FRANCISCO FERREIRA CARDOSO

A UTILIZAÇÃO DE COMPUTADORES
NO PROJETO DO EDIFÍCIO:
CONCEITOS E PERSPECTIVAS

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da USP para a obtenção
do título de Mestre em Engenharia

São Paulo, 1986

Dedicatória :

a meu pai, João Carlos
e
a minha mulher, Regina.

Os nossos agradecimentos:

ao Professor Dr. Sérgio Ferraz Gontijo de Carvalho, pela orientação dada a esse trabalho;

ao Professor Dr. Francisco Romeu Landi, pelo constante apoio e orientação dados ao longo de todo o nosso curso de mestrado;

ao colega e amigo Professor Luiz Bandeira de Mello Laterza, que nos introduziu no assunto e com quem discutimos praticamente todas as idéias que constam desse trabalho;

à Regina Maria Rodrigues Silva, minha mulher, pela fundamental ajuda dada na revisão dos originais;

à Doralice Dias Anaya, pelo dedicado trabalho de datilografia;

e a todos os amigos e colegas que incentivaram e, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização dessa Dissertação.

São Paulo, julho de 1986
Francisco Ferreira Cardoso

RESUMO

O computador vem ocupando atualmente um papel de crescente destaque na vida do homem moderno. Nesse contexto, também a área de projeto e, mais particularmente, a do projeto de edifícios, encontram nele uma ferramenta de inestimável valor. Seu atual nível de utilização nesse setor, no entanto, não tem se aproveitado de todo o potencial oferecido.

Um dos motivos que justificam tal fato está no desconhecimento, por parte dos projetistas, das reais possibilidades de emprego dos computadores na área do projeto de edifícios.

Nesse sentido, o objetivo dessa Dissertação é contribuir para a organização dos conceitos necessários a tais empregos, bem como montar um painel sobre as perspectivas de utilização dessa poderosa ferramenta na área.

ABSTRACT

The computer is playing an increasing role in the life of the modern man. With this point of view the design and more specifically the building design can make the computer a valuable tool. However, despite the potential of this equipment, it has not been yet properly used.

This happens because the designers do not know the actual possibilities of the use of computers for the building designs.

This Dissertation aims to organize the concepts related with this possibilities and also to bring out the prospective uses of this powerfull tool in this area.

INDICE

<u>CAPITULO 1 - INTRODUÇÃO</u>	- 1
 <u>CAPITULO 2 - COMPUTADOR E PROJETO</u>	
2.1 - <u>Projeto Assistido por Computador - PAC</u>	- 5
2.2 - <u>Projeto do Edifício Assistido por Computador - PEAC</u>	- 13
2.2.1 - <u>A década do desenvolvimento (1965 - 1975)</u>	- 14
2.2.2 - <u>O período de consolidação (1976 - 1980)</u>	- 20
2.2.3 - <u>O presente</u>	- 23
2.2.4 - <u>Comentários</u>	- 25
 <u>CAPITULO 3 - O PROJETO DO EDIFÍCIO</u>	
3.1 - <u>Introdução</u>	- 26
3.2 - <u>Projeto: Conceituação</u>	- 26
3.3 - <u>A importância da Arquitetura no Projeto do Edifício</u>	- 30
3.4 - <u>Metodologia de Projeto</u>	- 34
3.4.1 - <u>Projeto e investigação científica</u>	- 34
3.4.2 - <u>Os Métodos de Projeto</u>	- 35
3.4.3 - <u>Fases e etapas do projeto</u>	- 39
 <u>CAPITULO 4 - FASES E ETAPAS DO PROCESSO DE PROJETO</u>	
4.1 - <u>As Fases do Projeto</u>	- 41
4.2 - <u>As Etapas do Projeto</u>	- 42
4.3 - <u>Um Modelo Mais Completo</u>	- 53
4.4 - <u>Comentários</u>	- 55

CAPITULO 5 - MODELOS PARA PEAC

5.1 - <u>Introdução</u>	- 64
5.2 - <u>Modelos: conceituação e classificação</u>	- 65
5.2.1 - <u>Classificação quanto à representação</u>	- 66
5.2.2 - <u>Classificação quanto à objetividade</u>	- 68
5.2.3 - <u>Classificação quanto à dependência do tempo</u>	- 69
5.3 - <u>Modelagens das Etapas do Projeto Visando Aplicações de PEAC</u>	- 70
5.3.1 - <u>Modelo iterativo</u>	- 71
5.3.2 - <u>Modelo gerativo</u>	- 73
5.3.3 - <u>Modelo direto</u>	- 74
5.4 - <u>Diferentes Níveis de Intervenção do Computador no Projeto</u>	- 75
5.4.1 - <u>Máquina simuladora</u>	- 76
5.4.2 - <u>Máquina geradora</u>	- 89
5.4.3 - <u>Máquina otimizadora</u>	- 94
5.4.4 - <u>Sistema integrado</u>	- 100
5.4.5 - <u>Sistemas Especialistas - "Expert Systems"</u>	- 107
5.4.6 - <u>"Máquina de Arquitetura"</u>	- 110
5.5 - <u>Comentários</u>	- 112

CAPITULO 6 - FASE DE ESTUDOS INICIAIS

6.1 - <u>Introdução</u>	- 115
6.2 - <u>Estudos de Viabilidade</u>	- 115
6.2.1 - <u>Modelos iterativos</u>	- 116
6.2.2 - <u>Modelos gerativos</u>	- 116
6.2.3 - <u>Modelos diretos</u>	- 117
a) <u>Modelos heurísticos</u>	- 117
b) <u>Modelos de otimização: programação linear</u>	- 123
c) <u>Modelos de otimização: programação dinâmica</u>	- 126
6.2.4 - <u>BOP - "Building Optimization Program"</u>	- 127
6.2.5 - <u>Comentários</u>	- 133

6.3 - <u>Estruturação de Problemas</u>	- 133
6.3.1 - <u>Decomposição em árvores hierárquicas</u>	- 134
6.3.2 - <u>Análise de grupo</u>	- 138
6.3.3 - <u>Escalamento multidimensional - MDS</u>	- 145
6.3.4 - <u>Comentários</u>	- 149
6.4 - <u>Organograma Funcional</u>	- 151
6.4.1 - <u>Análise de espaços necessários</u>	- 152
a) Modelos empíricos	- 153
b) Modelos de filas	- 153
c) Modelos de simulação	- 154
d) Padronização de espaços	- 154
6.4.2 - <u>Diagrama de bolhas</u>	- 155
6.4.3 - <u>Comentários</u>	- 158

CAPÍTULO 7 - FASE DE ANTEPROJETO

7.1 - <u>Introdução</u>	- 160
7.2 - <u>Implantação do Anteprojeto</u>	- 160
7.2.1 - <u>Topografia do terreno</u>	- 161
a) Levantamentos plani-altimétricos	- 161
b) Movimentação de terra	- 162
c) Estudos de declividade e drenagem	- 165
7.2.2 - <u>Orientação da construção</u>	- 168
7.2.3 - <u>Comentários</u>	- 169
7.3 - <u>Síntese do Anteprojeto</u>	- 170
7.3.1 - <u>Introdução</u>	- 171
7.3.2 - <u>Aplicações: classificação</u>	- 175
a) Tipo de aplicação	- 175
b) Modelo adotado	- 176

c) Formulação adotada	- 177
c.1) Assinalamento quadrático	- 177
c.2) Teoria dos grafos: matriz de requisitos de adjacências	- 180
c.3) Teoria dos grafos: busca heurística	- 184
c.4) Formulação analítica	- 185
d) Comentários	- 185
7.3.3 - <u>Modelos gerativos</u>	- 185
7.3.4 - <u>Modelos diretos heurísticos</u>	- 189
a) Procedimentos via melhoramento	- 190
a.1) Permutação ou melhor troca	- 190
a.2) Seleção natural	- 194
b) Procedimentos de busca	- 194
7.3.5 - <u>Modelos diretos de otimização</u>	- 200
a) Programação linear	- 201
b) Programação não-linear	- 202
c) Programação dinâmica	- 202
7.3.6 - <u>Modelos iterativos de simulação</u>	- 203
7.3.7 - <u>Trabalho interativo</u>	- 204
7.3.8 - <u>O programa IMAGE</u>	- 206
7.3.9 - <u>Comentários</u>	- 207
7.4 - <u>Avaliação do Anteprojeto</u>	- 209
7.4.1 - <u>Introdução</u>	- 209
7.4.2 - <u>Aplicações técnicas: área ambiental</u>	- 211
a) Avaliações climáticas	- 212
a.1) Avaliações térmicas	- 212
a.2) Avaliações energéticas	- 215
a.3) Insolação e sombreamento	- 216
a.4) Ventos	- 218
a.5) ESP - "Environmental Systems Performance"	- 218
b) Iluminação	- 220
b.1) Iluminação natural e sombreamento	- 220
b.2) Iluminação artificial	- 221
c) Acústica	- 223

7.4.3 - <u>Aplicações técnicas: demais áreas</u>	- 225
7.4.4 - <u>Aplicações funcionais</u>	- 226
7.4.5 - <u>Custos</u>	- 228
7.4.6 - <u>Aspectos legais</u>	- 230
7.4.7 - <u>Aspectos visuais</u>	- 231
7.4.8 - <u>Sistemas integrados para avaliações</u>	- 234
a) Martin Center for Architecture and Urban Studies - Universidade de Cambridge	- 236
b) BESS - Building Environment and Services Simulation	- 237
c) PACE 1 - Package for Architectural Computer Evaluation	- 238
d) PHASE - Package for Hospital Appraisal, Simulation and Evaluation	- 240
e) ECOLE3	- 241
f) HELP - Housing Evaluation Layout Package	- 241
g) GOAL - General Outline Appraisal of Layouts	- 242
h) GABLE	- 244
i) SCRIBE	- 244
j) Oven Arup Partnership	- 245
7.4.9 - <u>Comentários</u>	- 245

CAPITULO 8 - CONCLUSÕES

8.1 - <u>O Mito Computador</u>	- 248
8.2 - <u>O Acesso à Nova Tecnologia</u>	- 249
8.3 - <u>Onde Utilizar o Computador Hoje?</u>	- 250
8.4 - <u>O Futuro</u>	- 251

ANEXO I - SISTEMAS INTEGRADOS

1.1 - <u>Os Principais Sistemas Desenvolvidos</u>	- 253
DAC-1	- 254
ICES	- 255
West Sussex	- 256

HARNESS	- 258
ARK-2	- 261
SSHA	- 263
OXSYS/BDS	- 266
CEDAR	- 270
SPACES 1 a 3	- 272
CARBS	- 275
Outros (MICROBE, MIDAS, SYSTEM 72, CP 110)	- 276
I.2 - <u>Comentários</u>	- 279

ANEXO II - CONSIDERAÇÕES ADICIONAIS

II.1 - <u>Introdução</u>	- 280
II.2 - <u>Aplicações na Fase do Projeto Executivo</u>	- 281
II.2.1 - <u>Estruturação de dados</u>	- 281
II.2.2 - <u>Projetos complementares - estruturas e fundações</u>	- 281
II.2.3 - <u>Projetos complementares - instalações eletromecânicas</u>	- 282
a) Elevadores	- 282
b) Condicionamento de ar	- 282
c) Iluminação artificial	- 283
II.2.4 - <u>Projetos complementares - instalações hidráulico-sanitárias</u>	- 283
II.2.5 - <u>"Edifícios conscientes"</u>	- 283
II.2.6 - <u>Comentários</u>	- 284
II.3 - <u>Aplicações nas Áreas de Apoio ao Projeto</u>	- 284
II.3.1 - <u>Orçamentos</u>	- 284
II.3.2 - <u>Cronogramas</u>	- 285
II.3.3 - <u>Especificações técnicas</u>	- 285
II.3.4 - <u>Sistemas administrativos</u>	- 286
II.3.5 - <u>Comentários</u>	- 286

II.4 - Aspectos da Implantação dos Computadores nos Escritórios de Projeto	- 286
II.4.1 - Impactos na prática profissional	- 286
II.4.2 - Definição e escolha do sistema	- 289
II.4.3 - Definição e escolha do equipamento	- 291
II.4.4 - Estratégia de implantação	- 293
II.5 - O Ensino do PEAC	- 294

BIBLIOGRAFIA	- 299
--------------	-------

BIBLIOGRAFIA - ANEXO I	- 327
------------------------	-------

BIBLIOGRAFIA - ANEXO II	- 330
-------------------------	-------

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - A "Economia do Projeto"	- 11
Figura 2.2 - Desenvolvimento dos equipamentos de computação	- 22
Figura 3.1 - "Systematic Method for Designer - L.B.Archer"	- 38
Figura 4.1 - Modelo do processo de projeto desenvolvido pela "Building Performance Research Unit"	- 54
Figura 4.2 - Modelo bidimensional do processo de projeto desenvolvido por Markus	- 54
Figura 4.3 - Modelo proposto por McGinty	- 54
Figura 4.4 - A existência da retroação ou "feedback"	- 56
Figura 4.5 - O constante processo de iteração entre etapas	- 56
Figura 4.6 - O ciclo iterativo	- 56
Figura 5.1 - Estudo de uma cúpula de igreja feita por Antonio Gaudi através do uso de um modelo analógico	- 67
Figura 5.2 - Exemplo de modelo dinâmico: trocas de calor entre o edifício e o meio ambiente	- 67
Figura 5.3 - Modelo iterativo	- 72
Figura 5.4 - Modelo gerativo	- 72
Figura 5.5 - Modelo direto	- 72
Figura 5.6 - Estação de trabalho de um microcomputador	- 78
Figura 5.7 - Estação de trabalho de um minicomputador	- 79
Figura 5.8 - "Menu" de opções	- 81
Figura 5.9 - Desenhos feitos com o sistema ARK-2 a partir de uma biblioteca de elementos padrões	- 83
Figura 5.10 - Uso da biblioteca de detalhes construtivos do sistema OXSYS/BDS	- 84
Figura 5.11 - Composição de um desenho final a partir de diferentes níveis	- 85
Figura 5.12 - Composição hierárquica de desenhos	- 86
Figura 5.13 - Modelo gerativo adotado por Leonardo da Vinci no projeto de igrejas	- 90
Figura 5.14 - Árvore correspondente às combinações, com destaque para as viáveis, indicadas em preto	- 93
Figura 5.15 - Procedimento via melhoramento	- 97
Figura 5.16 - Modelo para Sistema Integrado de PEAC	- 101
Figura 6.1 - Entrada de dados	- 120
Figura 6.2 - Soluções iniciais; exames dos estágios de uma solução específica; armazenamento das soluções	- 121
Figura 6.3 - Saída detalhada de uma determinada solução, para o seu primeiro estágio (primeiro edifício)	- 122
Figura 6.4 - Dados fornecidos ou assumidos pelo BOP	- 128
Figura 6.5 - Sumário das saídas obtidas com o uso do BOP	- 131
Figura 6.6 - Saída detalhada das características arquitetônicas - geometria, fachada e elevadores- de uma solução gerada pelo BOP	- 131

Figura 6.7 - Saída detalhada das características técnicas - estrutura e instalações de AVCA - de uma solução gerada pelo BOP	- 132
Figura 6.8 - Saída mostrando os custos de uma solução gerada pelo BOP	- 132
Figura 6.9 - Decomposição em árvores hierárquicas	- 136
Figura 6.10 - Árvore hierárquica de um projeto residencial envolvendo 72 requisitos	- 137
Figura 6.11 - Matriz de associações	- 140
Figura 6.12 - Correspondente árvore	- 142
Figura 6.13 - Grafos dos simplex 29 e 30	- 142
Figura 6.14 - Grafo formado pela união dos simplex 29 e 30	- 142
Figura 6.15 - Interpretação gráfica da árvore	- 144
Figura 6.16 - Matriz de interações	- 144
Figura 6.17 - Escalamento multidimensional aplicado ao arranjo físico de um escritório	- 147
Figura 6.18 - Resultado da aplicação do MDS ao problema do hospital	- 148
Figura 6.19 - Aplicações da computação na fase de Estudos Preliminares	- 151
Figura 6.20 - Saída do programa MAGIC sob a forma de análise hierárquica de grupo	- 157
Figura 6.21 - Saída do programa MAGIC sob a forma de diagrama de bolhas	- 157
Figura 7.1 - Estudo de declividade de terrenos com o auxílio do computador	- 166
Figura 7.2 - Linhas hidrodinâmicas de um terreno	- 167
Figura 7.3 - Sequência entre as fases do projeto	- 171
Figura 7.4 - Arranjo físico determinado a partir de uma matriz de requisitos de adjacências	- 182
Figura 7.5 - Técnicas de planificação de grafos	- 182
Figura 7.6 - Programa DOMINO, mostrando a ocorrência de um retorno na trilha, ou "backtracking", bem como a fixação de um ambiente	- 199
Figura 7.7 - Exemplo de avaliação do sombreamento com o programa SHADOWPACK	- 222
Figura 7.8 - "Passeio" em torno de um edifício em projeto localizado entre outros já existentes	- 235
Figura I.1 - Desenho de execução produzido pelo sistema Harness	- 260
Figura II.1 - Alteração no tempo dispendido pelo homem nas diferentes fases do projeto	- 288

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 - Comparação entre as fases do processo de projeto propostas para diferentes áreas	- 43
Tabela 4.2 - As etapas do projeto segundo alguns pesquisadores	- 49
Tabela 4.3 - Comparação entre as etapas propostas em diversas classificações do processo de projeto	- 51
Tabela 6.1 - Relação entre os cálculos da enumeração exaustiva e os da programação dinâmica	- 128
Tabela 6.2 - Correspondentes Simplex, onde o primeiro número identifica o simplex e o segundo dá o número de seus elementos	- 140
Tabela I.1 - Economia conseguida com o emprego do BDS	- 269
Tabela II.1 - Compressão no tempo de projeto obtida com um sistema de PAC	- 290
Tabela II.2 - Melhoria na produtividade de diversas atividades com o uso de sistemas de PAC, em comparação com os métodos manuais tradicionais	- 291

CAPITULO 1 - INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, tem se verificado uma rápida popularização do uso dos computadores. Esse fato é devido ao grande desenvolvimento tecnológico do setor, havido, principalmente, a partir da década de 70.

Essa evolução permitiu um aumento acentuado na eficiência dos equipamentos, refletida, sobretudo, na sua miniaturização e na diminuição de seus custos.

Hoje em dia, os computadores, ou, mais especificamente, os microcomputadores, são uma ferramenta de trabalho disponível no dia a dia de inúmeras profissões, inclusive naquelas ligadas ao projeto.

Nesse campo, existem sistemas desenvolvidos para atuar nas mais diferentes áreas: projetos eletrônicos, mecânicos, automobilísticos, navais, hidráulicos, aeroespaciais, aeronáuticos, etc, e no projeto do edifício.

Apesar do potencial que os computadores oferecem como auxílio no desenvolvimento de tais projetos, muitos profissionais os vêem ainda com uma certa desconfiança ou até uma certa hostilidade.

Essa postura reflete uma tendência que se verifica na sociedade como um todo: a de negar aquilo que não se conhece direito e, aparentemente, ameaça tomar o espaço do homem.

Assim, verifica-se um atraso no aproveitamento dos recursos que os computadores oferecem ao projeto do edifício, atraso este decorrente mais de um desconhecimento sobre as potencialidades do emprego da computação, que gera uma reação negativa, do que de uma característica própria deste tipo de projeto que inviabilize

o uso de tal ferramenta.

Dentro desse contexto, pode-se caracterizar o objetivo principal desse trabalho como sendo:

"Suprir a falta de informações na área do chamado Projeto do Edifício Assistido por Computador, conceituando seus principais aspectos e mostrando onde o computador pode ser utilizado como ferramenta no desenvolvimento do projeto do edifício".

Como se pode ver, o objetivo traçado é muito amplo, abarcando praticamente toda uma área específica do conhecimento. Por esse motivo, nem todos os assuntos pertinentes serão tratados com a profundidade ideal e muitos deles, inclusive, terão que ser suprimidos.

Dentro desse mesmo raciocínio, o tema será discutido apenas a nível de Anteprojeto, já que as aplicações no Projeto Executivo envolvem características computacionais próprias, que demandariam um trabalho específico.

Em linhas gerais, essa dissertação está subdividida em duas partes distintas.

A primeira delas, compreendendo os Capítulos 2 a 5, conceitua os principais aspectos relativos ao tema.

Assim, no Capítulo 2 se caracterizará o que seja Projeto Assistido por Computador e Projeto do Edifício Assistido por Computador, numa postura histórica e conceitual.

Sabe-se que um problema qualquer, para ser resolvido com o emprego de um computador, deve-se apresentar de forma sistematizada, já que só assim este pode solucioná-lo. Portanto,

também o projeto deve ser tratado com um enfoque sistêmico, o que será feito nos Capítulos 3 e 4.

Uma vez caracterizada a necessidade da sistematização do projeto, devem ser discutidas técnicas que possibilitem tal organização, visando-se o emprego dos computadores no processo. Isso será feito no Capítulo 5.

A segunda parte tem um caráter nitidamente prático; nela serão apresentadas e conceituadas as aplicações da computação já existentes na área, bem como identificar-se-ão outros aspectos passíveis de serem tratados com o auxílio dos computadores.

Aqui cabe novamente destacar-se que, devido ao grande número de exemplos apresentados, estes não serão tratados de forma completa. O que se pretende ao apresentá-los é somente definir um quadro de possíveis aplicações e indicar a bibliografia para futuros desenvolvimentos, mais aprofundados, de cada assunto.

Para tanto, esta parte desenvolver-se-á em dois Capítulos. No Capítulo 6 o projeto será tratado a nível de Estudos Preliminares, enquanto que no Capítulo 7, a nível de Anteprojeto.

Como já foi colocado, não serão discutidas as aplicações a nível de Projeto Executivo. No entanto, e procurando sanar essa omissão, no Anexo I serão apresentadas as principais características dos chamados **Sistemas Integrados de Projeto do Edifício Assistido por Computador**, os quais, via de regra, englobam o desenvolvimento do projeto como um todo.

