha modular; readequação do projeto às possibilidades de fabricação; visitas.

Qual(s) a(s) dificuldade(s) encontrada(s): oscilações de demandas de trabalho; investimento para aumentar a equipe de trabalho, além de prazos reduzidos para

qualificação dos profissionais; cultura sob encomenda; falta de aceitação da coordenação de projetos; falta de oportunidade para prestar informações; custo para ajuste de paginação para blocos de concreto (serviço terceirizado); ensinar o arquiteto a projetar na malha e falar com o arquiteto antes da definição final do projeto; manter as seções de peças impostas pelo projeto arquitetônico; falta de interesse em alguns; falta de software específico.

Quanto tempo levará para superar o gargalo: trabalho contínuo; até 36 meses; provavelmente muito tempo.

Gargalo para uso da coordenação modular: falta de conhecimento dos clientes

O que está sendo feito para superar o gargalo: atendimento a clientes; divulgação e aumento da quantidade de obras no mercado; conscientização no momento da contratação do serviço; verificação de custo x benefício, criando uma cultura de padronização; prestar informações; investimento em divulgação; palestras técnicas personalizadas nas construtoras e apoio a eventos de formação no assunto; visitas e cursos.

Qual(s) a(s) dificuldade(s) encontrada(s): investimento para aumentar a equipe de trabalho, além de prazos reduzidos para qualificação dos profissionais; cultura sob encomenda; pouca divulgação; falta de oportunidade para prestar informações; falta de envolvimento da direção na implantação de novas práticas construtivas; baixa amplitude de ação, pois a prestação de informações ocorre apenas após a negociação da obra; falta de interesse em alguns.

Quanto tempo levará para superar o gargalo: trabalho contínuo; até 36 meses; provavelmente muito tempo; uma a duas gerações; indeterminado.

Gargalo para uso da coordenação modular: falha na compatibilização de projetos

O que está sendo feito para superar o gargalo: maior contato direto com arquitetos, gerentes e possíveis clientes; conscientização dos profissionais para futuros projetos; estudo prévio do projeto como um todo; prestar informações; auxílio em coordenação dimensional do projeto, adaptando o projeto original à malha modular; compatibilização dos projetos.

Qual(s) a(s) dificuldade(s) encontrada(s): cultura sob encomenda; mudanças repentinas e projetos muito arrojados; falta de comprometimento dos projetistas de instalações; falta de oportunidade para prestar informações; ensinar o arquiteto a projetar na malha e falar com o arquiteto antes da definição final do projeto; limitações impostas em alguns projetos.

Quanto tempo levará para superar o gargalo: trabalho contínuo; até 36 meses; muito tempo.

Gargalo para uso da coordenação modular: falta de mão de obra qualificada

O que está sendo feito para superar o gargalo: incentivo aos empregados para qualificação e treinamento aos novos admitidos; palestras nas obras antes de iniciar as paredes; curso para profissionais de mão de obra e apoio a cursos de formação sobre o assunto.

Qual(s) a(s) dificuldade(s) encontrada(s): investimento para aumentar a equipe de trabalho, além de prazos reduzidos para qualificação dos profissionais; encontrar jovens candidatos com o mínimo de escolaridade; alta rotatividade de operários.

Quanto tempo levará para superar o gargalo: trabalho contínuo; provavelmente muito tempo; indefinido; ação periódica; cinco a seis anos.

Gargalo para uso da coordenação modular: variedade de soluções arquitetônicas

O que está sendo feito para superar o gargalo: trabalho direto e personalizado com arquitetos, engenheiros, consultores e gerentes, buscando a padronização, modulação e repetividade dos produtos; melhorar a padronização; incutir necessidade de padronização junto aos arquitetos e construtores; busca de novos produtos; adaptação de fôrmas para fabricação de peças especiais.

Qual(s) a(s) dificuldade(s) encontrada(s): a coordenação modular não ser exigida de forma contínua e exaustiva em todos os níveis de formação; falta de padronização; resistência dos arquitetos; limitação de recursos disponíveis.

Quanto tempo levará para superar o gargalo: trabalho contínuo

Gargalo para uso da coordenação modular: falta de demanda na região

O que está sendo feito para superar o gargalo: palestras, contato direto, incentivo, divulgação técnica e institucional; ampliação de atuação do departamento comercial, política mais agressiva de vendas; prospecção e fidelização para que ocorra o crescimento da demanda em alvenaria modular.