Além disso, e uma vez que um dos objetivos desse trabalho é suprir a falta de informação na área, é fundamental que sejam apresentadas todas as referências bibliográficas a que se teve acesso, bem como que se discutam aspectos indiretamente relacionados ao assunto. Isso será feito no Anexo II, no qual

será desenvolvida uma rápida discussão e uma compilação bibliográfica das aplicações a nível de Projeto Executivo e daquelas desenvolvidas como mecanismo gerencial e administrativo de apoio ao projeto. O Anexo II tratará também de outros aspectos indiretamente relacionados às aplicações, como a implantação dos computadores nos escritórios de projeto e o ensino desse tema nas escolas de Arquitetura e Engenharia Civil.

Como comentário final a essa introdução, convém destacar que a realidade discutida ao longo do trabalho nem sempre é a brasileira. A maioria das experiências relatadas se insere, via de regra, num contexto onde o custo e a disponibilidade de mão de obra diferem em muito da que se verifica no Brasil. O mesmo se dá com os equipamentos, relativamente mais baratos e tecnicamente mais desenvolvidos e mais completos no exterior.

No entanto isso não implica que experiências semelhantes não possam ser desenvolvidas no Brasil, com igual ou maior sucesso.

CAPITULO 2 - COMPUTADOR E PROJETO

2.1 - Projeto Assistido por Computador - PAC

O campo do Projeto Assistido por Computador-PAC, ou Projeto Auxiliado por Computador, do inglês "Computer-Aided Design-CAD", surgiu no início da década de 60, quando se percebeu que os computadores podiam ser um equipamento útil nos problemas de projeto. Essa denominação foi dada por S.A.Coons, um pesquisador do MIT, em 1963 (1).

Devido a sua multidisciplinaridade e ao grande número de áreas às quais ele se aplica - estruturas, Mecânica, aeronáutica, naval, Arquitetura, etc, fica muito difícil dar ao termo PAC uma definição única.

Assim, a Conferência da "International Federation for Information Processing - IFIP" de 1972, sobre os princípios do PAC (2), define:

"PAC é uma técnica onde homem e máquina são reunidos de modo a formar uma unidade solucionadora de problemas, combinando as melhores características de ambos, de tal forma que essa unidade trabalhe melhor que cada um isoladamente, oferecendo também a possibilidade de desenvolver esse trabalho conjunto usando um tratamento multidisciplinar".

Encarnação & Schlechtendahl(1) dão a seguinte definição:

"PAC é uma disciplina que provê o necessário "know-how" nas áreas de "hardware" e "software", análise de sistemas e metodologia de Engenharia, de modo a se poder especificar, projetar, implementar, introduzir e utilizar os sistemas computadorizados em atividades de projeto".

Groover & Zimmers(3) afirmam:

"PAC pode ser definido como o uso de sistemas de computadores para assistir a criação, modificação, análise e otimização de um projeto".

Pelas definições anteriores percebe-se que o PAC pressupõe o uso do computador para auxiliar ou assistir o desenvolvimento de projetos, e não para fazer o projeto por si mesmo, implicando num trabalho conjunto homem e máquina.

O hiato de dez anos que ocorreu entre o surgimento comercial dos computadores - início da década de 50 - e a sua aplicação na área de projeto - início da década de 60 - é perfeitamente compreensível, pois não havia então tecnologia de equipamentos e de programação, nem a fundamentação teórica para o campo havia se consolidado. Assim, os principais eventos que acabaram desencadeando o surgimento do PAC foram:

- 1) Desenvolvimento dos equipamentos, tanto computadores quanto periféricos.

No início, a tecnologia da computação era dominada por poucos indivíduos, que conheciam de forma profunda não só as linguagens de programação como os próprios equipamentos. Isso os habilitava a trabalhar diretamente na máquina, numa relação bastante próxima.

Após essa primeira etapa, os computadores evoluíram de forma muito acentuada e passaram a ser comercializados no mercado. O seu acionamento continuou complexo, necessitando uma especialização; passaram então a existir profissionais treinados para operá-los. O custo dos equipamentos permaneceu bastante elevado, resultando num alto custo horário de utilização.

Isso obrigou a que a utilização dos computadores deixasse de ser feita numa relação direta do homem com a máquina, que implicava num alto gasto de tempo em cada processamento. A solução foi otimizar o tempo de seu uso através do estabelecimento do processamento em lotes, ou "batch". Nesse tipo de processamento, cada usuário fornecia os dados relativos ao seu problema já perfurados em cartões ou em fitas. Esses dados eram lidos e processados em função de uma prioridade pré-estabelecida, ou seja, o usuário entregava seus programas para que fossem "rodados" e vinha buscar o resultado algumas horas, ou mesmo dias, depois, tempo esse função da sua prioridade e do volume de serviço da máquina. Ele não participava diretamente do processamento.

Com o tempo, o modo de interação homem e máquina novamente se modificou, e o operador passou a poder "conversar" diretamente com a máquina.

Esse novo tipo de processamento, chamado de processamento em linha, ou "on-line", facilitou as aplicações do PAC. Passou a haver um compartilhamento ("time-sharing") de um computador central, ao qual se ligava uma rede ("network") que continha uma série de terminais remotos. Com esse arranjo, atendia-se a uma série de usuários (processamento multiusuário) praticamente de modo simultâneo. Assim, o custo horário do computador passou a ser rateado entre os diversos usuários.

Quanto aos periféricos, foi fundamental o desenvolvimento dos seguintes equipamentos:

- monitor de vídeo (1951);
- traçadora gráfica ou "plotter" (final da década de 50);
- caneta-de-luz, caneta ótica ou "light pen" (final da década de 50).

- 2) Desenvolvimento e popularização das linguagens de programação de alto nível, no final da década de 50 (por exemplo, o FORTRAN, primeira linguagem de alto nível, foi desenvolvido em 1957).
- 3) Fabricação da primeira máquina industrial de operação totalmente automatizada, que se destinava à cunhagem de moedas (MIT, 1952). O computador tornava-se assim uma ferramenta participante do processo produtivo industrial.
- 4) Surgimento do primeiro sistema gráfico através do qual o homem trabalhava com a máquina de forma interativa, o **SKETCHPAD**, desenvolvido no MIT, em 1963, por I.E. Sutherland, que originou o campo da **Computação Gráfica** ("Computer Graphics"). O **SKETCHPAD** mostrava a potencialidade que o uso de um computador "em linha", associado a mecanismos de entrada e saída de dados, oferecia à área de projeto.

Os principais recursos que o **SKETCHPAD** permitia eram:

- uso da caneta-de-luz como equipamento de entrada de dados;
- uso do monitor de vídeo como equipamento de saída de dados;
- uso de instruções específicas pré-programadas para o traçado de elementos geométricos fundamentais, como retas, arcos de circunferências, etc;
- montagem de arquivos com elementos gráficos quaisquer, que podiam ser resgatados ou alterados.

Uma melhor caracterização do programa pode ser encontrada nas referências (4), (5), (6) e (7).

- 5) Desenvolvimento de teorias sobre a sistematização de projetos (ver Capítulos 3 e 4).

No entanto o início do uso dos computadores na área de projeto não se deu somente devido a aspectos técnicos, como os anteriormente apresentados. Na verdade esses aspectos surgiram para atender a uma demanda crescente na área do projeto de Engenharia, principalmente em casos ligados à indústria. De fato, o primeiro sistema gráfico de uso comercial foi desenvolvido em conjunto pela IBM e pela General Motors, em 1964. Trata-se do **DAC-1**, "Design Augmented by Computer" (ver Anexo I). Em 1965, foi desenvolvido um segundo sistema, o **GRAPHIC 1**, pelos laboratórios da indústria norte-americana de telefones Bell, o primeiro a utilizar o conceito de uma "estação de trabalho" ligada a um computador central (ver item 5.4.1).

Como se vê, a área do **PAC** surgiu praticamente junto com a da **Computação Gráfica**, a ponto de até hoje haver uma certa confusão entre os termos **Projeto Assistido por Computador-PAC** ("Computer-Aided Design-CAD") e **Desenho Assistido por Computador-DAC** ("Computer-Aided Drafting-CAD"). Essa confusão acontece também pelo fato da linguagem gráfica ser a preponderante no projeto (*).

No entanto os dois termos definem áreas diferentes. O **DAC** é uma área da **Computação Gráfica** que se preocupa com o traçado e manipulação de desenhos através do computador. O **PAC** usa o **DAC** como ferramenta, e depende, portanto, da sua evolução, mas usa também outras ferramentas e envolve outros conceitos, conforme está se discutindo ao longo desse trabalho.

Para se eliminar essa confusão de nomes, está-se usando o termo "**Computer-Aided Engineering-CAE**", em vez de "Computer-Aided Design-CAD". O termo "Engineering" é de difícil tradução para o Português, pois engloba desde a fase anterior ao projeto, até a

(*) Em inglês existe também o termo "Computer-Aided Design and Drafting-CADD", que não será aqui utilizado.

de manufatura ou execução da obra. Assim, é preferível não traduzir o termo CAE por Engenharia Assistida por Computador, continuando-se a utilizar os termos PAC e DAC; o fato de que em Português essas abreviações não são iguais, reforça essa utilização.

Antes de se falar de forma específica do PAC aplicado ao projeto do edifício, é importante discutir-se uma outra característica geral que o diferencia, de certa forma, dos demais projetos.

Trata-se de uma relação que Gott(8) chamou de "economia do projeto". Segundo ele, os custos relativos à produção de um determinado objeto industrializado, desde o seu projeto até a sua manufatura, crescem no sentido ilustrado na Figura 2.1.a, enquanto que os benefícios ou economias obtidas com as decisões tomadas em cada uma das fases crescem em sentido contrário, conforme ilustra a Figura 2.1.b.

Pela análise da Figura 2.1, pode-se concluir que:

- 1) Apesar dos custos do projeto serem relativamente baixos é nele que são tomadas as decisões que trarão maior economia ao sistema como um todo.
- 2) Nesse caso, um investimento em PAC terá um retorno muito rápido, já que este vai melhorar a eficiência das decisões de maior benefício econômico, sem serem necessários pesados investimentos em relação ao todo.

Este fato é particularmente válido em empresas cuja atividade engloba tanto o projeto quanto a manufatura. Por exemplo, no Brasil, já existem implantados sistemas de PAC em empresas como: Villares, Embraer, Metal Leve e Engesa (9).

a) Custos relativos

b) Efeitos das decisões

Figura 2.1 - A "Economia do Projeto" (B).

Apesar desse modelo proposto por Gott não valer para todos os projetos de produtos manufaturados, já que em alguns casos a importância das decisões na fase de manufatura é maior, ele serve para mostrar como, no projeto do edifício, pode ocorrer uma situação semelhante, mas de consequências totalmente diversas.

Nesse caso, pode-se dizer que acontece uma relação próxima à da Figura 2.1.a, quando se considera a relação entre os custos do projeto e da obra, já que o primeiro representa cerca de 6% a 7% do segundo. Por outro lado, apesar do efeito das decisões na economia do sistema como um todo se processar conforme a Figura 2.1.b, o benefício resultante não se reflete na fase de obra ou manufatura, como no caso da indústria, mas sim na operação do edifício. Isso não implica em que uma melhoria no projeto não signifique uma economia na obra, mas sim que uma melhoria no projeto pode significar muito maior economia nas fases posteriores à realização da obra - uso, conservação e manutenção. Acontece que, via de regra, essa economia não vai para aquele que investiu em PAC, e a sua implantação perde um dos maiores atrativos econômicos.

Schijf & Maver(10) apresentam os dados de um estudo norte-americano segundo o qual por volta de 75% a 95% dos custos da vida útil de um edifício estão diretamente relacionados com o tempo gasto na elaboração do seu projeto.

O que se precisa ter em mente é que quando se fala em implantar um sistema de PAC não se deve limitar a análise aos aspectos econômicos que se refletem no ato de projetar em si, mas estendê-la ao empreendimento como um todo, considerando, inclusive, a fase após o término da obra.

2.2 - Projeto do Edifício Assistido por Computador - PEAC

Como visto no item anterior, houve uma série de eventos técnicos e econômicos que conduziram ao surgimento do campo hoje chamado de **PAC**; este acabou se "especializando" nos diversos tipos de projeto, encontrando-se atualmente em diferentes graus de desenvolvimento.

Assim, nas áreas onde o benefício econômico é imediato, e também naquelas onde o ato de projetar não envolve fundamentalmente aspectos subjetivos, ele se encontra bem desenvolvido. É o caso, por exemplo, das áreas aeronáutica, eletrônica, de estruturas, aeroespacial, automobilística, mecânica pesada, indústria de armamento, etc.

A área do projeto do edifício, sobretudo no que se relaciona com o projeto de Arquitetura, é ainda uma das mais atrasadas.

Convém aqui destacar-se o fato do **Projeto do Edifício Assistido por Computador-PEAC**, como é considerado internacionalmente, se referir principalmente ao projeto de Arquitetura, sendo chamado tanto de "**Computer-Aided Building Design-CABD**", como de "**Computer-Aided Architectural Design-CAAD**".

Os principais eventos que levaram ao seu desenvolvimento foram:

- 1) As pesquisas de C.Alexander nos EUA, especificamente sobre sistematização de projetos arquitetônicos, que acabaram conduzindo ao programa **HIDECS2** (1962) (ver item 6.3.1).
- 2) Estudos sistematizados sobre o problema do arranjo físico iniciados pelos programas **CRAFT** e **COPLANNER**, nos EUA, e pelo trabalho de **Whitehead & Eldars**, na Inglaterra, todos em 1964 (ver Capítulo 7).

- 3) Realização da Conferência sobre Computação e Arquitetura - "Architecture and the Computer - First Architectural Center Conference" - Boston - 1964.
- 4) Desenvolvimento de aplicações isoladas nas áreas de: estruturas, quantificação e orçamentos, redes de controle tipo PERT e CPM, etc.
- 5) Realização de um curso em Oxford sobre computação, especificamente para arquitetos (1963).

A área do PEAC conta, portanto, com cerca de 20 anos, durante os quais o entusiasmo e o empenho de profissionais e de empresas no seu desenvolvimento passou por pontos altos e baixos, conforme pode ser visto no relato feito a seguir, baseado numa divisão temporal proposta por Gero(11):

- A década do desenvolvimento (1965 - 1975).
- O período de consolidação (1976 - 1980).
- O presente.

Além dessa, outras publicações trazem a história do PEAC, dentre as quais se destacam as (10), (12), (13) e (14).

2.2.1 - A década do desenvolvimento (1965 - 1975)

Os eventos anteriormente descritos, que desencadearam o desenvolvimento das áreas do PAC e do PEAC, aliados a uma conjuntura econômica propícia na área da indústria da construção civil, tanto nos EUA quanto na Europa, permitiram a formação de um quadro técnico-econômico favorável ao desenvolvimento de aplicações do computador no projeto do edifício. Nessa época, havia uma grande expectativa de que os computadores iriam transformar de forma substancial a profissão dos projetistas,

como já tinha ocorrido em outras áreas, e que esta nova tecnologia logo estaria disponível em qualquer escritório de projeto.

Para se entenderem as evoluções nesse período, é importante analisar os seguintes aspectos:

- aplicações no campo do arranjo físico;
- desenvolvimento dos sistemas gráficos;
- aplicações diversas na área do projeto;
- surgimento dos Sistemas Integrados de PEAC;
- pesquisas e trabalhos técnicos desenvolvidos na área.

No campo do arranjo físico assistido por computador, também chamado de planejamento espacial ou síntese espacial, houve um avanço na formulação matemática, e foram desenvolvidas algumas aplicações significativas.

As principais delas, que serão discutidas no Capítulo 7, são:

- **CORELAP** - "COmputerized RElationship LAYout Program" - EUA - 1967.
- **ALDEP** - "Automatic Layout DEsign Program" - EUA - 1967.
- **IMAGE** - EUA - 1968.
- **GSP** - "General Space Planning" - EUA - 1971.
- **DOMINO** - EUA - 1972.
- **DPS** - "Design Problem Solver" - EUA - 1975.

Essas aplicações tiveram ainda maior impulso pelo uso de saídas gráficas, cujos equipamentos, por volta do início dos anos 70, começaram a apresentar uma redução de preço, tornando-se acessíveis para as empresas de médio a grande porte.

Os sistemas gráficos evoluíram, sendo que em 1966 surgiu o primeiro desenvolvido especificamente para ser utilizado no

projeto de arquitetura (W.Newman - Imperial College, Londres, 1966). Suas características básicas eram:

- arquivo de elementos gráficos padrões (paredes, pisos, louças sanitárias, etc);
- cálculo de áreas;
- quantificação e tabulação de diversos materiais, componentes e elementos construtivos;
- cálculo de perdas térmicas;
- cálculo de iluminação natural e artificial.

Mais informações sobre o trabalho de Newman são encontradas nas referências (13) e (15).

Foi nesse período que começaram a surgir aplicações diversas em áreas mais técnicas associadas ao projeto do edifício. Os principais campos então desenvolvidos foram:

- estudo de viabilidade econômica de empreendimentos;
- o projeto frente às restrições legais (códigos, regulamentações, leis, etc);
- quantificação e orçamentação;
- projeto de elevadores;
- projeto de iluminação natural e artificial;
- cálculos térmicos e energéticos.

Os principais programas então desenvolvidos foram (ver Capítulo 6 e 7):

- **BOP** - "Building Optimization Program" - EUA - 1967 (estudo de viabilidade).
- **CLUSTER** - EUA - 1967 (estruturação de problemas).
- **PACE** - "Package for Architectural Computer Evaluation" - Escócia - 1971 (avaliações diversas).
- **AIR-Q** - Escócia - 1973 (circulações).

- **PHASE** - "Package for Hospital Appraisal, Simulation and Evaluation" - Escócia - 1973 (avaliações de projetos hospitalares).
- **NBSLD** - EUA - 1973 (avaliações térmicas).

Inicialmente esses programas foram desenvolvidos de maneira isolada e eram difíceis de ser usados, quase não apresentando saídas gráficas. Depois percebeu-se que muitos deles poderiam ser integrados, de forma que a saída de um pudesse ser usada como entrada, ou simplesmente num outro programa, ou que uma mesma base de dados comum fosse utilizada em diversos programas. Surgiram, então, os **Sistemas Integrados de PEAC**, cujas primeiras aplicações foram desenvolvidas ainda no fim da década de 60.

Os principais sistemas desse período foram (ver Anexo I):

- **ICES** - "Integrated Civil Engineering Systems" - EUA - 1967.
- **WSCC** - "West Sussex County Council" - Inglaterra - 1968.
- **HARNESS** - Inglaterra - 1969.
- **ARK-2** - "Architectural Kinetics - Man and Machine" - EUA - 1970.
- **SSHA** - "Scottish Special Housing Association" - Escócia - 1971.
- **OXSYS** - "Oxford System" - Inglaterra - 1972.
- **CEDAR** - "Computer-aided Environmental Design Analysis and Realisation" - Inglaterra - 1972.
- **SPACES 1 a 3** - Escócia - 1972.

Uma outra característica desse período foi o aumento crescente da curiosidade despertada pelo assunto junto ao meio técnico.

Esse fato pode ser observado pelo número de conferências havidas na área:

- Computer Graphics in Architecture and Design - Yale University - 1969.
- Kentucky Workshop on Computer Application to Environmental Design - Kentucky - 1970.
- Computer-Aided Architectural Design - Rotterdam - 1971.
- International Conference on Computer in Architecture - University of York - 1972.
- First International Conference on Computer in Engineering and Building Design - CAD74 - London - 1974.

Além disso foram publicados importantes livros sobre o tema:

- Computer applications in architecture and engineering - G.N.Harper - New York - 1968.
- Computers in architectural design - David Campion - London - 1968 (16).
- The architecture machine - Nicholas Negroponte - Cambridge - 1970 (17).

Deu-se também, pela primeira vez, a introdução da ciência da computação num programa de graduação de um curso de Arquitetura (Universidade de Sydney - 1967)(11).

Apesar do impulso dado pelos fatores descritos anteriormente, no fim desse período o computador ainda não se tinha transformado numa ferramenta presente nos escritórios de projeto de edifícios, frustrando as expectativas anteriores. Isso pode ser explicado por uma série de fatos.

O primeiro deles relacionava-se com os equipamentos, nessa época ainda relativamente lentos e com capacidade de cálculo restrita; além disso, o custo dos equipamentos gráficos era muito elevado,

e estes apresentavam ainda restrições de ordem técnica - as traçadoras gráficas eram muito lentas e de pequeno porte, obrigando o desmembramento de desenhos maiores, e a resolução gráfica dos vídeos era muito precária. Em última análise, o benefício econômico obtido com investimentos na área era questionável, mesmo se tratando de aplicações não-gráficas.

Um outro fator ligado aos equipamentos, que de certa forma prejudicou a consolidação do uso dos computadores na prática profissional, foi a dificuldade quanto ao seu uso. Eles normalmente se localizavam num local distante de onde os projetistas trabalhavam, e havia uma certa barreira psicológica, ou até mística, ao seu redor. O computador era visto como um ser superior, uma coisa para "experts".

Além disso, normalmente eram feitos processamentos em lotes, o que contribuía para esse distanciamento, bem como dificultava o uso dos programas.

Um outro aspecto negativo foi a pouca afinidade entre os que desenvolviam as aplicações e aqueles que efetivamente as utilizavam, tornando-as pouco práticas e de interesse restrito. Por exemplo, os principais sistemas desenvolvidos tinham uso dirigido (escolas, hospitais, lojas de departamentos), as soluções produzidas eram muito simplificadas e quase sempre voltadas para órgãos públicos, além do que eram difíceis de operar, pois a interação homem e máquina ainda era problemática. Em suma, havia poucos programas disponíveis de real interesse, e o investimento em tempo e dinheiro não compensava o retorno obtido.

Os descréditos e as frustrações do fim desse período podem ser encontrados de forma contundente no artigo de Vladimir Bazjanac, "As Promessas e os Desapontamentos do Projeto Auxiliado por Computador" (18). Nele, Bazjanac, que era então um dos líderes da

pesquisa nessa área na Universidade da Califórnia, em Berkeley, bem como utilizava o PEAC profissionalmente, relata de forma muito sincera como ele se transformou de um "crente" das potencialidades da área em um "descrente" (sic).

Num outro artigo do mesmo livro, David Sides(13), durante quatro anos o responsável pelo departamento de computação de um escritório de arquitetura líder em pesquisa na área do PEAC, o Skidmore, Owings & Merrill, no seu escritório de São Francisco - EUA, diz:

"O desenvolvimento das aplicações do computador na Arquitetura tem sido um movimento fragmentado, composto por trabalhos individuais e muito dispersos, sem um mínimo de coordenação, sem um objetivo maior, sem uma fonte de encorajamento paternal, sem um julgamento de eficiência, e sem um local que centralize as informações obtidas. O resultado tem sido frequentes reinvenções da roda, ardentes momentos de satisfação e constantes frustrações, mas sempre revelando um envolvimento pessoal".

2.2.2 - O período de consolidação (1976 - 1980)

Pelo que foi visto no item anterior, nos meados da década de 70 a possibilidade da aplicação dos computadores no projeto do edifício entrou em descrédito, resultado sobretudo da frustração de uma expectativa gerada dez anos antes.

No entanto os computadores continuaram a evoluir de forma muito rápida e, num curto espaço de tempo, começaram a fornecer recursos que permitiram uma inversão dessa situação. Houve uma queda muito grande no seu custo, de cerca de dez vezes, sobretudo dos equipamentos gráficos, aliada a um aperfeiçoamento técnico, com um aumento acentuado da capacidade gráfica e de eficiência.

Os gráficos apresentados na Figura 2.2 ilustram esse fato (19).

Além disso, passou-se cada vez mais a utilizar o processamento "em linha", sobretudo através dos mini e microcomputadores, que ofereciam ao projetista recursos semelhantes aos dos de grande porte.

Continuaram a se desenvolver aplicações nas áreas ligadas à engenharia e, principalmente, à indústria.

Nesses setores, os fatos marcantes desse período foram (1):

- sistema GOLD, para projeto de máscaras de circuito impresso (RCA-1972);
- aprimoramento do sistema ICES (MIT-1976) (ver Anexo I);
- desenvolvimento da teoria dos elementos finitos, bem como sua aplicação em diversos programas;
- desenvolvimento da Computação Gráfica de forma muito intensa, com a realização de uma série de pesquisas e congressos, bem como a publicação de livros e artigos diversos;
- estudo realizado pela indústria aeroespacial norte-americana Lockheed demonstrando a viabilidade econômica das aplicações do PAC na área (1972).

Todos esses fatores, bem como uma mudança de postura no desenvolvimento dos programas na área do PEAC, acabaram levando ao inevitável reaquecimento da área, no final da década de 70. Os programas passaram a ser feitos por profissionais de projeto, tornando-se menos exploratórios, mais práticos e mais bem escritos e documentados, com o consequente amadurecimento do setor.

Figura 2.2 - Desenvolvimento dos equipamentos de computação:

- a) Desempenho dos computadores ao longo do tempo.
- b) Custo de uma memória de um bit ao longo do tempo, em centavos de dólar.
- c) Preço, em dólares, de cada porta lógica ao longo do tempo (uma porta lógica corresponde a uma unidade lógica do computador)(19).

Foi nesse período que se iniciou o uso, de forma profissional, dos sistemas gráficos computadorizados nos escritórios de projeto, embora ainda num número pequeno de empresas.

Realizaram-se diversas conferências específicas da área - CAD-76(20), CAD-78, CAD-80 e PARC-79 - e foram publicados alguns importantes livros:

- **Spatial synthesis in computer-aided building design** - C.M.Eastman (ed.) - London - 1975(21).
- **Computer-aided architectural design** - W.J.Mitchell - New York - 1977(14).
- **Computer applications in architecture** - J.S.Gero (ed.) - London - 1977(22).
- **The automated architect** - N.Cross - London - 1977(23).

Formou-se a primeira turma de um curso de computação em Arquitetura, na Universidade de Sydney, em 1978 (11).

2.2.3 - O presente

A situação presente acentua uma tendência do período anterior, a de se ter uma drástica redução nos preços e um aumento acentuado na eficiência dos equipamentos, sobretudo dos mini e microcomputadores (ver Figura 2.2). Esse fato, aliado a uma popularização das linguagens de alto nível, permite a elaboração de programas mais úteis e de fácil utilização - diminuem-se as restrições impostas pelo número limitado de memórias e pelos dispositivos de entrada e saída de dados, que tornam os processamentos cada vez mais conversacionais.

Tem sido dada maior importância aos programas de apoio, como é o caso da produção de documentações e das análises de custos, sendo que programas processadores de textos, as planilhas eletrônicas e

os programas bancos de dados já são habituais nos escritórios de projeto. Na Europa e nos EUA, já existe um mercado de "software" para a área, com anúncios em revistas e jornais.

A edição mais recente do catálogo internacional de programas específicos para a indústria da construção - "International Directory for the Building Industry - Computer Programs for the Building Industry"(24), de 1984, traz a descrição de nada menos que 1731 aplicativos voltados para a área.

A postura defensiva dos arquitetos e engenheiros inverteu-se definitivamente, e hoje eles começam a atuar de forma intensa, procurando detectar as possíveis aplicações ainda não desenvolvidas, e mesmo aprimorar as já existentes.

Mesmo no Brasil tem-se acompanhado o crescente interesse que o assunto desperta, através não só de publicações em revistas da área de edificações, como também através da nossa experiência profissional e da nossa prática didática, em cursos de especialização ministrados especificamente para arquitetos, na Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia-FDTE (1983, 1984 e 1985)(25)(26) e no Instituto dos Arquitetos do Brasil-IAB (1984)(27), juntamente com o Eng. Luiz Bandeira de Mello Laterza.

Um outro aspecto ocorrido já nos anos 80 foi a popularização dos sistemas gráficos, que se tornaram acessíveis a firmas de médio porte, tendo sido desenvolvidos programas mesmo para microcomputadores, que agora apresentam recursos de entradas e saídas de dados e capacidade de memória semelhantes aos minicomputadores, de uso tradicional nessas aplicações.

2.2.4 - Comentários

É importante destacar que essas colocações se limitaram aos eventos que se deram no exterior, sobretudo na Inglaterra e nos EUA. Isto porque esses países são os centros de maior desenvolvimento da área. No entanto, outros merecem destaque, sobretudo a Austrália, o Japão, a França e a Alemanha Ocidental e, ainda, a União Soviética, a Itália, a Espanha, a Dinamarca e a Holanda.

Um outro problema que conduz a essa limitação é a escassez de trabalhos publicados que relatem as pesquisas nesses demais países, o que vai se refletir nos Capítulos 6 e 7, nos quais serão apresentadas aplicações práticas desenvolvidas.

CAPITULO 3 - O PROJETO DO EDIFICIO

3.1 - Introdução

No Capítulo anterior, procurou-se caracterizar o que sejam os campos do:

- Projeto Assistido por Computador - PAC.
- Projeto do Edifício Assistido por Computador - PEAC.
- Desenho Assistido por Computador - DAC.

Por ele, pode-se perceber que os equipamentos, sobretudo os que permitem uma melhor interação homem e máquina, são fundamentais. E também básico o estabelecimento de um processamento "em linha", com uso exclusivo (micros e minis) ou compartilhado (redes ligadas a minis ou a computadores de grande porte).

Porém os equipamentos não são tidos como o único fator preponderante para o sucesso das aplicações. Também o são os programas, que devem ser capazes de resolver de forma satisfatória os problemas de projeto.

Assim, como os objetivos desse trabalho são conceituar o campo do PEAC e discutir suas aplicações, é fundamental que seja mais bem caracterizado o que é e o que envolve o projeto do edifício, o que será feito neste Capítulo.

3.2 - Projeto : Conceituação

O termo projeto engloba muitos conceitos, o que torna a sua definição uma tarefa bastante difícil.

Para os leigos, quando se fala no "projeto de um automóvel" ou no "projeto de uma casa", a idéia que vem à mente é a de um conjunto de desenhos a partir do qual o automóvel ou a casa podem ser construídos. Indo um pouco mais além, o projeto é entendido como o resultado do trabalho dos projetistas, engenheiros e arquitetos, sendo que isso envolve um empenho intelectual desses profissionais.

Essas idéias estão relacionadas ao que Marques(28) chamou de conceito estático de projeto:

"O conceito estático refere-se a Projeto como um produto, constituído de elementos gráficos e descritivos, ordenados e elaborados segundo uma linguagem apropriada visando atender às necessidades da fase do empreendimento que lhe sucede que é a fase da execução, implantação ou, mais particularmente, de obra".

Sabe-se, porém, que o termo projeto representa muito mais do que esse conjunto de desenhos e elementos descritivos feitos por profissionais capacitados. Nesse sentido, ele está relacionado ao que Marques chamou de conceito dinâmico de projeto:

"O conceito dinâmico de Projeto confere-lhe um sentido de processo, através do qual são produzidas soluções para os problemas que deram causa ao Empreendimento e que justificam o Investimento. O Projeto, segundo seu conceito estático é, na realidade, o produto final desse processo".

Porém esses dois conceitos não traduzem todos os aspectos do termo num sentido mais amplo, como aqui se pretende discutir.

Por exemplo, o termo está sempre associado às palavras inovação, criação e invenção. No entanto estas não estão identificadas apenas com o ato de projetar, mas também com o trabalho desenvolvido pelos artistas e pesquisadores de uma maneira geral.

Assim, não é o aspecto inovador, ou o de trabalhar com algo que ainda não existe na realidade, que caracteriza o projeto. É preciso algo mais.

São duas as facetas que completam a conceituação do termo e o distinguem da Arte e da Ciência.

A primeira delas é o aspecto temporal, conforme apresenta Jones(29) (o grifo é nosso):

"Artistas e cientistas atuam num mundo físico presente (não importando se real ou simbólico)... Por outro lado, os projetistas estão, inegavelmente, limitados a tratar como real aquilo que só existe num futuro imaginado e têm que especificar caminhos mediante os quais os objetivos previstos possam um dia existir".

No entanto essa não é a principal faceta que distingue o projeto das demais atividades criativas. Essa distinção se dá fundamentalmente, pelos diferentes agentes que dispararam cada uma.

A razão básica que faz com que os projetistas se sintam estimulados a projetar é uma necessidade que precisa ser atendida, que se torna o objetivo a ser alcançado.

Já os cientistas são motivados por uma curiosidade em descobrir a razão de ser da natureza, enquanto que os artistas são estimulados por uma satisfação pessoal ou da sociedade.

Pode-se então caracterizar projeto como sendo um processo através do qual são geradas idéias como resposta a certas necessidades.

Essa caracterização ainda não está completa, na medida em que uma idéia só atenderá a uma necessidade se ela for passível de ser

posta em prática, ou seja, se ela for viável. Para tanto, ela deve atender a um conjunto de restrições que atuam sobre o universo das possíveis soluções.

Quanto à viabilidade da solução, Gupta & Murthy(30) afirmam:

"Deve ficar claro que projetar é muito mais do que ter uma brilhante idéia. Uma idéia não vale nada se não for posta em uso para servir ao homem e à sociedade. O projeto deve tratar a idéia até o seu desenvolvimento numa forma material, ou ao menos demonstrar, com razoável certeza, que a idéia é viável".

Esse aspecto distingue bem os projetistas dos cientistas e artistas, já que estes não estão primordialmente preocupados com a exequibilidade dos seus intentos.

Essas restrições podem se apresentar sob a forma de recursos que estejam disponíveis e de condições que devam ser obedecidas.

Os recursos podem ser de várias naturezas, como financeiros, humanos, materiais, de equipamentos, ou ainda conhecimentos técnicos que possam ser utilizados, bem como o tempo disponível para se chegar à solução do problema.

As condições a serem obedecidas podem ser as mais diversas, e procuram caracterizar com maior precisão aquilo que se quer atingir.

Uma vez ocorrendo essa limitação no universo das soluções, aparece um novo conceito associado ao de projeto, o de "otimização".

O termo "otimização" aparece entre aspas porque ele é aqui entendido não como a busca da melhor de todas as soluções, mas sim da melhor frente aos recursos disponíveis. Por exemplo, o

tempo é quase sempre um recurso escasso. Assim, a solução "ótima" para um determinado problema pode não ser aquela que melhor se aproxime dos objetivos traçados, atendendo às condições impostas, mas sim aquela que faça isso de maneira satisfatória, e num prazo compatível com o tempo de que se dispõe.

Feitas essas colocações, têm-se as seguintes idéias-chaves ligadas ao termo projeto:

- inovação, criação, invenção;
- tempo futuro;
- atendimento ao(s) objetivo(s);
- recursos e condições existentes;
- "otimização" frente às restrições.

Além disso, e conforme já foi expresso, o projeto não deve ser entendido apenas pelo seu conceito estático, mas sim como um processo composto por uma série de fases que devem ser vencidas para se atingirem os objetivos definidos.

Assim, pode-se melhor caracterizar o termo projeto segundo :

"Projeto é o processo através do qual geram-se idéias como resposta a certas necessidades e define-se entre elas a melhor frente às restrições impostas. Essa é, então, desenvolvida em elementos gráficos e descritivos que permitam a sua execução prática".

3.3 - A Importância da Arquitetura no Projeto do Edifício

No item anterior, o projeto foi tratado de maneira geral, e não especificamente na área do edifício.

Para se caracterizar melhor esse tipo de projeto, é fundamental se referir de forma mais detalhada ao projeto de arquitetura, já que é ele a espinha dorsal dos demais projetos, que são chamados de "especializados", ou mesmo "complementares".

Portanto, e num nível compatível com os objetivos desse trabalho, é necessário definir-se o que seja Arquitetura, ou o que ela objetiva. Segundo Badra(31), existem dois conceitos, um referindo-se ao seu passado e outro ao seu presente.

O conceito passado refere-se à Arquitetura como sendo o conjunto de obras concebidas e construídas, da origem dos tempos até nossos dias. Está, portanto, relacionado com o resultado da Arquitetura, ou seja, com a obra pronta.

O conceito presente, mais amplo, relaciona-se com a Arquitetura em si mesma, caracterizando-a como *"uma arte e uma ciência, indissoluvelmente ligadas, visando a satisfação de objetivos e necessidades essenciais da Humanidade, podendo esses ser materiais, sociais ou psicológicos"*.

O mesmo autor apresenta uma série de outras definições, dentre as quais destacam-se:

- *"Função, Estrutura, Forma"* (Vitruvius).

- *"A Arquitetura é o estabelecimento, com materiais brutos, de relações emocionantes. A construção sustenta, a arquitetura emociona"* (Le Corbusier).

- *"E a arte de construir, com firmeza e com beleza, os edifícios; estreitamente relacionada com a vida do homem, ela exprime suas emoções e aspirações"* (American Institute of Architects).

- "É a arte de fazer coincidir conteúdo e forma de uma civilização" (William Lescate).

Já Alencar(32) apresenta a seguinte definição:

"Arquitetura é a organização de espaços, para a existência ou desenvolvimento de determinadas funções".

As definições anteriores permitem perceber que se pode encarar a Arquitetura sob diferentes prismas, ora destacando sua faceta artística, ora a funcional e técnica, ora a histórico-social.

Portanto o objetivo da Arquitetura não se restringe apenas a criar abrigos, mas sim fazer isso de forma a atender a uma série de agentes presentes num contexto social, econômico, histórico, psicológico, comportamental e técnico.

Ela surge, portanto, como resposta às ações desse contexto. Nesse sentido, Rapoport(33) diz:

"... os propósitos da arquitetura vão além da função abrigo, de modificar o microclima. A arquitetura pode prever ambientes para certas atividades; ela pode lembrar às pessoas quais são essas atividades; pode significar força, "status" ou privacidade; pode expressar e apoiar crenças cosmológicas; pode comunicar informações; ajuda a estabelecer identidade individual ou de grupo e codifica sistemas de valores. Ela também pode separar domínios e diferenciar entre o aqui e o ali, o sagrado e o profano, o homem e a mulher, frente e fundo, particular e público, habitável e inabitável, etc".

Também Badra(31) coloca que:

"Arquitetura é a linguagem da Humanidade através dos tempos, na história dos povos. Criada para uma certa época, fruto mesmo

dessa época, decorre das condições materiais, sociais e espirituais, conforme as leis que regem e limitam as atividades humanas em todos os lugares; traduz o espírito, o gosto e as necessidades da época em que nasceu, constituindo, em última análise, a expressão material da alma e do sentimento dos povos".

Frente a essas características, o trabalho do arquiteto assume contornos que, de certa forma, o diferenciam do trabalho dos demais projetistas.

Assim, Badra afirma ainda:

"... O arquiteto moderno deve, portanto, ser cientista, pois lhe cabe estudar os problemas com espírito analítico, propício à invenção, experimentando e provando novas soluções; deve ser psicólogo, porque precisa dar ao cliente algo mais adequado do que uma simples máquina de morar; precisa conceber o projeto com disposição boa e aprazíveis espaços, para o conforto, a saúde e a felicidade dos moradores. Precisa possuir senso de humanidade, para projetar uma habitação onde a vida, físico-psicologicamente, possa ser usufruída com prazer; deve ser artista, porque a Arquitetura é Arte, e como tal, deve expressar um sentimento emotivo. A ciência estipula a durabilidade e segurança em função dos processos construtivos, a arte determina a beleza das formas".

E completa:

"... a tendência da arquitetura atual deve ser conceber e realizar um obra estética com base científica, tendo em vista que os valores estéticos não devem ser absorvidos pelos valores técnicos".

Com base nessas colocações, percebe-se quão complexo é o projeto do edifício: além de envolver os aspectos técnico-científicos

inerentes a qualquer projeto, também está sujeito a uma série de condições de caráter subjetivo, dificilmente traduzíveis em termos racionais e lógicos.

Essa característica, como se verá ao longo desse trabalho, em muito influenciará o desenvolvimento das aplicações da computação na área.

3.4 - Metodologia de Projeto

3.4.1 - Projeto e investigação científica

Conforme visto anteriormente, o projeto pode ser entendido como um processo através do qual são desenvolvidas idéias como respostas a certas necessidades, definindo-se qual a ideal frente às restrições impostas.

Dentro desse contexto, o projeto do edifício, e sobretudo o de Arquitetura, aparece ainda de uma forma mais ampla, devido ao largo espectro de variáveis que envolve a obtenção das soluções.

Assim, o problema deve ser tratado da forma mais científica possível, tanto mais quando se pretende utilizar os computadores na sua resolução. Essa postura é a única que leva à obtenção de instrumentos que permitem identificar e controlar a racionalidade interna do processo, ou seja, que possibilitem a sua sistematização.

O campo do conhecimento que estuda os métodos, princípios e regras para organizar o projeto segundo processos que conduzam às soluções procuradas é o da chamada Metodologia de Projeto ("Design Methodology") e os seus resultados são chamados Métodos de Projeto - MP ("Design Methods").

Assim, o objetivo dos MP é criar uma organização para as atividades do projeto, a fim de que elas se desenvolvam de forma sistematizada.

3.4.2 - Os Métodos de Projeto

Influenciado pelas transformações tecnológicas e sociais ocorridas a partir da década de 50, surgiu um movimento entre profissionais e pesquisadores da área de projeto, identificado por uma série de fatos, dentre os quais se destacam:

"Introduction to Design" - Morris Asimow
Nova Jersey, 1962

Livro que versava sobre a área de engenharia e tratava o projeto em termos de um processamento de informações. Chamava sua proposta de "a morfologia do projeto", e se compunha das seguintes fases (ver também Tabelas 4.1 e 4.3):

1. Estudo de Viabilidade
2. Projeto Preliminar
3. Projeto Detalhado
4. Planejamento para Produção
5. Planejamento para Distribuição
6. Planejamento para Consumo
7. Planejamento da Retirada de Mercado

Num outro nível, Asimow apresentava também um processo para resolução de problemas, chamado de "o processo do projeto".

Seu "processo" compunha-se das seguintes etapas:

1. Análise
2. Síntese

3. Avaliação e Decisão, desmembradas em:
4. Otimização
5. Revisão
6. Implementação.

Ele colocava que em cada uma das fases da sua "morfologia" se desenrolavam as etapas do seu "processo", numa combinação de uma estrutura vertical com uma horizontal.

"Conference on Design Methods"

Imperial College, Londres, 1962

A característica principal da Conferência foi a participação de profissionais de diferentes áreas, como engenheiros, arquitetos, projetistas industriais, professores, engenheiros de computação, matemáticos, etc.

Quanto aos seus resultados, Cross(23) apresenta um comentário de J.K.Page (1963):

"... parece que só houve um ponto em comum com o qual todos concordam, o fato do projeto sistemático ser um processo em três etapas, envolvendo análise, síntese e avaliação".

Escola de Projeto de Ulm - "Hochschule fur Gestaltung - HfG"

Alemanha, 1963.

Aglutinou pessoas interessadas em dar um enfoque orientado cientificamente à questão do projeto, segundo uma metodologia analítica.

Estava mais ligada à engenharia, e propunha um método de projeto que tinha as seguintes fases:

1. Informação
2. Pesquisa
3. Projeto
4. Decisão
5. Cálculo de Ajustes
6. Fabricação do Protótipo

Promoveu uma conferência/curso pioneiro específico para a área de Arquitetura: "The Teaching of Design - Design Method in Architecture" - 1966.

"Notes on the Synthesis of Form" - C.Alexander
Cambridge, 1964(34)

Foi um livro de grande impacto devido ao seu pioneirismo, pois foi o primeiro a resultar num programa para aplicação em computadores - "HIDECS - Hierarchial Decomposition of Sets" (ver item 6.3.1).

"Systematic Method for Designers" - L.B.Archer
Londres, 1965(35)

O método proposto consistia de sete fases principais, desmembradas em 229 atividades, conforme ilustra a Figura 3.1 (ver também Tabela 4.1). Sua estrutura era desenvolvida de uma forma excessivamente rígida, tornando praticamente impossível sua adoção na prática.

Uma outra característica da sua proposta é a existência de um mecanismo de "retroação" entre as fases.

Figura 3.1 - "Systematic Method for Designers - L.B.Archer" (36).