Qual(s) a(s) dificuldade(s) encontrada(s): investimentos para aumentar a equipe de trabalho, além dos prazos reduzidos para qualificação dos profissionais; falta de apoio das instituições ligadas ao setor e fornecedores.

Quanto tempo levará para superar o gargalo: trabalho contínuo.

Gargalo para uso da coordenação modular: nivelamento de produtos devido a padronização, deixando como diferencial o preço

O que está sendo feito para superar o gargalo: atendimento; busca de exclusividade; lançamento constante de novos produtos; desenvolvimento da engenharia com criatividade e alternativas; conscientização dos profissionais e principalmente dos

clientes; racionalizar para criar diferencial; buscar diferencial em outros fatores como cumprimento de prazos de entrega e qualidade de atendimento; ampliar o volume de produção na fábrica, buscando redução de preço; redução de custos através da padronização; apresentação da qualidade; divulgação do Selo ABCP e atendimento das normas.

Qual(s) a(s) dificuldade(s) encontrada(s): custos com divulgação; investimentos para aumentar a equipe de trabalho, além dos prazos reduzidos para qualificação dos profissionais; cultura sob encomenda; falta de tempo para pesquisa; falta de percepção dos clientes de fatores como a qualidade do produto; limitações impostas pelo projeto arquitetônico; matéria-prima; falta de consciência da importância de atendimento as normas.

Quanto tempo levará para superar o gargalo: não se supera; trabalho contínuo; até 36 meses; indeterminado.

Gargalo para uso da coordenação modular: falta de aceitação no mercado

O que está sendo feito para superar o gargalo: divulgação e próprio aumento do número de obras implantadas no mercado; criação de cultura para aceitação de produtos padronizados; cursos e palestras técnicas; prospecção com quebra de paradigmas junto às construtoras.

Qual(s) a(s) dificuldade(s) encontrada(s): diversidade de projetos; muitos produtos fora da norma e fora de padrões aceitáveis; cultura de alguns segmentos da construção civil; pouco conhecimento do produto; falta de apoio das instituições ligadas ao setor.

Quanto tempo levará para superar o gargalo: trabalho contínuo; uma a duas gerações; indeterminado; muito tempo.

Gargalo para uso da coordenação modular: demanda sob medida

O que está sendo feito para superar o gargalo: desenvolvimento da engenharia com criatividade e alternativas; padronização; adaptação de fôrmas.

Qual(s) a(s) dificuldade(s) encontrada(s): diversidade de projetos; falta de entendimento; recursos disponíveis.

Quanto tempo levará para superar o gargalo**:** trabalho contínuo.

Gargalo para uso da coordenação modular: conceitos confusos de arquitetura

O que está sendo feito para superar o gargalo: conscientização dos profissionais e principalmente de clientes; verificação de compatibilização de projetos; diálogo com arquitetos; auxílio em coordenação dimensional do projeto, adaptando o projeto original à malha modular; orientação técnica.

Qual(s) a(s) dificuldade(s) encontrada(s): cultura sob encomenda; conscientização dos arquitetos; ensinar o arquiteto a projetar na malha e falar com o arquiteto antes da definição final do projeto.

Quanto tempo levará para superar o gargalo: até 36 meses; tempo para que a cultura do pré-fabricado seja totalmente incorporada pelos arquitetos.

Gargalo para uso da coordenação modular: legislações municipais de uso do solo

O que está sendo feito para superar o gargalo: sensibilização dos órgãos públicos; auxílio em coordenação dimensional do projeto, adaptando o projeto original à malha modular.

Qual(s) a(s) dificuldade(s) encontrada(s): conscientização para as exigências de normas (selo de qualidade); ensinar o arquiteto a projetar na malha e falar com o arquiteto antes da definição final do projeto.

Quanto tempo levará para superar o gargalo: indeterminado.

Gargalo para uso da coordenação modular: tipo de equipamento disponível

O que está sendo feito para superar o gargalo: incentivo ao investimento em guindastes e gruas de maior capacidade; compra ou confecção de equipamentos necessários; renovação das plantas industriais.