Além desses eventos, outros também tiveram relevância no início dos estudos dos métodos de projeto, como os seguintes livros e artigos (23)(36):

- Design method in architectural education. D.G.Thornley, ed. In: Conference on Design Methods, 1962.
- Views on general systems theory. M.D.Mesarovic, ed. New York, John Wiley, 1964.
- Handbook of architectural practice and management. RIBA, London, 1965.
- Interdependence and uncertainty: a study of the building industry. London, Tavistock Institute, 1966.
- The role of building performance measurement and appraisal in design method. T.A.Markus. In: The Architect's Journal, 20 December 1967.
- Design methods. J.C.Jones. London, John Wiley, 1970(29).

Também foram relevantes as seguintes conferências (23)(36):

- The Design Method. Birmingham College of Science and Technology, 1965.
- Design Method in Architecture. Portsmouth College of Architecture, 1967(37).
- Design Method Group DMG. Cambridge, 1968(38).
- Environmental Design Research Association - EDRA. Chapel Hill, 1969 (EDRA 1)(39). Pittsburgh, 1970 (EDRA 2)(40). Los Angeles, 1972 (EDRA 3).

3.4.3 - Fases e etapas do projeto

De todos esses estudos realizados na década de 60, convém destacar um conceito de Asimow, no qual ele propõe que a elaboração de um projeto se desenvolve em dois níveis de organização, um vertical, que ele chamou de "morfologia do

projeto", e um horizontal, o seu "processo de projeto".

Broadbent(36) faz uma separação semelhante, que ele chamou, respectivamente, de "processo de projeto" e de "sequência de decisão".

A "morfologia do projeto" de Asimow e o "processo de projeto" de Broadbent definem a ordem segundo a qual um vasto número de decisões devem ser tomadas ao longo de um projeto. A medida que estas são tomadas, vai-se aumentando o grau de profundidade com que se trata o problema, e mais detalhada a solução vai se tornando. Assim, esses dois termos se relacionam mais com o conceito estático do projeto.

Já o "processo de projeto" de Asimow e a "sequência de decisão" de Broadbent se referem ao processo do pensamento lógico e criativo que se desenrola em cada uma das fases do processo, a fim de se obter a solução procurada. Cada vez que se quer aprofundar mais o estudo do problema, novas decisões lógicas têm que ser tomadas. Assim, relacionam-se mais com o conceito dinâmico do termo projeto.

Nesse trabalho, não será adotada nenhuma dessas denominações, que serão respectivamente substituídas por fases do projeto e etapas do projeto, reservando-se ao termo processo de projeto o conjunto desses dois níveis de organização.

Esses dois níveis serão mais bem caracterizados no Capítulo 4.

CAPITULO 4 - FASES E ETAPAS DO PROCESSO DE PROJETO

4.1 - As Fases do Projeto

Conforme já visto, a organização do processo de projeto em diferentes fases visa o estabelecimento de uma ordem segundo a qual suas diversas decisões devam ser tomadas.

As fases são então diferenciadas pelo grau de profundidade segundo o qual o projeto é considerado, partindo-se de um nível mais superficial até se chegar a um detalhamento mais completo da solução.

Com base em classificações propostas por Mitchell(14) e por Marques(28), bem como pelo fato de as normas brasileiras que conceituam projeto (41)(42)(43) não apresentarem uma classificação definitiva sobre o assunto, neste trabalho é proposta e será adotada a seguinte classificação para as diferentes fases do processo de projeto:

- 1) Fase de Estudos Preliminares.
- 2) Fase de Anteprojeto (*).
- 3) Fase de Projeto Executivo.

(*) Em lugar de "Anteprojeto" pode-se também utilizar o termo "Projeto Básico"

A Fase de Estudos Preliminares envolve os aspectos:

- entendimento do problema;
- levantamento inicial de dados;
- estabelecimento de requisitos e de restrições;
- inter-relacionamento de requisitos, restrições e dados;
- estabelecimento de alternativas;
- estruturação do problema;

- estabelecimento do programa do projeto;
- organograma funcional;
- estudos de viabilidade.

A Fase de Anteprojeto caracteriza-se por lidar com:

- estudo de alternativas e execução dos anteprojetos especializados;
- compatibilização dos anteprojetos;
- previsão da metodologia de execução da obra;
- elaboração das especificações básicas;
- elaboração dos orçamentos básicos.

A Fase de Projeto Executivo envolve:

- detalhamento dos projetos especializados;
- elaboração das especificações definitivas;
- elaboração do orçamento definitivo;
- elaboração da programação da obra;
- elaboração do cronograma definitivo da obra.

Cross(23) apresenta uma tabela, reproduzida na Tabela 4.1, na qual compara divisões do processo de projeto em diferentes fases, propostas para a Arquitetura (RIBA - 1967), para o desenho industrial (Archer - 1965) e para o projeto de Engenharia (Asimow - 1962).

Uma análise da Tabela 4.1 permite concluir que existe um paralelo entre as classificações feitas para as diferentes áreas que trabalham com projeto e a anteriormente proposta. Além disso, nota-se que as fases apresentadas na verdade extrapolam o projeto, compreendendo o empreendimento como um todo.

Tabela 4.1 - Comparação entre as fases do processo de projeto propostas para diferentes áreas (23).

ARQUITETURA (RIBA-1967)	PROJETO INDUSTRIAL (Archer-1965)	PROJETO DE ENGENHARIA (Asimow-1962)
A.Inicição	0.Preliminares recebimento e investigação avaliativa	Necessidades primitivas
B.Viabilidade prover o cliente com aprecia- ções e recomendações; desenvol- ver estudos das necessidades dos usuários, das condições do local, planejamento, projeto, custos, etc	1.Instruções recebimento de instruções; definição de objetivos; definição de restri- ções 2.Programação estabelecer insumos essenciais; propor um plano de ação	1.Estudo de Viabilidade demonstrar a validade da necessi- dade original; explorar o proble- ma engendrado pela necessidade; conceber algumas soluções plausí- veis para o problema
C.Delimitar Propósitos determinar solução geral para o arranjo e construção; desenvolver a seguir as informações; desenvol- ver estudos das necessidades dos usuários, problemas técnicos, planejamento, projeto e custos	3.Recolhimento de Dados coleta, classificação e armazena- mento de dados 4.Análise identificar subproblemas; preparar especificações de desempenho; rea- valiar programa e estimativas propostas 5.Síntese preparar propostas esboçadas do projeto	

Tabela 4.1 - (Continuação).

ARQUITETURA (RIBA-1967)	PROJETO INDUSTRIAL (Archer-1965)	PROJETO DE ENGENHARIA (Asimow-1962)
D.Projeto Esquemático desenvolvimento das informações; projeto completo da solução pelo arquiteto; projetos preliminares dos engenheiros; preparação do plano de custos e documentação exploratória completa	6.Desenvolvimento desenvolver protótipo(s) da(s) so- lução(ões); preparar e executar estudos de validação	2.Projeto Preliminar estabelecer que alternativa é a melhor concepção do projeto; con- duzir análises de ordem de grande- za; estabelecer faixas dentro das quais os principais parâmetros de projeto precisam ser controlados; investigar tolerâncias e caracte- rísticas dos principais componen- tes e materiais
E.Projeto Detalhado projeto completo de cada parte e subsistema do edifício; completo levantamento de custos do projeto		3.Projeto Detalhado completar as descrições de Enge- nharia de um projeto testado e produtivo
F.Informações para Produção produção das informações finais para produção - desenhos, tabelas e especificações	7.Comunicação preparar documentação para produção	4.Planejamento para Produção planejamento detalhado do proces- so de manufatura 5.Planejamento para Distribuição planejar um efetivo e flexível sistema de distribuição do produto projetado

Tabela 4.1 - (Continuação).

ARQUITETURA (RIBA-1967)	PROJETO INDUSTRIAL (Archer-1965)	PROJETO DE ENGENHARIA (Asimow-1962)
		6.Planejamento para Consumo incorporar ao projeto atrativos adequados; prover uma base racio- nal para melhoria do produto e reprojeto
		7.Planejamento da Retirada planejamento da retirada de produ- tos obsoletos
G.Listas de Quantidades		
H.Preparação da Licitação		
I.Planejamento da Obra		
J.Operações no Local		
K.Término	8.Conclusão conclusão do projeto; fechamento dos apontamentos	
L.Retroação análise dos apontamentos do pro- jeto; inspeção do edificio cons- truido; estudo do edificio em uso		

4.2 - As Etapas do Projeto

O processo de projeto pode também ser organizado segundo o aspecto lógico das decisões a serem tomadas a cada momento.

Assim, o projeto é dividido pela maioria dos pesquisadores em três etapas:

- 1) Etapa de Análise
- 2) Etapa de Síntese
- 3) Etapa de Avaliação.

A Etapa de Análise corresponde à identificação e à formulação do problema. Maver(44) a define como:

"a coleta, confrontação e correlacionamento de todas as informações relevantes para o problema do projeto".

Maver(45) diz ainda que:

"a análise dessas informações envolve um processo de ordenação de forma a possibilitar uma visão interior do problema e, possivelmente, até sugerir soluções".

É também interessante procurar o seu sentido em Português. Assim, Ferreira(46) define o vocábulo segundo:

"decomposição de um todo em suas partes constituintes. Exame de cada parte de um todo, tendo em vista conhecer suas naturezas, suas proporções, suas funções, suas relações, etc...".

Com base nas definições anteriores, pode-se caracterizar a Etapa de Análise como sendo aquela na qual:

- o problema é identificado;

- os objetivos a serem alcançados são definidos;
- os requisitos ou especificações de desempenho são explicitados;
- as informações pertinentes são coletadas, confrontadas e classificadas;
- o problema é eventualmente desmembrado em subproblemas específicos, formando novos sistemas.

A Etapa de Síntese corresponde à obtenção da solução do problema, sendo portanto a mais importante delas.

Maver(44) define-a como:

"a geração da solução formal para o problema do projeto",

ou ainda como(45):

"a criação ou geração de soluções precisas para o projeto. A etapa de síntese pressupõe, então, uma suposição da forma que a solução, ou uma parte dela, deva ter".

Ferreira(46) define o vocábulo como:

"operação mental que procede do simples para o complexo. Reunião de elementos concretos ou abstratos em um todo; fusão, composição".

Com base nessas definições, pode-se caracterizar a Etapa de Síntese como sendo aquela na qual:

- são formuladas soluções potenciais para partes do problema ou para o todo;
- essas soluções são julgadas frente às informações da etapa de análise;
- as soluções parciais são combinadas para criar soluções

globais consistentes e viáveis.

A Etapa de Avaliação corresponde à verificação das características da(s) solução(ões) obtida(s), completando a sequência de três etapas.

Maver(44) define-a como:

"teste das soluções formuladas frente aos requisitos explícitos ou implícitos a que o estudo deve atender".

Ferreira(46) define o vocábulo como:

"apreciação; estimativa do merecimento de; análise".

Com base nas definições apresentadas, pode-se caracterizar a Etapa de Avaliação como sendo aquela onde:

- determina-se a partir de critério(s) objetivo(s) - restrições - se as soluções potenciais respondem às necessidades do problema. Pode-se, inclusive, ordenar as soluções que melhor respondam a essas necessidades.

Convém ainda destacar que Maver(44)(45) não utiliza o termo avaliação - do inglês "evaluation", mas sim o termo apreciação - do inglês "appraisal". O dicionário Webster(47) dá ao vocábulo "evaluation" um sentido mais abrangente, na medida que o define como "apreciação criteriosa". Em Português, o termo avaliação está mais relacionado ao aspecto quantitativo, enquanto que apreciação, ao qualitativo. Como essa diferenciação é um tanto sutil, será adotado, de forma genérica, o termo "avaliação" para caracterizar essa etapa.

Cross(23) na Tabela 4.2 apresenta as caracterizações das três etapas do processo feitas por tradicionais pesquisadores dos MP.

Tabela 4.2 - As etapas do projeto segundo alguns pesquisadores (23).

ANÁLISE	SÍNTESE	AValiação
=====		
Jones (1963):		
Listar todos os requisitos e	Encontrar solução possível para	Avaliar a precisão com que cada
reduzi-los a um conjunto completo	cada especificação de desempenho	alternativa de projeto responde
de especificações logicamente	isolada e construir um projeto	aos requisitos de desempenho com
relacionadas.	completo a partir delas com o	relação à operação, fabricação e
	mínimo possível de condescen-	venda, antes da seleção do
	dência.	projeto final.

Markus (1967):		
Definir os objetivos; identificar	Criar soluções parciais; combinar	Aplicar checagens e testes;
o problema e a natureza das difi-	as soluções parciais numa solução	aplicar critérios, restrições e
culdades; explorar os correlacio-	global consistente e viável;	limites; selecionar a "melhor"
namentos; produzir ordem a partir	geração de idéias.	solução no conjunto; testar a
de dados desordenados.		consistência.

Luckman (1967) (48):		
Coletar e classificar todas as	Formular soluções potenciais para	Tentar julgar, com base em algum
informações relevantes ao	partes do problema, as quais sejam	critério ou critérios, qual das
problema do projeto.	viáveis quando julgadas frente às	soluções viáveis responde ao
	informações contidas na fase de	problema de forma mais
	análise.	satisfatória.

Jones (1970) (29):		
Quebrar o problema em pedaços.	Reordenar os pedaços de uma nova	Testar, de modo a descobrir na
	maneira.	prática, as consequências dos
		arranjos feitos.

McGinty(49) propõe uma classificação na qual não utiliza os termos "análise, síntese e avaliação", mas sim outros análogos:

- 1 - Iniciação: reconhecimento e definição do problema.
- 2 - Preparação: coleta e análise de informações sobre o problema a ser resolvido.
- 3 - Confecção da Proposta: geração das idéias.
- 4 - Avaliação: avalia as propostas alternativas, escolhendo a mais conveniente.
- 5 - Ação: preparação e implementação do projeto.

Assim, o que ele chamou de Iniciação e de Preparação corresponde à Análise; sua Confecção corresponde à Síntese; e sua Avaliação à própria Avaliação. Sua Etapa de Ação é a única que não aparece normalmente, mas corresponde ao resultado da aplicação das três anteriores, ou à Tomada de Decisão.

Ele faz uma comparação entre a sua classificação e a proposta por outros pesquisadores, a maioria da área de Arquitetura (R.Whitaker - 1971; H.Rittle - 1970; AIA - 1973; Guenter & Corkill - 1970; Estudantes 1 e 2 - 1963; G.T.Moore - 1974; RIBA - 1967), e outros da Engenharia (J.C.Jones - 1972 e M.Asimow - 1962). Seu trabalho pode ser visto na Tabela 4.3.

Como pode ser observado pela Tabela 4.3, alguns autores também utilizam termos próprios. No entanto o mais importante a destacar é uma mistura entre Etapas e Fases do processo, já que, claramente, são essas últimas que são apresentadas nas classificações do AIA, de Asimow e do RIBA, sendo que estas duas últimas constam, inclusive, da Tabela 4.1. Esse fato será mais bem discutido no item 4.4. Além disso, e de forma semelhante a que ocorreu na Tabela 4.1, são apresentadas fases do empreendimento como um todo, e não só do projeto.

Tabela 4.3 - Comparação entre as etapas propostas em diversas classificações do processo de projeto (49).

Processo dos cinco passos	R. Whitaker Processo dos oito passos	Processo resumido de H. Rittle	Método de J.C.Jones	Serviços básicos e suplementares do AIA	Guenter e Corkill "Systematic Approach to Architectural Design"
Iniciação	Reconhecimento	Identifique	Idéia		Definição Básica
Desequilíbrio	Definição	o problema			Programa Preliminar
Preparação	Preparação	Colete a informação	Informação	Serviços pré- projeto	Investigação, análise
	Análise	Análise a informação	Análise		Resumo do programa
Confecção de propostas	Síntese	Salto criativo	Síntese	Projeto esquemático	Síntese e desenvolvimento
		Encontre soluções		Desenvolvimento do projeto	Proposta ao Projeto volumétrico
Avaliação	Avaliação	Teste a solução	Avaliação		Reavaliação e modificação
Ação	Execução	Comunique e implemente	Otimização	Documentos de contrato	
				Concorrência	
	Reavaliação			Administração do contrato	
				Serviços pós-contrato	

Tabela 4.3 - (Continuação).

Processo de Projeto do Estudante 1	Processo de Projeto do Estudante 2	Processo de Projeto de G. T. Moore	Processo de Projeto de Engenharia de M. Asimov	Serviços de Arquitetura do RIBA
	Formulação do programa	Identificação do problema		Início
Acumulação de dados	Investigação Avaliação das possibilidades do projeto	Análise das necessidades do usuário Programação	Viabilidade	Viabilidade
Isolamento do conceito geral ou forma	Criação	Síntese do projeto	Projeto preliminar Projeto detalhado	Propostas de diretrizes Projeto esquemático
Desenvolvimento da forma	Refinamento e apresentação		Planejamento	Projeto detalhado
		Seleção de alternativas		
Apresentação da solução		Implementação Avaliação pós-ocupação		Informações de produção Quantitativos Concorrências Planejamento do projeto Operação no canteiro Término Retroação

4.3 - Um Modelo Mais Completo

Alguns pesquisadores procuram representar o processo de projeto por modelos mais completos, que englobem suas diferentes fases e etapas.

Um modelo com essas características foi desenvolvido pela "Building Performance Research Unit-BPRU"(50), na Escócia, em 1972, e é ilustrado na Figura 4.1.

Em 1967, um modelo semelhante a esse já havia sido proposto por T.A.Markus, que em 1972 fazia parte da BPRU. Ele é ilustrado na Figura 4.2.

O modelo proposto pela BPRU apresenta uma característica fundamental do processo, o fato dele ser cíclico. Essa também aparece num modelo proposto por McGinty(49), ilustrado na Figura 4.3.

Assim, as etapas de análise-síntese-avaliação-decisão (ou de iniciação-preparação-confecção-avaliação-ação) vão se desenvolvendo ciclicamente à medida que se vai aprofundando no nível de detalhamento do projeto através de suas diferentes fases. Essa característica mostra que não existe uma transição bem definida entre estudos preliminares-anteprojeto e entre anteprojeto-projeto executivo. Essa idéia de descontinuidade é decorrência da prática de se documentar o processo em três momentos de sua existência, e está associada ao conceito estático do termo projeto. No entanto, segundo o conceito dinâmico do termo, o processo é contínuo.

Ambos os modelos ilustram uma outra importante característica, a existência de um mecanismo de retroação ou "feedback", que é melhor ilustrada na Figura 4.4.

Figura 4.1 - Modelo do processo de projeto desenvolvido pela "Building Performance Research Unit" (44)(50).

Figura 4.2 - Modelo bidimensional do processo de projeto desenvolvido por Markus (23).

Figura 4.3 - Modelo proposto por McInty:

(a) as cinco fases do processo de projeto.

(b) as passagens pelas cinco fases de forma cíclica ao longo do tempo (49).

A retroação caracteriza a influência das informações obtidas numa etapa em relação às anteriores. Assim, novas informações fazem com que o projetista reconsidere as anteriores, à proporção que a proposta progride, num processo de aprendizagem.

McGinty fala também sobre a característica iterativa do processo. Esta é, na verdade, uma complementação da representação cíclica, já que, cada vez que as cinco etapas por ele propostas são desenvolvidas, um maior número de informações é acrescentado, tendendo o processo a convergir para uma solução satisfatória para uma dada fase em estudo, como ilustra a Figura 4.5.

Gupta & Murthy(30) fazem algumas considerações semelhantes, dizendo que a iteração surge no processo como uma maneira de compensar a falta de informações suficientes para a tomada das decisões.

Assim, no início são tomadas decisões sem muitas informações. A medida que o projeto evolui, informações adicionais são obtidas, servindo para melhorar ou modificar as decisões primárias (ver Figura 4.6). Como essas informações adicionais partem de decisões que também podem não estar totalmente corretas, já que foram baseadas na etapa anterior, as novas decisões devem passar por um novo ciclo de modificações, que se repete até que se obtenha a precisão desejada.

4.4 - Comentários

Com base nas considerações anteriormente apresentadas, podem ser feitos alguns comentários.

O primeiro deles se refere à nomenclatura utilizada na área, que é um tanto deficiente. Assim, acabam-se misturando conceitos relativos às fases do processo de projeto com outros relativos às

Figura 4.4 - A existência da retroação ou "feedback" (49).

Figura 4.5 - O constante processo de iteração entre etapas (49).

Figura 4.6 - O ciclo iterativo (30).

suas etapas, conforme já comentado.

Esse fato provavelmente decorre de que quando o projeto é encarado como um todo, as suas fases podem ser entendidas como etapas de uma sequência de decisão que se inicia na explicitação do problema (estudos preliminares = análise do problema), passa pela resolução do problema (anteprojeto = síntese do problema) e se encerra no detalhamento crítico da solução (projeto executivo = avaliação do problema).

Isso pode ser comprovado comparando-se as diversas definições das diferentes fases, com as das diferentes etapas vistas nos itens anteriores.

No entanto, esse relacionamento não justifica o emprego dos termos de forma incorreta, e a nomenclatura para as diferentes etapas não deve ser empregada para identificar as fases do processo.

Outro comentário se refere à grande importância da característica cíclica e de aprendizagem do processo, e qualquer modelo desenvolvido não deve ignorá-la, tratando o processo como uma estrutura vertical, na qual resultados ou saídas de uma fase ou de uma etapa sirvam, sequencialmente, como entrada para outra.

Porém o comentário mais importante a ser feito refere-se a uma discussão sobre a própria função dos MP, ou seja, será que a modelagem do processo de projeto representa de fato o que ocorre numa situação real, ou tudo não passa de uma teorização tão fora da realidade que se torna impraticável?

A resposta a esta questão é fundamental, e obriga à análise dos comentários sobre a área feitos por alguns de seus pesquisadores.

Assim, Swinson(51) diz que:

"... Existem muitos fatores na elaboração de um projeto que são próprios do projetista ou que não podem ser quantificáveis de forma satisfatória. Os procedimentos sistematizados tendem a dar mais importância a certos aspectos do projeto, em detrimento de outros, simplesmente porque eles são mais susceptíveis a análises numéricas".

E prossegue:

"O projetista trabalha com um mecanismo de julgamento intuitivo, assim como com conhecimentos explícitos. Ele trabalha num mundo em desordem, incompreensível para aqueles que não tiverem uma base de conhecimentos. Ele essencialmente é um especialista não-especializado. Um problema de projeto não apenas será tratado de forma diferente por diferentes arquitetos, como um mesmo arquiteto tratará diferentes aspectos de um problema de modos diferentes ...".