Qual(s) a(s) dificuldade(s) encontrada(s): falta de arrojo nas empresas de equipamentos de movimentação e elevação; falta de recursos disponíveis; tempo na implantação das plantas industriais.

Quanto tempo levará para superar o gargalo: entre cinco a dez anos; indeterminado.

Gargalo para uso da coordenação modular: custo elevado para aquisição de equipamento

O que está sendo feito para superar o gargalo: criatividade e engenharia; estudo de implantação de uma nova fábrica; fabricação própria dos equipamentos quando possível para reduzir os custos; financiamento via BNDES.

Qual(s) a(s) dificuldade(s) encontrada(s): investimentos; falta de recursos disponíveis e incentivo fiscal para aquisição de novos equipamentos; tempo de aprovação e burocracia.

Quanto tempo levará para superar o gargalo: entre cinco a dez anos; indeterminado.

APÊNDICE 03

Análise quanto à modulação construtiva

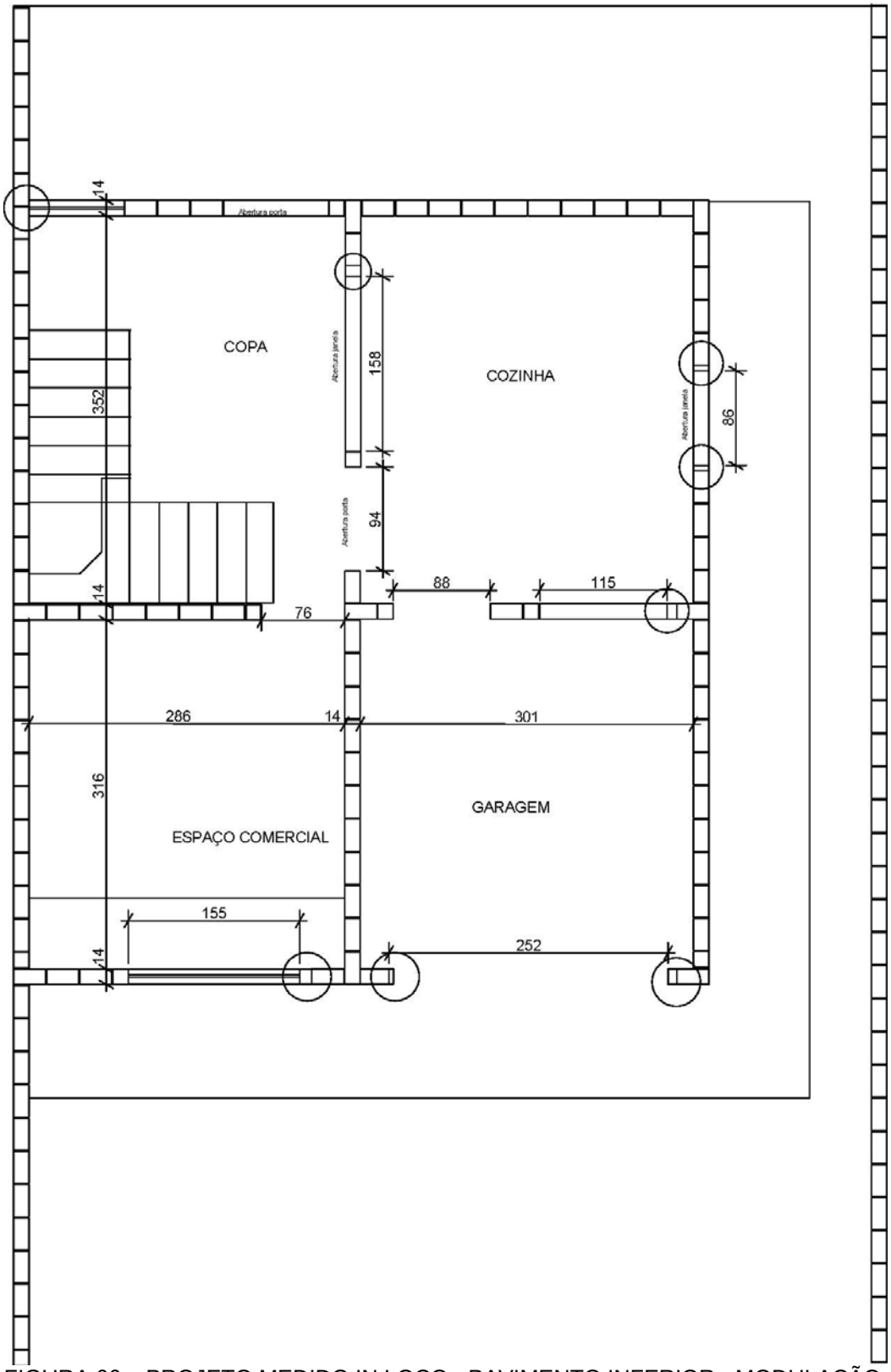


FIGURA 66 – PROJETO MEDIDO IN LOCO - PAVIMENTO INFERIOR - MODULAÇÃO: 15x30

FONTE: A autora (2008)

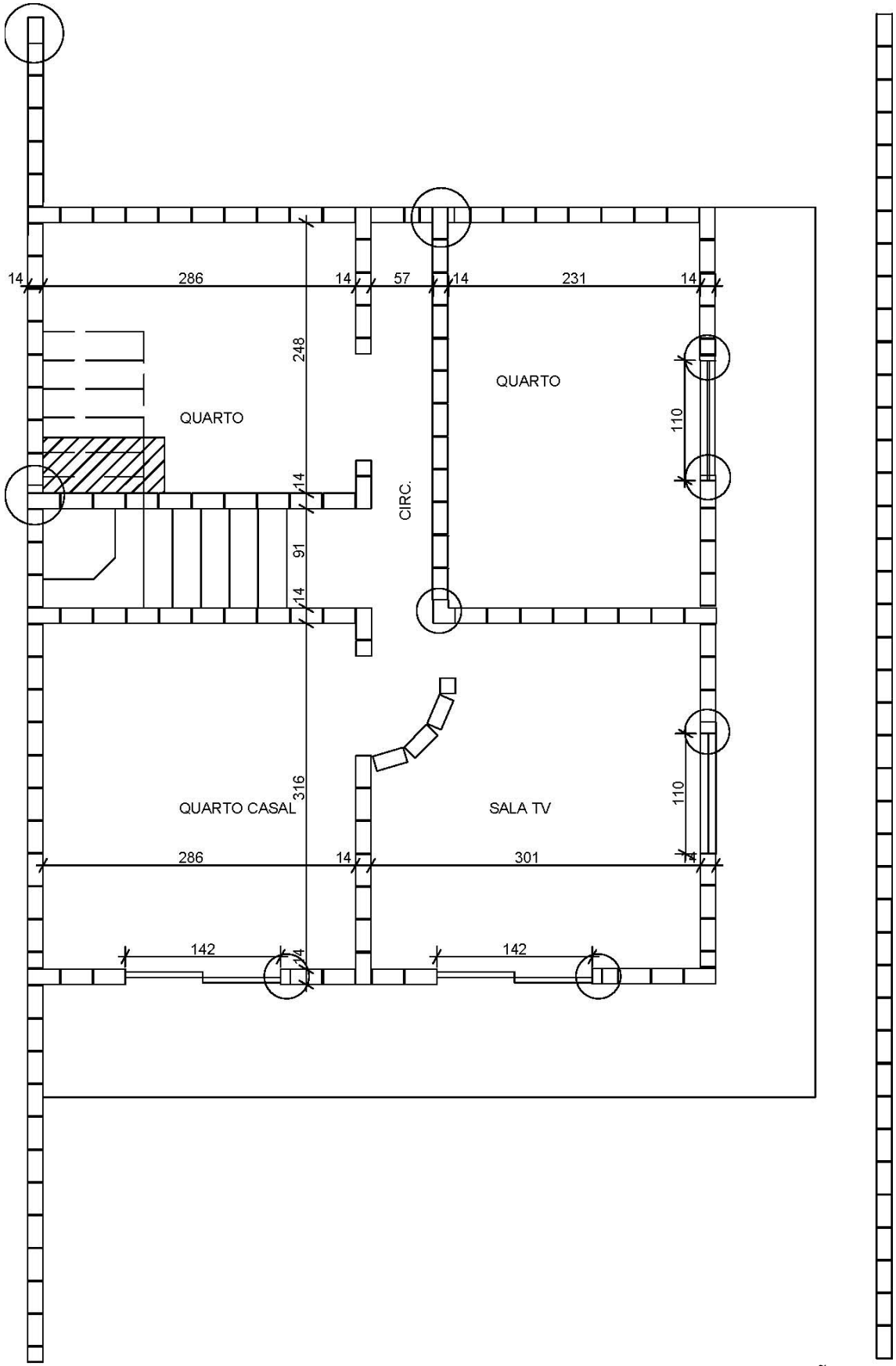


FIGURA 67 – PROJETO MEDIDO IN LOCO - PAVIMENTO SUPERIOR - MODULAÇÃO: 15x30

FONTE: A autora (2008)