E termina concluindo que cada projetista precisaria, na verdade, de um modelo próprio que seria direcionado e redirecionado a partir do seu controle.

Lansdown & Maver(52) dizem que:

"Não existe método correto de projeto e, embora se reconheça que o processo possa ser dividido em etapas distintas, não existe uma sequência de procedimentos que seja de aceitação geral e que permita guiar o grupo de projeto em direção à obtenção de uma solução satisfatória. De fato, não existem soluções para os problemas de projeto da mesma forma que existem para os problemas matemáticos. O máximo que se pode esperar é um resultado que satisfaça ao maior número de restrições que limitam as possíveis soluções. E, mais ainda, o projeto não é um processo algorítmico

com o qual a solução projetada pode ser obtida através da aplicação de procedimentos do tipo passo a passo. Ele é um processo fluido e que não pode ser desmembrado, onde, em cada etapa, os principais aspectos devem ser manipulados ao mesmo tempo".

A postura que esses autores defendem é, portanto, a de que o "lampejo criativo", ou instante no qual se dá a gênese da idéia que resolverá o problema em estudo, não pode ser sistematizado, pois depende de fatores subjetivos de fundamental importância.

Essa posição, no entanto, não invalida a possibilidade de utilização dos computadores como ferramenta de projeto, pois a partir dela pode-se seguir por dois caminhos diferentes, discutidos a seguir.

- 1) Já que o "lampejo criativo" é característico do ser humano, por que não trabalhar com o computador de forma que o homem e a máquina atuem conjuntamente, cada um respondendo pelas suas habilidades específicas? Essa postura é típica do PAC, e é a que terá maior ênfase nesse trabalho.
- 2) Apesar do "lampejo criativo" não ser passível de sistematização, ele é resultado de algum mecanismo criativo que se desenvolve no cérebro humano. Mas o cérebro humano é uma máquina altamente sofisticada, que processa informações a partir de uma série de outras nela registradas, tratando com igual desempenho aspectos objetivos e subjetivos, racionais e emotivos. O que torna especial a "máquina cérebro" é sua capacidade de "processar" tais aspectos, aparentemente tão discrepantes, segundo algum padrão ainda bastante desconhecido. Assim, seguindo esse raciocínio, não há empecilho teórico para que a "máquina computador" venha a pensar.

Como é consenso de vários autores, o ato de projetar é aprendido com a experiência, ou seja, quem projetou uma vez tende a projetar melhor numa próxima. Dessa maneira, e na mesma linha, o computador, uma vez "pensante", poderá projetar.

Tais idéias, porém, não implicam na obtenção de melhores ou piores projetos, pois isso é função do repertório de dados manipulados, da maneira pela qual são relacionados (um "sistema de processamento" mais ou menos eficiente), como também sofre influência de todo um cabedal de informações previamente acumuladas (ao qual pode-se chamar de "cultura universal"), quer diretamente relacionadas ou não com o projeto, atuando, subjetivamente ou não, num conceito estético, numa melhor solução prática, numa inovação criadora.

Esses atributos, quer da "máquina cérebro", quer da "máquina computador", definirão a qualidade do projeto, resultando em soluções medfocres ou geniais, criadas por cérebros ou por computadores. Apenas o tempo, já que as pesquisas de "máquinas pensantes", no campo da **Inteligência Artificial**, ainda engatinham, impede de se verificarem tais considerações.

A continuidade dessa questão demandaria páginas e páginas de reflexões, e não seria conclusiva, fugindo aos propósitos desse trabalho.

Essa postura foi adotada por N.Negroponte(17), que, junto com L.Groisser, desenvolveu no MIT, no final da década de 60, a chamada "Máquina de Arquitetura - The Architecture Machine" (ver item 5.4.6).

O trabalho por eles desenvolvido teve grande repercussão mas pequeno resultado prático, provavelmente por estar à frente de seu tempo, já que até hoje, passados mais de 15 anos, está se começando a caminhar nesse campo.

Existe nele um vastíssimo potencial para pesquisas, desde a área eletrônica - através da robótica, desenvolvendo sensores que permitam à máquina "sentir" e "interagir com o ambiente" -, até a área de programação, com o desenvolvimento de linguagens específicas (51) e de algoritmos apropriados (53).

Para aqueles descrentes da possibilidade de uma evolução nessa área, é a seguir citado um trecho de um texto de S.A.Coons(5), que já em 1975 dizia:

"... Não nos assustamos com um da Vinci, um Einstein, um Heifetz, ou um Gauss. Mas a possibilidade de uma máquina, um computador, muito mais imaginativo e criativo do que qualquer humano é, para muitas pessoas, assustadora. Apesar disso, uma máquina com essas características é perfeitamente possível. Isso se deve ao fato de um computador poder tornar-se auto-evolucionário, numa espécie de comportamento adaptativo que se assemelha a um processo evolucionário auto-induzido e acelerado. O cérebro humano teve que esperar até que lentamente se realizassem suas evoluções naturais, e uma melhora substancial na capacidade intelectual levava muitos milhares de anos. Algumas pessoas sugerem que o homem das cavernas tinha essencialmente a mesma capacidade intelectual potencial que seu moderno descendente. A curva de aumento da capacidade cerebral ao longo do tempo é praticamente uma linha horizontal, por todo o período passível de sua determinação. Nós sabemos mais do que os homens das cavernas sabiam, mas conhecimento não é sinônimo de inteligência.

Por outro lado, o computador pode criar sua própria curva evolucionária, talvez de forma exponencial, talvez até de forma explosiva. Será interessante e excitante acompanharmos esse desenvolvimento nos próximos anos. Reflitamos que, mesmo que leve centenas de anos para dotarmos as máquinas de tal poder intelectual, isso não será nada além de um instante comparado à longa história do desenvolvimento natural do intelecto humano. E é praticamente certo que esse tempo será muito, muito menor.

Eu me sinto muito feliz por estarmos caminhando nesse sentido.. Quando ele for alcançado, será a mais sublime de todas as realizações do homem.

Eu acredito e espero por tudo isso sobretudo porque o uso do computador no projeto e na arquitetura só se dará com uma "máquina inteligente".

Assim, voltando às possibilidades atuais da Computação, e retomando a questão sobre se a sistematização do projeto leva obrigatoriamente a uma restrição do mesmo, a resposta é não, pois desde já fica aberto um grande espaço onde o homem e a máquina podem trabalhar de forma conjunta, cada qual cumprindo o seu papel, através do Projeto Assistido por Computador. O que tem que ficar clara é a atuação de cada um nessa simbiose. O computador ainda não pode ser considerado uma máquina que tudo faz, e também o projeto não pode ser tratado de forma rígida, num esquema passo a passo, repleto de algoritmos e de métodos matemáticos, uma limitação da máquina não-pensante, sem a participação do homem quando ela se torna necessária.

Ao homem cabe comandar todo o processo e se auxiliar do computador quando conveniente.

E com essa perspectiva que serão desenvolvidos os próximos Capítulos, ou seja, se forem conhecidas as restrições que a sistematização do ato de projetar impõe, elas poderão ser contornadas e, a partir daí, poder-se-á utilizar o computador como uma ferramenta que auxilie nessa tarefa.

Como disse Milne(54):

"... o objetivo da metodologia de projeto não deve ser sistematizações que possam projetar melhor do que os seres humanos (isto é, que possam ter o "lampejo criativo"), mas sim sistematizações que permitam ao homem projetar melhor (isto é, projeto assistido por computador)".

CAPITULO 5 - MODELOS PARA PEAC

5.1 - Introdução

Conforme visto nos Capítulos anteriores, pode-se, dentro dos limites que esse tratamento impõe, considerar o projeto como um processo pelo qual geram-se idéias como respostas a certas necessidades. Dentre essas idéias é selecionada a "ótima" frente às restrições impostas.

Esse processo envolve, no entanto, uma série de dificuldades, que o tornam difícil de ser resolvido de forma totalmente lógica.

Para se contornar esse problema, recorre-se à sistematização, tornando o processo o mais racional possível.

Dentro dessa linha, os MP propõem diferentes enfoques. O que se tem como certo é que o processo se desenvolve em dois níveis de organização, que podem ser caracterizados por diferentes fases e etapas.

Entende-se que essa sistematização, aliada à formação técnica e à experiência do projetista, permite uma resolução satisfatória dos problemas de projeto.

Para ir mais fundo no estudo de como fazer essa sistematização, sobretudo para aplicá-la ao PEAC, é necessária a introdução de algumas novas idéias:

- modelos: conceituação e classificação;
- modelagens das etapas do projeto visando a aplicações de PEAC;
- diferentes níveis de intervenção do computador no processo de projeto.

5.2 - Modelos: Conceituação e Classificação

Numa perspectiva ampla, um modelo pode ser caracterizado como uma abstração do mundo real, que procura representá-lo de forma simplificada ou, como apresentam Radford & Gero(55), numa definição de M. Echenique (1968):

"Um modelo é uma representação da realidade, onde representação significa a expressão de determinadas características relevantes da realidade observada".

Portanto um modelo possibilita descrições e explicações simplificadas e resumidas das operações da realidade que representa.

As vantagens que se obtêm com a modelagem são inúmeras, tornando seu uso quase obrigatório no estudo do projeto. Um modelo pode ser muito mais rápido, simples e barato de se manipular do que o objeto real.

São diversas as características básicas dos modelos que permitem estabelecer diferentes maneiras de classificá-los. Alguns trabalhos que trazem classificações são os de Milhomem & Yanase(56), Ackoff & Sasienne(57), Simmons(58), Ehrlich(59), Sarquis & Marques(60) e Gero(61), bem como as referências (14), (23) e (36).

A partir desses trabalhos e segundo o interesse dessa dissertação, é importante destacarem-se três características básicas que levam a diferentes classificações dos modelos: sua representação, sua objetividade e sua dependência do tempo.

5.2.1 - Classificação quanto à representação

No processo de imitação anteriormente caracterizado, os modelos podem ou não conservar as características lógicas e de forma da realidade. A característica lógica da realidade exprime como ela "funciona", enquanto que a característica de forma, como ela "se parece". Assim, a maneira pela qual os modelos traduzem essas características é um primeiro modo de distingui-los, e eles são então ditos icônicos, analógicos ou simbólicos.

Nos modelos icônicos conservam-se as características lógicas e de forma. No caso do edifício, um modelo icônico muito utilizado é a maquete. O traçado de perspectivas, com o objetivo de antever as características estéticas de um projeto, é também um modelo icônico, bem como a própria representação por meio das vistas ortográficas.

Nos modelos analógicos se conservam apenas as características lógicas da realidade, que passa a ser representada materialmente por algum elemento ou elementos que consigam captá-las. No caso do edifício, um modelo analógico foi utilizado pelo arquiteto catalão Antoni Gaudi no projeto das abóbadas de suas igrejas; estas eram representadas de forma invertida por meio de uma estrutura flexível de barras cobertas de tecido, na qual era pendurada uma série de pesos, como ilustra a Figura 5.1.

Variando a estrutura das barras, a colocação e o valor dos pesos, Gaudi podia representar o comportamento estático da abóbada, determinando assim os correspondentes esforços internos.

Nos modelos simbólicos, também são conservadas as características lógicas da realidade, só que não há qualquer representação de suas características materiais. Em vez disso, a realidade é representada por meio de símbolos, como palavras, números e operadores matemáticos, com os quais se montam fórmulas e

Figura 5.1 - Estudo de uma cúpula de igreja feita por Antoni Gaudi através do uso de um modelo analógico (14).

Figura 5.2 - Exemplo de modelo dinâmico: troca de calor entre o edifício e o meio ambiente.

expressões matemáticas.

5.2.2 - Classificação quanto à objetividade

Um outro aspecto que caracteriza os diferentes modelos relaciona-se com o que se pode chamar de objetividade dos procedimentos neles subentendidos.

Se o procedimento conduz, através de uma série de passos simples e bem caracterizados, a uma única e correta solução do problema em estudo, ele é dito determinístico.

Quando se trata da parte criativa do projeto, existem poucos aspectos que podem-se caracterizar como totalmente determinísticos. Assim, o que se procura são procedimentos que levem a uma boa solução, mas não obrigatoriamente à melhor, ou à ótima.

Esses procedimentos, bem como os modelos que deles se utilizam, são chamados de heurísticos.

Os modelos heurísticos são aplicados a problemas mal-definidos, para os quais inexistam critérios objetivos ou não-contraditórios para se chegar à melhor solução.

Além disso, são aplicados a problemas que, apesar de bem estruturados em termos lógicos, não podem ser resolvidos de forma determinística devido a uma relação custo-benefício desfavorável, como é o caso do jogo de xadrez ou da montagem de um quebra-cabeças (o "custo" está basicamente associado ao tempo para se obter a solução, enquanto que o "benefício" é medido pela proximidade entre a solução obtida e a solução ótima teórica).

Os procedimentos heurísticos têm eficiências diferenciadas, ou seja, suas relações custo-benefício não são iguais. Assim, diz-se que um procedimento que leva a uma boa solução de forma mais rápida e econômica que um outro tem maior poder heurístico.

Simon(62) faz uma excelente caracterização dos procedimentos heurísticos. Nesse sentido, ele lança mão de dois provérbios:

- "O ótimo é inimigo do bom".

- "Se você não pode fazer o melhor, faça o melhor que você puder".

Em outras palavras, em vez de se procurar o ótimo, muitas vezes inalcançável, é melhor se satisfazer com aquilo que seja suficientemente bom.

Assim, naquelas situações onde não existam procedimentos sistematizados que levem obrigatoriamente à melhor solução, ou procedimentos determinísticos, ou ainda quando esses tiverem uma relação custo-benefício desfavorável, são aplicados os procedimentos heurísticos.

Os modelos podem ainda ser caracterizados pela aleatoriedade ou não dos aspectos neles representados. Assim, quando um ou mais de seus aspectos são aleatórios, o modelo é dito probabilístico.

5.2.3 - Classificação quanto à dependência do tempo

Quanto à dependência do tempo, os modelos são ditos estáticos ou dinâmicos.

Num modelo estático, a realidade representada não varia em função do tempo.

Já um modelo dinâmico é capaz de representar variações da realidade ao longo do tempo.

Para se entenderem as características dos modelos dinâmicos, tome-se, por exemplo, um modelo que avalie o comportamento de uma habitação com relação ao seu desempenho térmico. Ele deve prever aspectos como as trocas de calor que o edifício tem com o meio ambiente, conforme ilustra a Figura 5.2.

Uma vez estabelecido um modelo contendo equações que levem em conta as conduções, as convecções e as radiações de calor, bem como outros aspectos, por exemplo a movimentação do ar, ele pode então ser manipulado.

Assim, com ele é possível estudar-se a abertura de uma janela, para com isso avaliar o comportamento térmico no interior do edifício, bem como vários fenômenos simultaneamente: abertura de janelas, variação da posição do sol, funcionamento de equipamentos, etc, fenômenos esses dependentes do tempo.

5.3 - Modelagens das Etapas do Projeto Visando Aplicações de PEAC

Conforme visto no Capítulo 4, o processo de projeto pode ser subdividido em diferentes fases e etapas.

Como já foi comentado, essa sistematização não pretende transformar o processo numa receita, mas é apenas uma tentativa que se faz visando uma melhor resolução dos problemas envolvidos.

Com base nessa subdivisão e nos conceitos e características anteriormente apresentados, é possível modelar a sequência de etapas do processo de projeto objetivando especificamente o emprego dos computadores como ferramenta.

Devido às complexidades já discutidas, é impossível representar o processo todo por um único modelo. Por exemplo, as decisões que são tomadas à medida que o projeto evolui por suas diferentes fases necessariamente não se baseiam numa mesma organização lógica do pensamento; por exemplo, determinados aspectos podem envolver um grau de síntese diferente de um outro, para o qual uma avaliação seja primordial.

Assim, o processo que envolve as diferentes etapas do projeto, ou as chamadas sequências de decisão, podem ser representadas por meio de modelos ditos:

- iterativos;
- gerativos;
- diretos.

Uma organização semelhante a essa foi proposta por Gero, e consta das referências (63) e (64).

5.3.1 - Modelo iterativo

O modelo iterativo é o mais comumente empregado para a resolução dos diversos aspectos envolvidos num problema de projeto, tendo sido proposto por McGinty (Figuras 4.3 a 4.5). Ocorre que McGinty o propõe para o processo como um todo, enquanto que aqui ele está sendo considerado como aplicável somente a determinados aspectos, já que outros podem ser melhor caracterizados por modelos diferentes. Assim, o modelo iterativo prevê que a obtenção da solução se dá por meio da repetição de uma série de etapas, segundo o esquema da Figura 5.3.

Figura 5.3 - Modelo iterativo.

Figura 5.4 - Modelo gerativo.

Figura 5.5 - Modelo direto.

As características fundamentais do modelo iterativo são:

- após a Análise e Modelagem do aspecto em estudo, é proposta uma solução, ou feita uma Síntese Preliminar;
- essa solução inicial depende das experiências do próprio projetista, de projetos semelhantes anteriormente desenvolvidos por outros projetistas ou, simplesmente, é arbitrada a partir dos dados da Análise anteriormente feita;
- a etapa de Avaliação baseia-se num conjunto de características de desempenho especificadas;
- a partir dos resultados das avaliações, e quando se conclui que essas características não estão sendo atendidas a contento, a proposta sofre uma Revisão (nova Síntese) e retorna à Avaliação, num processo cíclico;
- essa Revisão baseia-se nos mesmos critérios adotados na Solução Preliminar, bem como nos resultados obtidos com as avaliações feitas, denotando um sentido de aprendizagem, e pode alterar, inclusive, considerações feitas na etapa de Análise e na Modelagem do problema;
- quando se obtém uma solução que atenda às características de forma satisfatória, o ciclo se interrompe, resultando na Solução para o aspecto em estudo.

5.3.2 - Modelo gerativo

Conforme já visto, o modelo iterativo separa conceitualmente as etapas de Avaliação e de Revisão (Síntese), e a solução é obtida através de um processo cíclico e de aprendizagem (novas sínteses são feitas levando-se em conta as características das anteriores).

Já o modelo gerativo, apesar de cíclico, não denota esse sentido de aprendizagem, já que as sínteses se dão a partir de regras previamente definidas, que em absoluto consideram os resultados

das sínteses anteriores.

Segundo essas regras, as soluções obtidas para o aspecto do problema em estudo sempre atendem às características impostas de desempenho, implicando na união das etapas de Síntese e Avaliação numa única, conforme ilustra a Figura 5.4.

As características principais desse modelo são:

- a Modelagem do aspecto em estudo pressupõe a definição de um conjunto de regras que devem ser obedecidas para a obtenção das soluções (sínteses);
- ao serem aplicadas, essas regras permitem a geração cíclica de uma série de soluções;
- as soluções já são avaliadas a medida que são geradas, sendo que todas atendem às características mínimas de desempenho, já subentendidas nas próprias regras;
- o número de soluções geradas deve ser finito;
- a Decisão ou escolha da Solução final é feita segundo critérios julgados adequados (objetivos ou subjetivos) e se dá externamente, após se encerrar o processo cíclico de geração.

5.3.3 - Modelo direto

Os modelos anteriores conduzem a soluções que atendem às características de desempenho especificadas, mas não produzem necessariamente a melhor solução ou o projeto ótimo. No modelo direto, as etapas de Síntese e Avaliação e a própria Decisão são fundidas numa única, objetivando-se atingir essa solução ótima, conforme ilustra a Figura 5.5.

Como se vê, o modelo direto não leva em conta as características cíclica e de aprendizagem. Em vez disso, supõe que a resolução do

aspecto em estudo pode ser obtida numa única etapa, e mais, que ela corresponderá à Solução Ótima.

As características principais desse modelo são:

- a Modelagem do aspecto em estudo deve ser tal que possa traduzir numa única etapa a lógica subentendida nas etapas de Síntese e Avaliação;
- além disso, a própria Decisão pela melhor solução precisa estar nela representada, e deve, obrigatoriamente, levar à melhor solução, ou a sua solução ótima.

5.4 - Diferentes Níveis de Intervenção do Computador no Processo de Projeto

Como já foi visto, o PEAC baseia-se, fundamentalmente, na utilização do computador como ferramenta que facilite o desenvolvimento dos projetos.

Quanto mais complexas, ou quanto mais essas ferramentas forem utilizadas, ou ainda dependendo da finalidade de seu emprego, mais importante é o papel que os computadores assumem, ou maior é o seu nível de intervenção.

Além disso, esse nível depende também da maneira pela qual estão organizadas as etapas do processo de projeto, ou seja, segundo o modelo pelo qual essas podem ser representadas, conforme discutido no item anterior.

Nesse sentido, os computadores podem atuar como:

- armazenador/fornecedor de informações;
- processador analítico;
- máquina simuladora;

- máquina geradora;
- máquina otimizadora;
- sistema integrado;
- sistema especialista;
- "máquina de arquitetura".

A possibilidade dos computadores armazenarem informações, bem como a de processarem cálculos analíticos, são suas características primordiais, e não precisam merecer atenção especial nesse trabalho.

Já os outros níveis de atuação são próprios do PEAC, e serão discutidos a seguir.

5.4.1 - Máquina simuladora

Como visto no item 5.3.1, a resolução dos diversos aspectos de um problema de projeto normalmente segue um modelo, segundo ilustra a Figura 5.3.

Nele o computador pode atuar como uma ferramenta para auxiliar nas avaliações, deixando a cargo do projetista as demais etapas.

Os modelos assim elaborados são chamados de modelos de simulação e, através deles, pode-se manipular o resultado da Síntese realizada, estudando seu comportamento frente às mais diversas solicitações. São também chamados de modelos preditivos ou de avaliação.

As simulações encontram um grande campo de aplicação no projeto dos edifícios, fornecendo ao projetista informações mais completas para que ele tome suas decisões de maneira mais segura. Nelas os computadores atuam tipicamente como ferramenta, viabilizando avaliações que dificilmente seriam realizáveis

devido à falta de recursos.

Os exemplos de aplicações do PEAC segundo esse modelo são inúmeros.