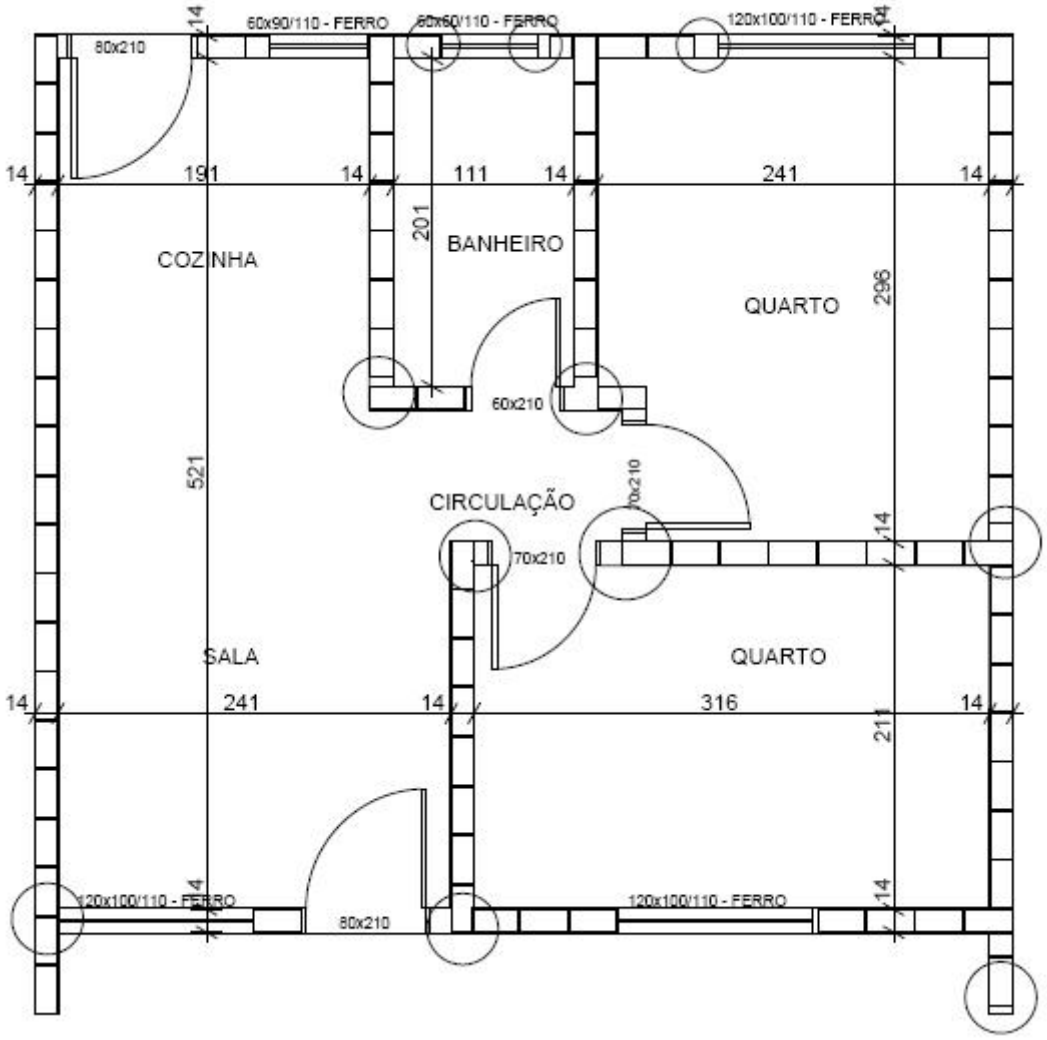


FIGURA 68 - CT2-33 - MODULAÇÃO: 15x30

FONTE: A autora (2008)