Um dos mais populares é utilizar o computador como uma "prancheta eletrônica", substituindo, de forma mais eficiente, o ferramental tradicional de desenho. Essa aplicação passou a ser possível devido à drástica redução nos preços e ao aumento acentuado na eficiência dos equipamentos, sobretudo os de entrada e saída de dados.

Nas "pranchetas eletrônicas", o computador simula as características de forma das soluções obtidas (uma planta de arquitetura, um detalhe de fixação, um componente construtivo, etc) da mesma maneira que um projetista, ao esboçá-las ou desenhá-las graficamente. A diferença é que o projetista, em vez de desenhar da maneira tradicional, faz isso diretamente no computador, através do uso de equipamentos apropriados de comunicação. O resultado ou a "aparência" de seus desenhos é apresentado no monitor de vídeo para que se possam fazer as alterações necessárias. Quando o desenho estiver pronto, ele será reproduzido em papel por meio de uma traçadora gráfica.

Assim, inúmeros sistemas gráficos com essa característica foram desenvolvidos, desde o pioneiro SKETCHPAD (ver item 2.1), inclusive para mini e microcomputadores.

A grosso modo, as características gerais desses sistemas são:

- 1) A relação homem e máquina é altamente interativa, obrigando à utilização de equipamentos adequados de comunicação: mesa digitalizadora, traçadora gráfica, monitor de vídeo de alta resolução gráfica, etc.

Esses equipamentos reunidos formam as chamadas estações de trabalho ("workstations"). Por exemplo, as Figuras 5.6 e 5.7 ilustram, respectivamente, estações de um micro e de um minicomputador.

Os programas baseiam-se no uso de "menus" de opções, que são apresentados ao operador no monitor de vídeo, ou através de "máscaras" superpostas a teclados especiais ou à placa digitalizadora, como ilustra a Figura 5.8.

- 2) Possuem recursos gráficos para a construção dos desenhos, executados através da movimentação de um cursor no monitor de vídeo, comandado pela placa digitalizadora:
 - construção de linhas com traçados e espessuras diversas;
 - traçado de circunferências e seus arcos;
 - traçado de cônicas e seus arcos (elipse, hipérbole, parábola);
 - traçado de curvas polinomiais (Bézier, spline);
 - traçado de polígonos (retângulos, pentágonos, etc);
 - traçado de hachuras, eixos, etc;
 - cotagem e normografia;
 - etc.
- 3) Possuem recursos para a manipulação de desenhos:
 - deslocamentos;
 - rotações;
 - simetria ou espelhamento;
 - duplicação;
 - mudanças de escala;
 - correções de erros;
 - armazenamento e recuperação de desenhos;
 - consulta a arquivo de desenhos previamente feitos;
 - etc.

Figura 5.6 - Estação de trabalho de um microcomputador: 1) impressora gráfica; 2) disquete flexível de 5 1/4"; 3) monitor de vídeo; 4) dois controladores de disquetes; 5) teclado e microcomputador; 6) traçadora de mesa tamanho A3; 7) placa digitalizadora (65).

Figura 5.7 - Estação de trabalho de um minicomputador: 1) impressora gráfica; 2) monitor gráfico; 3) monitor para textos; 4) teclado; 5) "joystick"; 6) minicomputador; 7) unidades de disco rígido; 8) traçadora de tambor tamanho A0; 9) mesa digitalizadora (66).

Figura 5.8 - "Menu" de opções (67).

- 4) Possuem recursos adicionais, tais como:
 - recortes ou "clipping";
 - janelamento;
 - decomposição do desenho em diferentes níveis;
 - etc.

Frente a essas características, o uso dos computadores para a execução de desenhos pode trazer as seguintes vantagens:

- 1) Pode-se utilizar uma biblioteca de elementos padrões e de detalhes construtivos que são automaticamente reproduzidos, conforme ilustram as Figuras 5.9 e 5.10.
- 2) Pode-se reproduzir um mesmo desenho em diferentes escalas.
- 3) Pode-se subdividir o desenho em vários níveis superpostos, cada um com uma determinada característica, que podem ser combinados para se obterem diferentes desenhos finais, como ilustra a Figura 5.11.
- 4) Possibilita que em um único desenho sejam representados vários graus de detalhamento, através de níveis hierárquicos, como mostra a Figura 5.12.
- 5) As correções e os novos desenhos são feitos de forma bastante simplificada.

Programas com essas características já são disponíveis no Brasil, tanto para mini quanto para microcomputadores.

Figura 5.9 - Desenhos feitos com o sistema ARK-2 a partir de uma biblioteca de elementos padrões (14).

Figura 5.10 - Uso da biblioteca de detalhes construtivos do sistema OXSYS/BDS (14).

Nível 1:
paredes
externas

Nível 2:
divisórias
internas

Nível 3:
normografia

Nível 1+2+3:
desenho
completo

Figura 5.11 -- Composição de um desenho final a partir de diferentes níveis (68).

Figura 5.12 - Composição hierárquica de desenhos (69).

Atualmente, o custo de um sistema profissional para microcomputadores da linha IBM-PC é de cerca de:

- equipamentos (computador, placa digitalizadora A4, traçadora A1, vídeo colorido, vídeo monocromático, impressora gráfica)	- 3.100 DTN
- programa VersaCAD	- 700 DTN
	TOTAL - 3.800 DTN

Normalmente os equipamentos nos quais esse sistemas são processados têm caráter geral, funcionando com programas gráficos destinados aos diferentes projetos, sobretudo:

- estruturas
- estradas;
- arquitetura;
- eletricidade;
- instalações e tubulações;
- mecânica;
- eletrônica;
- mapeamento;
- sistemas urbanos;
- arranjos físicos;
- fluxogramas;
- etc.

Uma descrição sumária dos principais sistemas para computadores de grande porte (McDonnell Douglas, Applicon, Computervision, Auto-trol e Gerber), para os mini (Intergraph, Easy Draft, Sigma, Summagraphics, Vector, Design Graphix I e Bausch & Lomb) e para os micros (CADAPPLE, VersaCAD, MARS CAD e Cascade) pode ser encontrada no trabalho de Goetsch(70).

Além das "pranchetas eletrônicas", são também comuns programas para avaliações diversas e, ainda, aplicações que levam em conta a presença de variáveis probabilísticas nas simulações. Para esses casos foram desenvolvidas algumas linguagens de computação

específicas, que incorporam recursos para lidar com essas variáveis, simplificando a tarefa de programação.

O fato de existirem essas linguagens não implica que outras de uso geral - como o FORTRAN e o BASIC - não possam ser utilizadas. Elas tão somente oferecem maiores recursos de programação, como, por exemplo (71):

- mecanismo interno de marcação de tempo;
- rotinas geradoras de números aleatórios;
- "rotinas relógio" que armazenam, sequenciam e selecionam automaticamente eventos simulados através do tempo;
- geração automática de funções estatísticas;
- etc.

Hoje em dia elas são aplicadas em praticamente todas as simulações de maior porte, chegando até a determinar o escopo e a aplicabilidade de certos modelos.

São muitas as linguagens existentes, sendo que Milhomem & Yanase(56) apresentam 23 delas, algumas das quais aparecem também em outras referências, como em (14), (71), (72), (73) e (74). Dentre essas linguagens se destacam:

- GPSS - "General Purpose System Simulation" - IBM.
- SIMSCRIPT - The Rand Corporation.
- SIMULA - Sperry Rand Corporation.
- GASP - Universidade Estadual do Arizona.
- DYNAMO - MIT.

Exemplos de modelos dinâmicos são também comuns, como a avaliação exemplificada na Figura 5.2.

Nos Capítulos 6 e 7, serão apresentados modelos nos quais o computador atua como máquina simuladora.

5.4.2 - Máquina geradora

A Figura 5.4 ilustra um outro modelo que representa o processo de projeto, o gerativo.

Como já visto, o princípio nele adotado é bastante simples. Quando se tem um problema, o que se quer obter é a sua solução. Assim, por que não obter todas as possíveis soluções, para então testá-las e ver se realmente respondem ao problema?

Em termos práticos, uma postura como essa só se torna viável quando a obtenção e avaliação dessas soluções se derem de forma bastante rápida. Isso é conseguido com o emprego dos computadores, que passam a atuar como máquina geradora de soluções viáveis e avaliadas.

Isso permite que os modelos gerativos produzam uma enumeração exaustiva de todas as possíveis soluções, ou ao menos de grande parte delas, dentre as quais se escolhe(m) a(s) melhor(es) frente a um ou mais critérios objetivos ou subjetivos quaisquer. São também chamados de modelos descritivos.

Mitchell(14) apresenta uma série de exemplos curiosos de aplicações em diversas áreas, como na literatura, na filosofia e na música. Na área das edificações, ele cita um trabalho desenvolvido pelo historiador Paul Frankl (1968) a respeito de uma sistemática adotada por Leonardo da Vinci para projetar a nave principal de suas igrejas. Da Vinci partia de uma série de figuras básicas - quadrados, octógonos, círculos, etc - e combinava-as de modo a gerar todas as possíveis composições, conforme ilustra a Figura 5.13.

O exemplo de da Vinci é bastante simples, já que o único procedimento que seu modelo adota é combinatorial. Em casos mais complexos, a geração está baseada numa aplicação recursiva de um

Figura 5.13 - Modelo gerativo adotado por Leonardo da Vinci no projeto de igrejas (14).

conjunto ordenado de regras ou procedimentos pelos quais são tomadas algumas decisões internas ao sistema, como, por exemplo, testar se a solução gerada atende a um determinado critério. Assim procedendo, consegue-se eliminar uma série de alternativas, diminuindo-se o universo das soluções geradas, fato muito importante, pois as soluções crescem de forma fatorial.

A maneira mais simples de se fazer essa eliminação é através do uso das chamadas matrizes de incompatibilidade. Nelas é feito um relacionamento entre os possíveis valores que duas variáveis podem assumir, indicando-se 1 quando ele for possível, e 0 quando não o for.

No exemplo de da Vinci, todos os relacionamentos são possíveis, o que corresponde a uma matriz de incompatibilidade formada apenas por números 1.

Para ilustrar as matrizes de incompatibilidade, Mitchell(14) apresenta um exemplo interessante, apesar de não relacionado com o projeto de edifícios, no qual gera as possíveis alternativas de montagem de um visor estereoscópico.

No caso, tomam parte três variáveis, que podem ser feitas de diferentes maneiras:

I - Método de produção da imagem - P:

- 1 - impressa;
- 2 - projetada;
- 3 - eletrônica.

II - Método de separação da imagem - S:

- 1 - imagens lado a lado;
- 2 - imagens superpostas de cores complementares ou polarizadas;
- 3 - alternar as faixas verticais das imagens do

olho direito e esquerdo;

4 - alternar, de forma sequencial e rápida, as imagens do olho direito e esquerdo.

III - Método de visão da imagem - V:

1 - através de dois visores separados, um para cada olho;

2 - através de óculos de cores complementares ou polarizadas;

3 - através de telas lenticulares.

Como algumas das alternativas possíveis para P, S e V não são compatíveis entre si, é necessária a imposição de algumas matrizes de incompatibilidade:

S						V			V								
1 2 3 4						1 2 3			1 2 3								
1 1 1 1 0						1 1 1 1			1 1 0 0								
P	2		1	1	1 1	P	2		1	1	1	S	2		1	1	0
3 1 1 1 1						3 1 1 1			3 0 1 1			4 1 1 1 0					

Com base nas matrizes anteriores, pode-se estabelecer um algoritmo que gere e teste cada alternativa, eliminando as inviáveis. Na Figura 5.14, é ilustrada a árvore de todas as combinações, com destaque para aquelas que atendem às restrições impostas.

O próprio Mitchell(14), bem como Gero & James(15), apresenta exemplos de modelos gerativos aplicados ao projeto do edifício, que serão respectivamente discutidos nos itens 7.3.3 e 6.2.1.

Além dos modelos gerativos, baseados na enumeração exaustiva das soluções, podem também ser elaborados outros, a partir dos quais as soluções sejam geradas de forma aleatória. Uma vez geradas,

Figura 5.14 - Árvore correspondente às combinações, com destaque para as viáveis, indicadas em preto (14).

elas são testadas, sendo aceitas somente quando estiverem em consonância com as restrições impostas.

No item 7.3.3, será discutida uma aplicação de um modelo de geração aleatória e teste, voltado para a área de definição do arranjo físico do anteprojeto.

5.4.3 - Máquina otimizadora

Conforme foi ilustrado na Figura 5.5, o modelo direto do processo de projeto pressupõe que numa única etapa o problema em estudo seja resolvido, e mais, que a solução obtida seja a solução ótima.

Esse tipo de modelo só é viabilizado com o emprego dos computadores, que atuam como máquina otimizadora.

Cabe aqui um parêntese. Como visto no item 5.2.2, os modelos, quanto a sua objetividade, podem ser determinísticos ou heurísticos.

No primeiro caso, eles levam a uma única e correta solução, sendo também chamados de modelos de otimização, prescritivos, normativos ou de programação matemática.

Assim, a Modelagem feita após a etapa de Análise deve ser tal que o modelo simbólico resultante leve à obtenção da solução ótima do problema.

Os procedimentos existentes para se alcançar esse ótimo, ou esse objetivo, são condicionados por uma série de restrições, que podem se apresentar, como já discutido, sob a forma de recursos disponíveis e de condições que devam ser observadas.

Objetivos típicos no projeto de um edifício são:

- maximizar o uso do terreno;
- minimizar as áreas de circulações;
- maximizar o lucro do empreendimento.

Restrições típicas são:

- Área construída menor do que 2.000 m²;
- coeficiente de aproveitamento menor do que 2,5;
- no. de vagas de estacionamento maior do que 30;
- custo total da obra menor do que Cz\$ 2.500/m².

Os procedimentos subentendidos nesses modelos baseiam-se em métodos numéricos, tais como:

- Programação Linear;
- Análise de Redes;
- Programação Dinâmica;
- Programação Não-Linear.

São inúmeras as referências que tratam desses métodos, sobretudo as ligadas à **Pesquisa Operacional-PO**, que é o campo do conhecimento que os estuda. Dentre elas, destacam-se: (57), (58), (59), (71), (75), (76), (77), (78), (79) e (80). Também algumas referências de caráter geral são de interesse, como: (14), (30) e (36).

Já nos modelos heurísticos não existe a garantia de que a solução obtida seja a ótima. Eles não se baseiam na aplicação de métodos numéricos oriundos das técnicas de programação matemática, mas sim de procedimentos mais "inteligentes", ligados à **Inteligência Artificial**.

Na área do projeto do edifício, os modelos heurísticos são utilizados sobretudo nas fases de estudos de viabilidade e de definição do projeto esquemático, ou arranjo físico, com destaque para esta última.

Nesse sentido, serão caracterizados de forma genérica dois dos procedimentos mais comumente empregados nessas aplicações:

- procedimentos via melhoramento;
- procedimentos de busca.

Os procedimentos via melhoramento ("improvement procedures") partem de uma solução arbitrada para o problema em estudo, que é então melhorada por meio de uma sequência cumulativa de pequenas modificações.

Para se entender melhor a lógica adotada, é apresentado o exemplo dado por Mitchell(14). Ele propõe que o problema seja comparado ao enfrentado quando se quer atingir o cume de um morro partindo-se de um ponto qualquer, como ilustra a Figura 5.15.

Um algoritmo possível de ser adotado nesse caso é partir de onde se está e dar um passo numa direção qualquer. Se nessa nova posição se estiver numa altura maior, repetir o processo; caso contrário, retornar à posição anterior, e tentar uma nova direção. O problema termina quando, numa dada posição, não se consegue dar qualquer passo que leve a um ponto mais alto (Figura 5.15.a).

Esse algoritmo, no entanto, não funciona caso ocorram cumes "locais" que não sejam o cume "global", ou cume mais alto (Figura 5.15.b).

Assim, os procedimentos via melhoramento devem ser capazes de se comportar de forma análoga à anteriormente apresentada, com o

Figura 5.15 - Procedimento via melhoramento:

- (a) caminhada feita para se atingir o cume do morro;
- (b) chegada a um cume "local" e não "global" (14).

cuidado de evitar a fixação num cume local, que aparentemente seja a solução do problema.

Podem-se melhorar as características heurísticas do procedimento via melhoramento, utilizando como analogia o exemplo anterior, se em vez de se caminhar para um ponto qualquer, dirigir-se para aquele que fornecer o maior desnível, ou seja, ao qual corresponder o maior melhoramento.

Esse conceito de se procurar o "melhoramento ideal" ("best improvement") dentre as possíveis alternativas foi aplicado por inúmeros pesquisadores como técnica de resolução do problema de arranjo físico.

Basicamente essas técnicas partem de uma proposta para o arranjo, para a qual é calculada a função objetivo "custo total de circulação". Mantidas as restrições impostas, são então testadas todas as trocas possíveis para um determinado ambiente, sendo feita aquela que corresponder a um maior ganho. E assim o procedimento continua fazendo as trocas vantajosas, até um determinado ponto no qual não se obtenham mais ganhos.

Esse procedimento é heurístico, na medida que o resultado obtido não é necessariamente o ótimo, pois é função do arranjo inicialmente feito.

Apresenta o inconveniente de poder se fixar num ótimo local. Apesar disso, procedimentos baseados nesses conceitos dão resultados bons com tempos de processamento razoáveis, principalmente quando se parte de um arranjo inicial próximo da solução ótima.

Uma série de estudos que utilizam esse procedimento aplicado ao edifício será apresentada nos itens 6.3.3 e 7.3.4.a.1. Para um aprofundamento nas técnicas de otimização aplicadas nesses casos,

consultar as referências (59), (71), (77), (78) e (79).

A estratégia anterior de se caminhar em direção ao "maior melhoramento" já caracteriza um procedimento de busca. Existem, no entanto, outros procedimentos, para os quais essa estratégia aparece de forma mais evidenciada. São os chamados procedimentos de busca.

É o caso de problemas estruturados numa sequência de estágios, representados por meio de um grafo ou de uma árvore, que vão sendo percorridos sequencialmente. Assim, as decisões vão sendo tomadas a cada estágio, ou nó, onde se decide por que caminho do grafo continuar.

Para tanto, cada nó deve corresponder a uma decisão a ser tomada, e cada arco, a uma das possíveis decisões. Chegando a um nó, deve-se decidir, com base no conhecimento sobre o problema até então acumulado, qual arco tomar, o que levará a um outro nó, e assim sucessivamente, até se alcançar um nó que represente uma solução do problema.

Cada solução é então obtida por meio de um caminharmento no grafo.

O que acaba distinguindo os diferentes algoritmos é o tipo de informação ou conhecimento que cada um usa para guiar a busca no sentido da melhor solução.

No item 7.3.4.b, serão apresentadas aplicações práticas no projeto do edifício, que servirão de exemplo das técnicas de modelamento heurístico ora apresentadas.

Os procedimentos de busca são discutidos nas referências que estudam a Teoria dos Grafos, como: (81) e (82).

A tendência futura da área do PEAC é a de privilegiar o desenvolvimento dos modelos heurísticos, já que inúmeras pesquisas têm sido feitas no campo da Inteligência Artificial, que caminha no sentido do computador "pensante", já discutido no item 4.4.

5.4.4 - Sistema integrado

Em qualquer um dos níveis anteriormente apresentados, o papel do computador é apenas o de uma ferramenta, auxiliando na resolução de aspectos isolados do processo de projeto. Assim, a grande limitação está em nenhum deles tratar o projeto como um todo, tendo o computador como um elemento integrador do processo, tanto a nível de sequência de decisão, quanto ao longo das suas diferentes fases.

Nesse sentido, desde o final da década de 60 começaram a ser desenvolvidas aplicações que abarcavam todas as atividades relativas ao projeto do edifício, procurando cobrir todo o processo completo que ocorria na prática. Essas aplicações são chamadas de Sistemas Integrados de PEAC.

São dois os aspectos fundamentais que devem constar num modelo que represente um Sistema Integrado de PEAC, conforme ilustra a Figura 5.16:

- os componentes básicos do sistema;
- os fluxos de comunicação existentes.

Os componentes básicos do sistema são:

- o usuário e sua interface;
- a base de dados;
- o gerenciador do processo.

Figura 5.16 - Modelo para Sistema Integrado de PEAC.

O componente responsável pela interface do usuário, ou entrada/saída de dados, deve estabelecer um verdadeiro "diálogo" com o operador, solicitando os dados necessários, só os aceitando após testar sua consistência, e apresentando os resultados dos processamentos feitos.

Essa comunicação deve ter um apoio eficiente de um módulo com capacidade gráfica, que facilite a troca de informação, tanto por ocasião da entrada dos dados, com o uso de "menus" de ícones e de periféricos gráficos, quanto na saída ou apresentação dos mesmos, com visualização 3D, vistas ortográficas, traçado de gráficos, etc.

Esse módulo deve ser mais do que uma "prancheta eletrônica". Uma planta de arquitetura ou uma rede de água fria, desenhadas com uma "prancheta", nada mais são do que um conjunto de entidades geométricas, enquanto que os SI pressupõem programas mais "inteligentes". Por exemplo, neles duas linhas paralelas passam a identificar uma parede à qual estão associadas outras informações: espessura, material, condutibilidade térmica, acabamentos, cor, etc. A uma linha que represente uma instalação estão associados dados como: material, diâmetro, rugosidade, etc.

Além de uma capacidade gráfica, a interface de comunicação deve prever que o diálogo estabelecido se dê numa linguagem próxima à do operador, fazendo perguntas e aceitando respostas da maneira mais semelhante possível a um diálogo entre dois projetistas.

A base de dados é composta por duas estruturas independentes, uma armazenando informações específicas, e a outra, as de caráter geral.

Assim, o banco ou base de dados do projeto armazena as informações dos projetos em desenvolvimento; cada um deve ter a sua própria base. A base de dados geral armazena informações de

caráter amplo, que podem ser usadas em diferentes projetos.

O gerenciador do processo é composto por um bloco responsável pela integração dos projetos dos diversos subsistemas do edifício - implantação, arquitetura, estrutura, instalações, custos, obra, etc, que, através de um conjunto de sub-rotinas diversas, permite que o projeto evolua por suas diferentes fases e etapas.

O conjunto de sub-rotinas é formado por uma série de programas organizados segundo os modelos isolados vistos anteriormente, que cumprem funções específicas no processo, auxiliando o projetista em diferentes aspectos, desde a estruturação do problema em estudo até a produção dos desenhos e memoriais de execução.

A grande vantagem desse arranjo é tornar o projeto como um todo acessível a qualquer atividade a ser elaborada, quer a nível de detalhamento - estudos iniciais, anteprojeto, projeto executivo - , quer a nível de especialização profissional - arquiteto, engenheiros de estruturas, de instalações, de custos, de obra, etc. Com isso, ganha-se muito tempo, pela economia conseguida com o fornecimento dos dados, feito uma única vez, e obtém-se uma qualidade de resultados muito melhor, principalmente no que se refere à ausência de incoerências de informações entre os diversos projetos complementares.

Essa economia no fornecimento de dados se reflete, principalmente, nos geométricos, que são empregados em aspectos como: arranjo físico, estrutura, instalações, avaliação estética, desempenhos termoacústicos, etc, e mais, para extrair informações como quantificações e orçamentos. Esse último recurso é provido pelo banco de dados geral, que contém informações como: composições de custos unitários, legislações, normas, etc.

Outra vantagem obtida com a integração é a possibilidade do projeto ir se desenvolvendo realmente de forma multidisciplinar,

de maneira que os requisitos necessários para satisfazer todas as suas facetas possam ser balanceados, visando à obtenção da solução de melhor compromisso entre as partes.

No entanto, como o processo de projeto tem um caráter dinâmico, o modelo deve ainda ressaltar a importância de um segundo aspecto, o fluxo de informações que se estabelece ao longo do tempo, à medida que o projeto vai sendo elaborado.

Assim, os principais fluxos envolvidos são:

- usuário-computador-usuário;
- subsistema-base de dados, ou gerenciador-base de dados;
- interno de cada subsistema;
- entre os diferentes subsistemas.

O fluxo usuário-computador-usuário é o que se estabelece por meio da interface do usuário, permitindo que o projetista tenha acesso à base de dados e, sobretudo, que ele interfira no componente gerenciador, atuando interativamente no processo.

O fluxo subsistema-base de dados ocorre quando um subsistema é acionado. Nessa hora ele consulta, através do gerenciador, a base de dados do projeto, para obter as informações necessárias. Caso um ou mais dados não estejam disponíveis, ele pode tanto consultar a base geral de dados, quanto solicitá-los ao usuário, através da interface.

Estando os dados disponíveis, o subsistema lança mão das correspondentes sub-rotinas, alterando assim os dados iniciais ou gerando novos. Dessa maneira, à medida que o projeto passa pelas suas diferentes fases, os dados característicos de cada subsistema são alterados ou expandidos, e essas novas informações devem ser atualizadas na base de dados do projeto, estabelecendo-se um fluxo interno típico de cada subsistema. Este fluxo é de

fundamental importância, na medida em que cada fase requer sempre informações da anterior para poder se desenvolver.

Esse mecanismo descrito pressupõe um quarto fluxo, que ocorre de forma indireta entre os diversos subsistemas, através da base de dados do projeto.

Como se vê, a importância do fluxo de informações num SI é muito grande, pois dele depende toda a coerência ou integração do próprio sistema.

Para tanto, torna-se fundamental uma estruturação dos dados envolvidos, feita de maneira criteriosa, sendo essa uma das áreas do PAC que requer maior conhecimento da ciência da computação, tanto no que se refere ao aspecto de programação - sistemas operacionais e linguagens de baixo e alto nível -, quanto de equipamentos - capacidade de memória, velocidades de acesso, etc.

A quantidade de informações presentes em um metro quadrado de um edifício é da ordem de 1 Kbyte(10). Além disso, a manipulação dessas informações envolve ainda uma quantidade igual de memória, perfazendo um total de 2 Kbytes por metro quadrado. Portanto um edifício de 10.000 m² requer, só para descrevê-lo, um total de 20 Mbytes de memória.

Assim, pela sua complexidade, não serão feitas maiores considerações sobre a área de estruturação de dados, pois isso demandaria um grau de tratamento compatível com a importância do assunto, o que extrapolaria os objetivos desse trabalho (ver também item II.2.1).

Um outro componente dos SI, que foi apenas citado mas que também é de fundamental importância e envolve considerações bastante complexas, é o que fornece capacidade gráfica ao sistema. Como já mencionado, a Computação Gráfica é tão essencial que constitui

hoje uma área específica dentro da ciência da computação, desenvolvendo-se em paralelo à do PAC, fornecendo a esta os recursos necessários ao seu funcionamento satisfatório.

Além disso, a Computação Gráfica está relacionada de forma muito próxima com a estruturação de dados, já que grande parte das informações presentes no processo são geométricas ou relacionais, e, a partir delas, é feita a maioria dos cálculos analíticos.

Por esse motivo, na concepção de um SI de PEAC, a definição da estruturação geométrica a ser adotada é feita de maneira conjunta com a concepção da base de dados, entendendo-se aqui por estruturação geométrica a descrição da geometria do edifício de forma matemática e compatível com um tratamento via computador.

Portanto o estudo dos modelos geométricos também é fundamental, sendo mais simplificado no caso dos edifícios, já que os objetos são quase sempre formados por planos ortogonais, não apresentando superfícies complexas, como no caso de automóveis, aviões, navios, etc.

Por todos esses motivos, também não serão feitas maiores considerações sobre a Computação Gráfica como um todo.

Por fim, convém apresentarem-se as características que um SI deve ter, segundo propôs D.G.Elms, em 1972, citado por Gero em (63) e (64):

- dinamismo: fácil de se modificar;
- integração: funcionar como um todo;
- fácil operação: interfaces bem desenvolvidas;
- versatilidade: aplicado a qualquer tipo de edifício;
- objetividade: fornecer as informações realmente necessárias;
- estocástico: capacidade de lidar com informações

probabilísticas;

- multiusuário: operado por toda a equipe de projeto;
- flexibilidade: usável de mais de uma maneira;
- viabilidade: proporcionar uma solução num tempo finito de utilização.

A essas, Gero acrescenta:

- acesso múltiplo: usado em várias fases, a partir de dados históricos.

Considerações adicionais sobre as características gerais dos SI podem ser encontradas nos trabalhos de Encarnação & Schlechtendahl(1), Groover & Zimmers(3), Milne(54), Eastman(83) e Hoskins(84).

No Anexo I são descritas as principais características de diversos SI de PEAC.

5.4.5 - Sistemas Especialistas - "Expert Systems"

Os Sistemas Especialistas-SE, ou "Expert Systems", são atualmente uma das mais avançadas linhas de pesquisa da ciência da computação. De forma resumida, eles são programas "inteligentes" que utilizam procedimentos por inferências para solucionar problemas que exijam conhecimento especializado numa determinada área.

A idéia que norteia a sua concepção é a de transformar o computador num "especialista" num determinado assunto. Para tanto, deve-se conseguir traduzir de forma simbólica o conhecimento humano sobre esse assunto, de maneira a poder se "ensinar" o computador. A chamada Engenharia do Conhecimento, ou "Knowledge Engineering", é o subcampo da Inteligência Artificial

que estuda as maneiras de se fazer essa tradução.

A nível de introdução, dois trabalhos são ilustrativos sobre o tema, o de Gero(85) e o de Sabbatini(86).

Nos SE, o conhecimento é fundamentalmente traduzido por meio da chamada "lógica formal" ("logic-based representation"), com a qual se montam sentenças utilizando operadores comumente empregados nos programas normais: "se", "então", "ou" e "e".

" *X será um pórtico rígido
se for composto por barras retilíneas
e as ações nele atuantes forem transmitidas nas vinculações
através de momentos*".

"*Se a parede for revestida com o material A
ou com o material B,
então ela terá um desempenho satisfatório*".

As regras anteriormente ilustradas não admitem incertezas, ou seja, ou a sentença é verdadeira ou falsa. Assim, se nas vinculações não ocorrerem momentos, o pórtico não será rígido.

No entanto, nos problemas reais, e, sobretudo, nos de projeto, ocorrem situações que não podem ser assim expressas. Portanto os SE devem ser capazes de incorporar e de processar informações incertas e incompletas. Eles fazem isso através da chamada "lógica probabilística" e dos "fatores de incerteza".

A lógica probabilística admite resultados diferentes de "verdadeiro" ou "falso", "sim" ou "não", "0" ou "1", associando a cada sentença uma medida de probabilidade dela ser verdadeira.

Os fatores de incerteza funcionam de forma semelhante, só que se baseiam mais na experiência sobre o assunto do que em dados

probabilísticos tratados estatisticamente.

A sentença a seguir é um exemplo dessas técnicas:

"Se numa parede exterior de alvenaria não for aplicado revestimento ou no revestimento ocorrerem fissuras acentuadas, e não havendo pintura adequada, então deverá ocorrer penetração de água em mais de 50% dos casos".

Os exemplos anteriores permitem perceber a complexidade envolvida na concepção de um SE, já que ele deve ser capaz de montar sentenças como as ilustradas e, a partir delas, inferir, de forma às vezes não totalmente segura, uma conclusão própria.

Apesar dessa complexidade, já existem trabalhos feitos no campo do PEAC nas áreas de:

- código de edificações (87);
- engenharia de estruturas (88)(89);
- detalhamento de projetos arquitetônicos (90).

Além disso existem outras publicações de interesse geral, como as de Brown(91), Rehak & Howard(92) e Hart(93), um levantamento bibliográfico sobre o tema (94) e o relato de pesquisas levadas a cabo na Universidade de Edimburgo (95).

Sem dúvida o estudo do uso dos computadores como SE de PEAC será um dos campos que mais se desenvolverá nos próximos anos, sobretudo pelo "sentido de inteligência" com que tratam o problema. No entanto as aplicações hoje existentes para o projeto de edifícios encontram-se ainda em nível de pesquisa e não serão, portanto, discutidas nesse trabalho.

Como última observação, e reforçando o fato de ser esse um dos mais recentes campos da computação, convém citar que, no levantamento feito por Gero(94), aproximadamente a metade dos mais de 80 textos relacionados foram escritos entre 1983 e 1985.

5.4.6 - "Máquina de Arquitetura"

Como se está discutindo o nível de intervenção que os computadores podem ter no trabalho de projeto, não se pode deixar de comentar a experiência, já mencionada no item 4.4, que N.Negroponte e L.Groisser desenvolveram, no final da década de 60, no MIT, que ficou conhecida como "A Máquina de Arquitetura - The Architecture Machine".

A Máquina de Arquitetura surgiu como decorrência das pesquisas de um SI para projetos urbanos, chamado URBAN5. Resumidamente, o sistema procurava identificar, a partir de um esboço feito na própria tela do computador e de "explicações" mais detalhadas sobre o problema, possíveis inconsistências entre os critérios fixados e a solução proposta. Além disso, ele permitia a realização de avaliações e de algumas simulações.

Foi um dos primeiros sistemas integrados, concebido ainda na década de 60, e tinha uma capacidade interativa muito desenvolvida para a época.

Operava com uma estação gráfica de trabalho, equipada com caneta-de-luz e teclado de funções especiais.

Descrições mais completas do sistema podem ser obtidas nas referências (14), (17), (23), (96), (97), (98), (99) e (100).

A partir dessa experiência, eles seguiram por uma linha segundo a qual o PEAC deveria ser desenvolvido por meio de uma máquina

inteligente.

Tal máquina deveria solicitar informações ao projetista por si mesma; deveria entender suas metáforas; deveria adquirir experiência e evoluir com o tempo; deveria se comunicar com qualquer pessoa; e, sobretudo, deveria ser inteligente (17).

Algumas de suas partes e alguns dispositivos chegaram a ser desenvolvidos, como os que permitiam a percepção visual de formas, o sensoreamento de superfícies por meio de luz, o reconhecimento de esboços, e outros, que permitiam à máquina "sentir" o ambiente.

O projeto foi, no entanto, abandonado, pois (23): *"constatou-se que ela (A Máquina de Arquitetura) possuía algumas tendências indesejáveis de interpretação da natureza da arquitetura e do projeto; ela era um agrupamento de pequenos artefatos, e não uma máquina de uso geral; não admitia uma necessária ambiguidade e os conflitos internos inerentes ao processo de projeto; não podia interagir com o mundo, exceto através de comunicações altamente restritas com o projetista"*.

Uma descrição detalhada da Máquina é encontrada no livro de Negroponte(17), bem como em seus artigos (101) e (102), este último escrito com Groisser. Taggart(103) descreve também o programa HUNCH, desenvolvido para permitir o reconhecimento de esboços.

Comentários sobre a experiência e seus resultados constam das referências (23) e (98).

O que Negroponte e Groisser idealizaram já é, de certa forma, possível. Por que não desenvolver computadores que possam, por exemplo, "sentir" o ambiente? Eles teriam armazenado a geometria do edifício em projeto e outras informações de caráter geral e

estariam ligados a sensores, o que os habilitaria, ao se fazer uma avaliação sobre um determinado ambiente, a dizer : "estou sentindo frio", "aqui está abafado", "o sol que entra pela janela me ofusca", "o nível de ruído perturba meu sono", etc.

Essas habilidades, "ficção científica" na década de 60, hoje são tecnicamente viáveis. Assim, é provável que num futuro relativamente próximo, quando elas também se tornarem economicamente viáveis, existam programas e equipamentos que se configurem quase como um "robô projetista", semelhante ao conceituado por Negroponte e Groisser.

5.5 - Comentários

Um dos objetivos deste Capítulo foi conceituar o papel que os computadores podem ter quando participantes do processo de projeto.

Como visto, isso se dá, fundamentalmente, através da manipulação de modelos que representem, de forma simplificada, o problema em estudo.

Devem ser modeladas não só etapas isoladas do processo (sínteses, avaliações e gerações), como o seu próprio encadeamento (modelo iterativo, modelo gerativo, modelo direto e sistema integrado).

Inglis, Medland & Carnall(104) apresentam um trabalho no qual comparam a eficiência dos modelos direto e iterativo, concluindo que ambos propiciam um adequado tratamento dos problemas de projeto, sendo que o iterativo deve apresentar características interativas.

Assim, além da modelagem, é preciso que se criem mecanismos para que o projetista atue diretamente no modelo, aprendendo com a

própria evolução da solução, através de aplicações interativas. Esses mecanismos traduzem a essência do PAC, qual seja homem e máquina trabalhando de forma conjunta.

Como um dos objetivos desse trabalho é o de apresentar um conjunto de aplicações práticas já desenvolvidas na área do PEAC até a fase de anteprojeto, pode-se usar os conceitos ora expostos, bem como os mencionados em capítulos anteriores, para organizar ou classificar essas aplicações segundo uma série de critérios:

- 1) Modelos de PEAC adotado::
 - Modelo iterativo.
 - Modelo gerativo.
 - Modelo direto.
- 2) Nível de intervenção do computador:
 - Máquina simuladora.
 - Máquina geradora.
 - Máquina otimizadora.
 - Sistema integrado.
 - Sistema especialista.
- 3) Fases do Projeto:
 - Estudos preliminares.
 - Anteprojeto.
 - Projeto executivo.
- 4) Etapas do Projeto:
 - Análise.
 - Síntese.
 - Avaliação.

Como já discutido no item 4.4, existe uma correspondência entre as fases do projeto e suas etapas. Além desse fato, os livros

tradicionais da área de PEAC adotam a classificação em função das etapas da sequência de decisão, relacionando-as às diferentes fases do projeto.

Por esse motivo, adotou-se nesse trabalho uma classificação que contemporize a tradicional (3 e 4) com as discutidas nesse Capítulo (1 e 2), bem como que trate o assunto até o nível de anteprojeto, conforme objetivos previamente apresentados.

Assim, será adotada a subdivisão das aplicações do computador no projeto do edifício segundo suas fases:

- Estudos Preliminares.
- Anteprojeto.

Os Capítulos 6 e 7 serão dedicados a cada uma delas, procurando mostrar o que já existe desenvolvido e qual a tendência para desenvolvimentos futuros. Para cada aplicação ilustrada discutir-se-á o modelo adotado e o nível de intervenção que o computador assume.

Uma visão geral das aplicações do PEAC pode ser encontrada em diversas referências, como, por exemplo: (11), (14), (19), (23), (65), (74), (105), (106), (107), (108), (109), (110), (111), (112), (113) e (114).

A título de complementação, os Anexos I e II serão, respectivamente, dedicados a apresentar uma descrição sumária do principais SI para PEAC e uma relação dos principais assuntos sobre o tema que não foram tratados nesse trabalho, bem como um levantamento da correspondente bibliografia.

CAPÍTULO 6 - FASE DE ESTUDOS PRELIMINARES

6.1 - Introdução

Como já colocado anteriormente, a fase de estudos preliminares do processo de projeto se confunde muito com a etapa de análise da sequência de decisão. De acordo com o que foi visto no item 4.1, ela envolve a identificação do problema pertinente ao projeto, com uma definição de seus limites e de seus objetivos. Isso é feito através dos chamados estudos de viabilidade.

Para tanto, é necessário o levantamento e o correlacionamento de todos os dados envolvidos.

A partir desse trabalho, e em consonância com as restrições e com os objetivos definidos pelos estudos de viabilidade, é feita a estruturação do problema, que possibilita a obtenção do programa do projeto, e também do seu organograma funcional.

Nesse Capítulo, mostrar-se-á como os computadores podem auxiliar os projetistas nessas tarefas.

6.2 - Estudos de Viabilidade

O objetivo dos estudos de viabilidade é a caracterização precisa do edifício que se quer projetar, de maneira a satisfazer, de forma simultânea, às necessidades daquele que quer o projeto - o cliente -, e às restrições impostas pelas legislações urbanísticas. Evidentemente estas, traduzidas pelas leis que regulamentam o uso e a ocupação do solo e pelos códigos de edificação, não são as únicas. Outras podem ser impostas pelo cliente, como limites de custos, ou ainda pode haver limitações como prazos, características mercadológicas, arquitetônicas, etc.

A caracterização do edifício implica em se definirem parâmetros tais como: área construída, número de pavimentos, usos - moradia, escritório, comércio, etc -, partido arquitetônico, técnica construtiva empregada, instalações necessárias, etc.

Para tanto, têm sido desenvolvidas técnicas matemáticas, sobretudo ligadas à PO, que fazem uso intensivo dos computadores como máquina otimizadora. Além desse, outros modelos também podem ser utilizados, como se verá a seguir. Todas as técnicas apresentadas pressupõem uma modelagem inicial do problema, que relaciona as necessidades a serem atendidas com as diversas limitações existentes.

6.2.1 - Modelos iterativos

Os computadores atuando como máquina simuladora são uma ferramenta poderosa para ser empregada nas avaliações econômico-financeiras a nível de estudos de viabilidade, já que são capazes de manipular e de processar de forma extremamente rápida um volume muito grande de informações.

Nesse sentido, Lima Jr.(115) desenvolveu um modelo bastante completo que emprega os computadores segundo esse nível de intervenção.

Tal modelo fornece ao usuário uma simulação antecipada dos riscos envolvidos em empreendimentos da Construção Civil.

6.2.2 - Modelos gerativos

Outros modelos simples de serem empregados nos estudos de viabilidade são os gerativos, que propiciam as chamadas análises morfológicas, nas quais o computador assume o papel de máquina

geradora.

Conforme já apresentado no Capítulo 5, os modelos gerativos produzem uma enumeração exaustiva de todas as possíveis soluções, as quais devem obedecer a determinadas restrições. Para cada solução é apresentada uma "avaliação", a partir da qual o projetista escolhe a mais conveniente, inclusive levando em conta qualquer fator subjetivo que ele julgar importante.

Esse tipo de tratamento é pouco adequado aos projetos dos edifícios, devido à complexidade dos fatores envolvidos.

Uma aplicação baseada nesse modelo foi desenvolvida por Gero & James(15). Partindo de informações como dimensões do terreno, parâmetros do zoneamento, padrões de acabamento, número de dormitórios, etc, o programa gerava possíveis configurações para edifícios residenciais de andares múltiplos, identificando as de melhor benefício econômico.

Sua formulação era bastante simplificada, e dificilmente poderia ser aplicada a problemas reais. O programa foi depois aprimorado, resultando na aplicação discutida no item 6.2.3.a.

6.2.3 - Modelos diretos

a) Modelos heurísticos

Gero(116)(117) apresenta um modelo direto para estudos de viabilidade, baseado em técnicas heurísticas. Tal modelo representa a realidade de forma bastante simplificada para ser útil à uma análise econômica mais completa. No entanto, e segundo o interesse dessa dissertação, é importante discutí-lo.

Assim, ele desenvolve uma formulação baseada na taxa de retorno bruto esperada, caracterizada por:

$$R = (V-C)/C \quad \dots\dots\dots (1)$$

onde: R = taxa de retorno bruto esperada;
V = receita de venda;
C = despesa de custo.

A receita de venda é dada por:

$$V = \sum_{i=1}^{ne} \left(\sum_{j=1}^{np} \left(\sum_{k=1}^{nup} V1ijk \cdot A1ijk \cdot y_i + V2ijk + A2ijk \cdot y_i \right) \right) \quad \dots\dots\dots (2)$$

onde: ne = número de edifícios;
np = número de pavimentos num dado edifício;
nup = número de usos num dado pavimento de um dado edifício;
A1ijk = área do uso k, no pavimento j do edifício i;
A2ijk = área adicional à área definida acima (áreas coletivas, garagens, etc);
V1ijk = receita de venda por unidade de área;
V2ijk = receita de venda por unidade de área adicional;
yi = % da área total do edifício que pode ser vendida.

A despesa de custo é dada por:

$$C = (C_t + C_p) \cdot A + \left(1 + \sum_{i=1}^{nt} C_i \right) \cdot \left(\sum_{i=1}^{ne} \left(C1i \cdot \left(\sum_{j=1}^{np} \sum_{k=1}^{nup} A1ijk \right) + C2i \cdot \left(\sum_{j=1}^{np} \sum_{k=1}^{nup} A2ijk \right) \right) \right) + C_v \quad (3)$$

onde: Ct = custo do terreno por unidade de área;
Cp = custo da preparação do terreno por unidade de área;
A = área do terreno;
nt = número de taxas percentuais incidentes no custo;

C = taxas percentuais incidentes (do projeto, da administração da construção, jurídicas, seguro, etc);
 $C1i$ = custo de construção por unidade de área do edifício i (função da altura);
 $C2i$ = custo de construção por unidade de área das áreas adicionais do edifício i ;
 Cv = custos totais de venda.