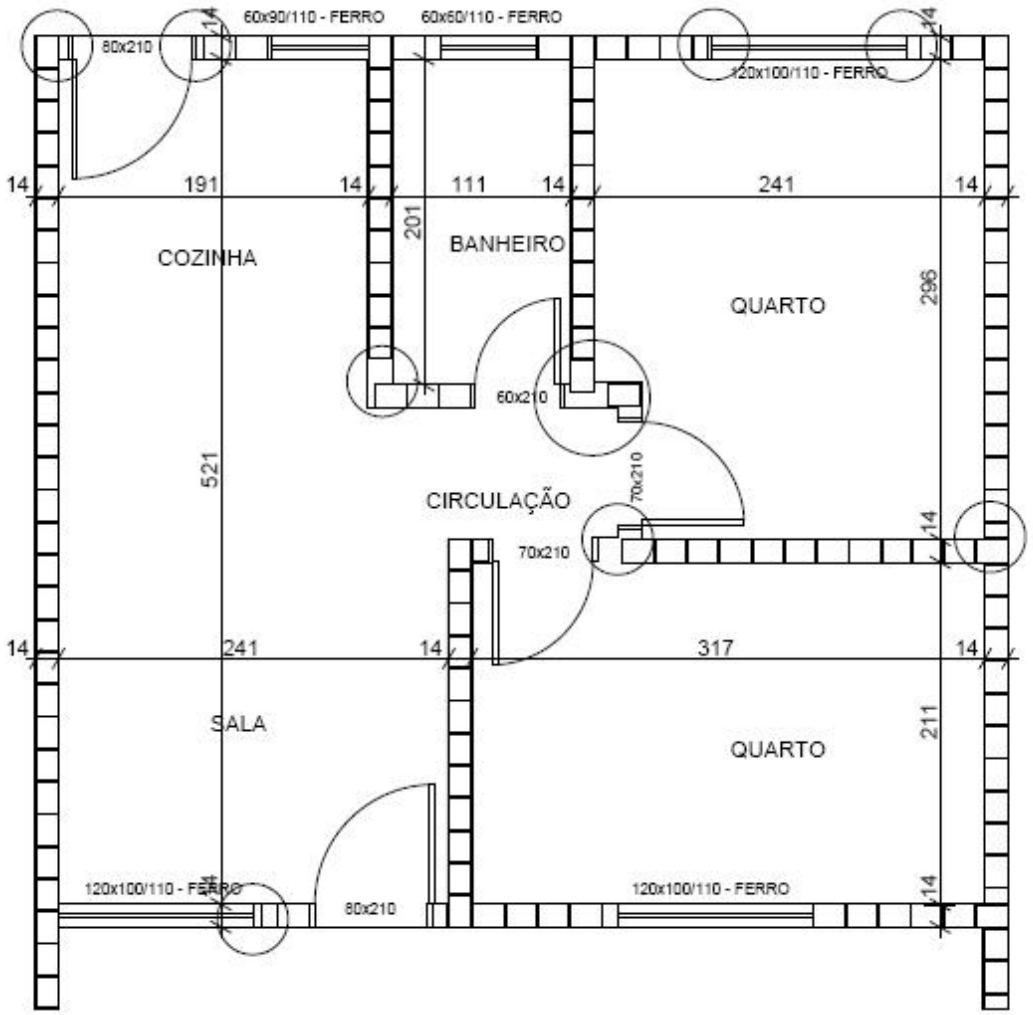


FIGURA 69 - CT2-33 - MODULAÇÃO: 15x20

FONTE: A autora (2008)

APÊNDICE 04

Tarefa dos ensaios de interação

Ficha de participação do ensaio de interação

1. Nome Completo

   _____

2. Idade (anos). Coloque um X no campo correspondende:

	Até 20		De 21-30		De 31-40		De 41 -50		Mais de 51

3. Gênero

	Masculino		Feminino

4. Grau de instrução

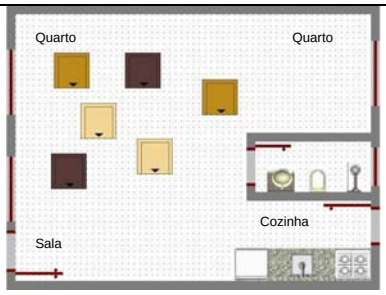
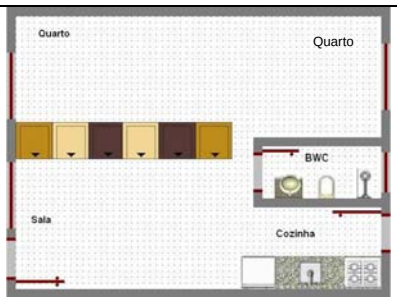
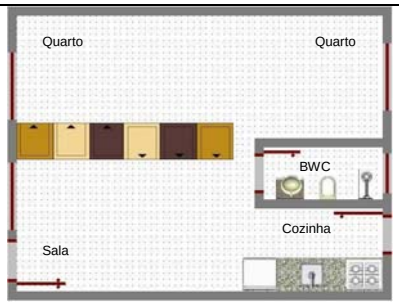
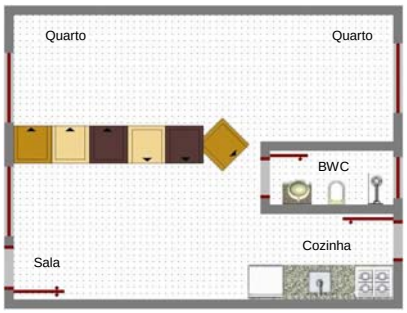
	1º grau		2º grau		Curso Técnico		3º grau

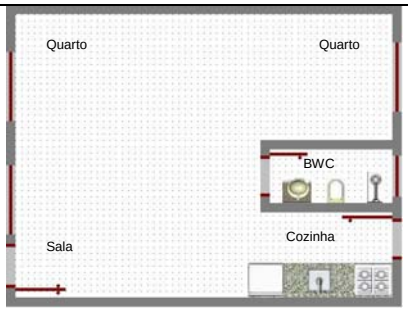
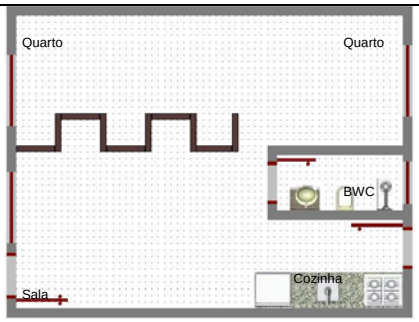
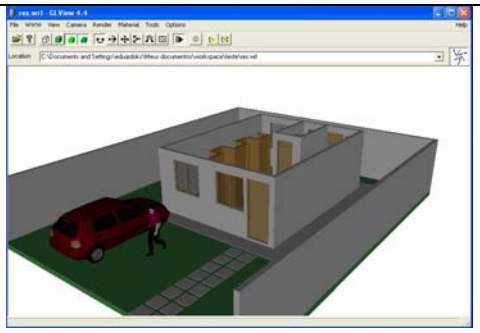
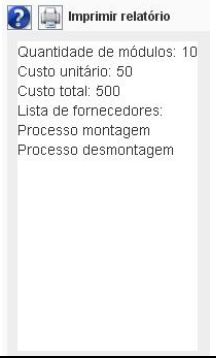
5. Tipo de ocupação

   _____

FONTE: Adaptado de Souza (2004)

Exercício: Projeto de leiaute de divisória-mobiliário utilizando armários prontos e painéis.

1. Etapa: inserir seis armários no plano 2D.	
2. Etapa: posicionar os armários entre as duas janelas da frente da casa, conforme figura ao lado.	
3. Etapa: posicionar três armários com a frente para o quarto e três armários com a frente para a sala.	
4. Etapa: rotacionar o último armário com um ângulo de 45º.	

5. Etapa: deletar todos os armários inseridos.	
6. Etapa: inserir dez painéis e posicioná-los em zig-zag, conforme figura ao lado.	
7. Etapa: gerar projeto em 3D e navegar no modelo (rotacionar, aproximar, afastar).	
8. Etapa: consultar relatório contendo quantitativo de módulos, custo unitário, custo total, lista de fornecedores, processo de montagem e processo de desmontagem	
9. Etapa: salvar e imprimir projeto em 2D	

FONTE: Adaptado de Souza (2004)