A restrição imposta pela legislação urbanística é dada pelas expressões :

$$CAG \geq \left(\sum_{i=1}^m CAi \left(\sum_{j=1}^{np} \sum_{k=1}^{np} (A1ijk + A2ijk) \right) \right) / A \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$ntp \geq f(A1, A2, A) \quad \dots\dots\dots (5)$$

onde: CAG = coeficiente de aproveitamento global;
 CAi = coeficiente de aproveitamento do edifício i ;
 ntp = número total de pavimentos;
 f = restrição urbanística do local (Austrália) - função das áreas: úteis, adicionais e do terreno, que limitam o número máximo de pavimentos.

O modelo prevê ainda coeficientes de correção para as despesas e receitas ao longo do tempo, levando em conta a depreciação do dinheiro e o aumento dos custos.

A característica do modelo é propor, na fase de cálculo, uma busca heurística das soluções que atendam aos limites impostos pelo coeficiente de aproveitamento global, através de uma combinação de variações no número de pavimentos dos edifícios.

Nas Figuras 6.1 a 6.3 é ilustrada uma aplicação no projeto de um conjunto de quatro edifícios para uso geral (A, B, C e E), um edifício para estacionamento (D) e um teatro, executada num computador IBM 360/50 - sistema CALL - 360.

1. Area/floor of high-rise block A (exc. balc.) = 7000
2. As above block B = 7000
3. As above block C = 7000
4. As above block D = 7000
5. Area/floor of office building block E = 12620
6. Area of stepped housing (exc. balc.) = 111352
7. Area of stepped housing balconies = 38440
8. Area of commercial space = 35500
9. Do you want the 500 seat theatre (y or N) = N

INPUT OF HEIGHT VARIATIONS

10. Min. no. of floors in bldg A = 25
11. Max. no. of floors in bldg A = 25
12. Step in no. of floors in A = 1
13. Min. no. of floors in bldg B = 25
14. Max. no. of floors in bldg B = 25
15. Step in no. of floors in B = 1
16. Min. no. of floors in bldg C = 25
17. Max. no. of floors in bldg C = 45
18. Step in no. of floors in C = 5
22. Min. no. of floors in bldg E = 16
23. Max. no. of floors in bldg E = 20
24. Step in no. of floors in E = 2
25. Stepped Housing parking = 146
26. Commercial parking = 600
27. Specified maximum Floor Space Index = 10
30. Time before construction of stage I commences (yrs) = 1

CAPITALISATION RATES

31. Offices \$/sq.ft. = 42.3
32. Stepped housing \$/sq.ft. = 25
33. Commercial space \$/sq.ft. = 40
35. Car parking \$/space = 2000
36. Commercial parking \$/space = 2000
37. Standardised unit size sq.ft = 940
38. Home-unit floors 1-10 \$ = 28200
39. Home-unit floors 11-20 \$ = 35250
40. Home-unit floors 21-30 \$ = 40420
41. Home-unit floors 31-40 \$ = 44000
42. Home-unit floors 41-up \$ = 46000
43. Eff. land cost \$/sq-ft = 40
44. Do want to include interest on land cost (y or N) = y
50. Interest on bridging finance % = 10

Figura 6.1 - Entrada de dados (116).

No. Floors E	No. Floors A	No. Floors B	No. Floors C	No. Floors D	Site Ratio	TOTAL Real's'tns (\$)	TOTAL Costs (\$)	Gross Return %
16	25	25	30	54	9.98	43727567	47731542	-8.39
16	25	25	35	49	9.98	46303698	47819921	-3.17
16	25	25	40	44	9.98	43348330	47716740	-9.15
16	25	25	45	39	9.98	46287935	47738696	-3.04
18	25	25	30	51	9.98	43629526	47674749	-8.49
18	25	25	35	46	9.98	46244211	47766166	-3.19
18	25	25	40	41	9.98	43250696	47664546	-9.26
18	25	25	45	36	9.98	46230101	47689902	-3.06
20	25	25	25	53	9.98	46397271	47745725	-2.82
20	25	25	30	48	9.98	43531534	47619730	-8.59
20	25	25	35	43	9.98	46146142	47713520	-3.28
20	25	25	40	38	9.98	43179716	47614897	-9.31
20	25	25	45	33	9.98	46172377	47643279	-3.00

Do you want to examine stage by stage returns (y or N) ? = y

Number of storeys in building E = 16

Number of storeys in building A = 25

Number of storeys in building B = 25

Number of storeys in building C = 35

```

***** STAGE 1
GROSS RETURN = 5.00% for this stage ***
***** STAGE 2
GROSS RETURN = -3.99% for this stage ***
***** STAGE 3
GROSS RETURN = -7.38% for this stage ***
***** STAGE 4
GROSS RETURN = -5.85% for this stage ***
***** STAGE 5
GROSS RETURN = -3.02% for this stage ***

```

16 25 25 35 49 9.98 46303698 47819921 -3.17

Do you want to examine stage by stage returns (y or N) ? =

I'm at step 1.119.

store all values replacing values

Done.

go

Do you want to examine stage by stage returns (y or N) ? = N

Do you want to examine any solution in detail (y or N) ? = N

do you want another run with any of the above data altered (y or N) ? = y

Figura 6.2 - Soluções iniciais; exames dos estágios de uma solução específica; armazenamento das soluções(116).

STAGE 1

TOTAL DEVELOPMENT COSTS

LAND COSTS	
\$ 40.00/sq.ft. on 36415 sq.ft. to include legal fees	\$ 1456520
BUILDING COSTS	
Construction cost inc. proportion of excavation cost	\$ 7388625
Architects/Engineers/Quantity Surveyors fees - 10%	\$ 738863
Contingencies - 5%	\$ 369431
Interest on \$ 8496919 for half time of 100 years at 10.00% p.a.	\$ 928927
H.P.M. & P. FEES	
Fees of 2% on \$ 7388625	\$ 147773
RATES AND TAXES DURING DEVELOPMENT	
Assume \$5 on UCV (Council & Water Rates & Land Tax)	
Rates and Taxes = \$15913 for 3.19 years	\$ 50707
Interest at 10.00% p.a. for 3.19 years	\$ 5544
SALE FEES AND PROMOTION	
Say 2% on total realisation of \$13735925	\$ 274719

TOTAL DEVELOPMENT COSTS	\$11361169

ULTIMATE CAPITAL REALISATIONS

OFFICE SPACE	
Yield area of 245144 sq.ft. realised at \$50.00/sq.ft.	\$12257175
Office - 245 car spaces realised at \$1750/space	\$ 428750
Public - 600 car spaces realised at \$1750/space	\$ 1050000

TOTAL REALISATIONS	\$13735925

***** GROSS RETURN = 20.90% for this stage *****

Figura 6.3 - Saída detalhada de uma determinada solução, para o seu primeiro estágio (primeiro edifício)(116).

A Figura 6.1 apresenta a fase de entrada de dados; a Figura 6.2 apresenta a saída inicial, na qual são apresentadas as possíveis soluções, com as correspondentes taxas de retorno.

Na Figura 6.2 encontra-se também ilustrada a análise do retorno obtido a cada estágio da construção, para uma dada solução (cada estágio corresponde à construção de um dos cinco edifícios).

A Figura 6.3 ilustra o exame detalhado de uma dada alternativa, após terem sido feitas algumas modificações nos dados. Nela encontram-se apenas apresentados os valores correspondentes ao primeiro estágio. Exames semelhantes a esse são também feitos para os demais.

A grande vantagem de uma modelagem como essa é a de permitir a contribuição do projetista, ou de qualquer outro especialista, na obtenção da solução ideal, inclusive com a inclusão de fatores subjetivos. Esse fato diferencia esse tratamento do que é mais comumente empregado nesses problemas, através do uso de técnicas de programação matemática, sobretudo a programação linear, conforme será visto no próximo exemplo. As técnicas heurísticas e interativas permitem considerar aspectos não-quantificáveis, aumentando a confiabilidade das soluções.

b) Modelos de otimização: programação linear

Os modelos baseados em técnicas de programação linear, ou seja, nos quais os computadores assumem o papel de máquina otimizadora, são muito empregados no estudo de viabilidade.

Guelpa(118) desenvolve um modelo desse tipo, como o de Gero bastante simplificado, adaptado às restrições do Município de São Paulo, que é implementado por Laterza & Cardoso(25).

O modelo em questão procura otimizar o lucro esperado num determinado empreendimento, definido pela diferença entre o preço de venda e seu custo esperado, sendo dado por:

$$L = \sum_i \sum_j ((FV(I,J) - C(I)) \cdot X(I,J) + (PVEI - CEI) \cdot XEI + (PVED - CED) \cdot XED - CV \cdot XV) \dots\dots\dots (6)$$

onde:

- L = lucro esperado;
- PV(I,J) = preço de venda unitário do uso I no pavimento J;
- C(I) = custo unitário do uso I;
- X(I,J) = área destinada ao uso I no pavimento J;
- PVEI = preço de venda unitário do estacionamento no subsolo;
- CEI = custo unitário do estacionamento no subsolo;
- XEI = área destinada ao estacionamento no subsolo;
- PVED = preço de venda unitário do estacionamento descoberto;
- CED = custo unitário do estacionamento descoberto;
- XED = área destinada ao estacionamento descoberto;
- CV = custo unitário da área verde;
- XV = área destinada à área verde.

As restrições urbanísticas impostas são:

- limitação da área máxima construída;
- limitação da área máxima ocupada do terreno;
- número mínimo de vagas de estacionamento;
- área verde mínima;
- área do terreno disponível;
- recursos financeiros disponíveis;
- informações mercadológicas, como áreas máximas recomendadas para cada uso;
- limitações arquitetônicas, como a padronização ou não dos diversos pavimentos em termos de sua forma geométrica.

Aguilar & Hand(119) propõem um modelo semelhante ao de Guelpa, no qual introduzem variáveis probabilísticas, que procuram levar em conta a facilidade de vender uma área destinada a um certo uso, num determinado pavimento. O modelo elaborado leva também em conta o custo adicional de construir mais ou menos pavimentos, onde isso se reflete nos custos dos subsistemas fundação e estrutura.

Modelos como esses, que consideram como objetivo a maximização do lucro do empreendimento, apesar de serem bastante comuns, não são os únicos. Na verdade tem-se uma série de outros quesitos, tão ou mais importantes do que o lucro resultante da venda, sobretudo quando se projeta um edifício para uso do próprio cliente. Nesse caso, busca-se também uma minimização dos custos do edifício após a sua execução, ou seja, custos relativos ao seu uso, conservação e manutenção.

Assim, podem-se caracterizar como parâmetros de desempenho a ser considerados nos estudos preliminares, os seguintes aspectos:

- financeiros: taxa de retorno, liquidez, risco, montante de capital necessário, fluxo de caixa, etc;
- técnicos: versatilidade do edifício, gastos de energia, circulações necessárias, área útil ocupada, iluminação, etc;
- de uso: conforto termoacústico, localização, acessos, aspecto, insolação e iluminação, etc;
- conservação e manutenção: materiais empregados, características especiais do edifício, etc.

De certa forma, os modelos anteriormente apresentados incorporam não somente aspectos financeiros, na medida que prevêm restrições impostas pela legislação urbanística, como áreas máximas construídas, área verde mínima, estacionamento, etc.

Russel & Arlani (80) apresentam um trabalho significativo nessa área, onde eles estudam qual a função objetivo ideal que maximize a relação custo x benefício, levando em conta não só o capital necessário à construção, como também os custos correspondentes ao ciclo de vida do edifício, no que se refere ao seu aspecto energético, destacado por eles como sendo o aspecto não-financeiro mais significativo.

Outro modelo que incorpora aspectos não-financeiros é apresentado no item 6.2.4.

c) Modelos de otimização: programação dinâmica

Gero desenvolveu, a partir do modelo heurístico discutido no item 6.2.3.a, um modelo de programação dinâmica para a realização de estudos de viabilidade.

O modelo foi idealizado visando representar não o estudo de um edifício tratado de forma isolada, mas sim um conjunto de edifícios, ou até mesmo uma cidade.

Sua descrição mais detalhada encontra-se na referência (120), sendo também citado em (116), (121) e (122).

Em linhas gerais, Gero evolui seu novo modelo a partir das cinco expressões anteriormente apresentadas no item 6.2.3.

Cada estágio do problema a ser otimizado é um edifício, ou seja, se for maximizado o retorno esperado de cada edifício, será também maximizado o retorno global.

Para cada estágio e , ou para cada edifício, existem duas variáveis de estado: o número de pavimentos x_e e a área de cada pavimento y_e .

Além dessas expressões, Gero desenvolve outras, baseadas nas técnicas da PD, que permitem que o problema seja resolvido de forma sucessiva para cada estágio, até o estágio final (último edifício).

Conhecidos os valores das funções retorno a cada estágio, determinam-se os valores ótimos de x_e e y_e correspondentes a cada edifício.

O próprio Gero faz alguns comentários a respeito do fato de seu modelo se basear em duas variáveis de estado, o que raramente acontece em PD. Assim, ele o transforma num modelo unidimensional, através da fixação da área dos pavimentos y_e .

Partindo desta premissa, o modelo foi testado para diversos valores de áreas, num total de 8 estágios e 60 estados por estágio, e a maximização a cada estágio foi conseguida através de uma busca direta correspondente a cada estado.

Apesar do número aparentemente elevado de cálculos, essa técnica permite uma enorme redução no processamento, comparada com a enumeração exaustiva de todas as alternativas. A Tabela 6.1 expressa a relação entre o número de adições e de comparações que deveriam ser feitas por uma enumeração exaustiva e as correspondentes à aplicação do modelo proposto.

6.2.4 - BOP - "Building Optimization Program"

O programa BOP merece um destaque especial pela sua originalidade e abrangência, tendo sido desenvolvido em 1967, por Neil Harper e David Sider, para o escritório norte-americano de projetos Skidmore, Owings & Merrill, de Chicago.

Nº de Estágios	Nº de Estados					
	2	5	10	50	100	1000
2	1.7	3.6	7	33	67	670
5	12	380	5×10^3	3×10^4	5×10^7	5×10^{11}
10	360	1×10^4	5×10^8	1×10^{15}	5×10^{17}	5×10^{26}
20	4×10^5	1×10^{13}	5×10^{20}	1×10^{32}	5×10^{37}	5×10^{44}
50	4×10^{14}	1×10^{24}	5×10^{40}	1×10^{62}	5×10^{77}	5×10^{144}
100	4×10^{29}	1×10^{49}	5×10^{90}	1×10^{160}	5×10^{197}	5×10^{394}

Tabela 6.1 - Relação entre os cálculos da enumeração exaustiva e os da programação dinâmica (120).

JOB TITLE CLIENT X

ALL SOLUTIONS AT 1 FLOOR INCREMENTS

DESIGN LIMITS	MINIMUM	MAXIMUM	TARGET
Gross floor area	270000.	330000.	300000. (*)
Gross area per floor	14000.(*)	16000.(*)	
Building width	50.000	125.000(*)	
Building length	50.000	150.000(*)	
Core width	25.000	250.000	
Core length	25.000	250.000	
Core to exterior span	35.000	45.000	
Number of stories	1	100	
Length width ratio	1.000	2.000	
Shape increment	0.200		
Number of solutions		25	
Glass line offset			0.000
Bldg line offset			0.000
Module choices	5-0		

Figura 6.4 - Dados fornecidos (assinalados com *) ou assumidos pelo BOP (117).

O BOP, apesar de ser voltado para a área de estudos preliminares, dava ao tema um tratamento amplo, procurando considerar não só os aspectos financeiros, como também os técnicos.

Seu objetivo básico era otimizar a configuração de edifícios de escritórios de grande porte e, para tanto, levava em conta os custos correspondentes aos seguintes subsistemas do edifício:

- fachadas;
- elevadores;
- instalações de aquecimento, ventilação e condicionamento de ar (AVCA);
- estruturas.

O fato do programa considerar esses subsistemas indica a sua complexidade e a necessidade da organização de uma base de dados comum sobre a geometria, os dados ambientais e as limitações do projeto como um todo. Esse aspecto faz com que se possa considerar o BOP como um sistema integrado para projeto, a nível de estudos preliminares.

Uma descrição mais detalhada do programa é encontrada nas referências (76), (99), (109) e (117).

O BOP é basicamente um programa gerativo, no qual o trabalho se desenvolve de forma interativa, já que é possível se alterarem dados ao longo do processamento.

No início, o projetista pode especificar tantas restrições quantas quiser. Caso alguma restrição essencial não seja explicitada, o programa assume automaticamente valores médios já pré-programados. Por exemplo, dos valores que constam da Figura 6.4, apenas os assinalados com (*) foram fornecidos pelo projetista.

Com base nesses valores, o programa gera soluções geométricas, que são avaliadas frente a aspectos como limitações urbanísticas, requisitos do cliente, restrições arquitetônicas e limitações do terreno.

Caso a geometria esteja apta, ela é avaliada frente aos requisitos impostos pelas fachadas, pelos elevadores, pelas instalações de AVCA e pela estrutura, e seus custos são também determinados.

Assim, o programa testa todas as soluções viáveis e, por fim, apresenta aquelas que fornecem o menor custo, o menor custo por unidade de área e o máximo retorno.

Na Figura 6.5 é ilustrado um sumário das soluções geradas.

Uma vez geradas as soluções, o projetista pode alterar algum dado inicial, ou impor outro qualquer, repetindo-se o processo. Pode também examinar uma das alternativas de forma detalhada, obtendo planilhas como as ilustradas nas Figuras 6.6 e 6.7, que apresentam, respectivamente, as características arquitetônicas e técnicas de uma dada solução.

A Figura 6.8 ilustra uma outra saída do programa, que relaciona os custos de cada subsistema do edifício para uma determinada alternativa gerada.

A importância do BOP é muito grande dentro da história do PEAC, tendo sido o mais avançado programa existente na área até o final da década de 60.

ID FL NO. NO.	MODL. ft. in.	LEASE SPAN ft. in.	FLOOR DIMENSIONS				CORE DIMENSIONS				GROSS PER FL sq. ft.	TOTAL GROSS sq. ft.	TOTAL RENT sq. ft.	TOTAL PCT RENT	BLDG COST \$1000	UNIT COST \$/SF	RETURN ON INVEST
			L	W	Length ft. in.	Width ft. in.	L	W	Length ft. in.	Width ft. in.							
1 18	5-0	35-0	25	25	125-0	125-0	8	11	40-0	55-0	15625.	281250.	240862.	85.6	7385.	26.25	9.85
2 18	5-0	35-0	29	21	145-0	105-0	13	7	65-0	35-0	15225.	274050.	234194.	85.4	7273.	26.54	9.39
3 19	5-0	35-0	25	25	125-0	125-0	8	11	40-0	55-0	15625.	296875.	255649.	86.1	7730.	26.04	10.34
4 19	5-0	35-0	26	22	130-0	110-0	11	8	55-0	40-0	14300.	271700.	232236.	85.4	7250.	26.68	9.21
5 19	5-0	35-0	29	21	145-0	105-0	13	7	65-0	35-0	15225.	289275.	243581.	85.9	7612.	26.31	9.89
6 20	5-0	35-0	25	25	125-0	125-0	8	11	40-0	55-0	15625.	312500.	269488.	86.2	8068.	25.81	10.70
7 20	5-0	35-0	24	24	120-0	120-0	9	10	45-0	50-0	14400.	288000.	246617.	85.6	7605.	26.40	9.64
8 20	5-0	35-0	26	22	130-0	110-0	11	8	55-0	40-0	14300.	286000.	244750.	85.5	7563.	26.44	9.57
9 20	5-0	35-0	29	21	145-0	105-0	13	7	65-0	35-0	15225.	304500.	262020.	86.0	7944.	26.03	10.24

Figura 6.5 - Sumário das saídas obtidas com o uso do BOP (117).

SOLUTION 3 - ARCHITECTURAL SUMMARY

CLIENT X

PLAN DIMENSIONS

Module 5 ft. 0 in.
Floor length 125 ft. 0 in.
Floor width 125 ft. 0 in.
Travel distance 77 ft. 0 in.

Lease span 35 ft. 0 in.
Core length 40 ft. 0 in.
Core width 55 ft. 0 in.

ELEVATION DIMENSIONS

First floor at 20.00 ft. = 20.00
Second floor at 12.50 ft. = 12.50
16 typical floors at 12.50 ft. = 200.00
1 mechanical floor at 20.00 ft. = 20.00
Totals 19 stories 252.50 feet

Typical structural depth 21.0 in. Mech. room locations
Typical mechanical clearance 18.0 in. First at 19 fl
Typical lighting clearance 6.0 in. Second at *** fl
Typical floor to ceiling 8 ft. 9 in. Third at *** fl
Typical floor to floor 12 ft. 6 in. Partial at *** fl

TYPICAL FLOOR AREAS (SQ. FT.)

Gross per floor 15625.
Total bldg gross 296875.
Total bldg rentable 255649.
Overall efficiency ... 86.1

Mechanical ... 315.
Stairs 280.
Janitors cl .. 15.
Electric cl .. 80.

Fire tower ... 0.
Telephone 43.
Toilet 357.
Part mech. 0.

No. toilet fixtures .. 5
Stair width reqd. 38. in.

ELEVATOR ZONING AND PERFORMANCE

ZONE	FLOOR LOW FLOOR	FLOOR HIGH FLOOR	POP ZONE POP	DENSITY ZONE DENSITY	LOCAL CABS.	TOTAL CABS.	CAB SIZE	CAB SPEED	INTERVAL SECONDS	CAPACITY PCT	CAPACITY PEOPLE	SHAFT AREA	LOBBY AREA	TOTAL CORE	FLOOR EFF
1	2	10	909.	125.	4.	9.	3000.	500.	29.9	17.6	160.	720.	450.	2261.	91.
2	11	18	808.	125.	5.	5.	3000.	700.	25.6	23.1	187.	400.	250.	1741.	93.

Figura 6.6 - Saída detalhada das características arquitetônicas - geometria, fachada e elevadores - de uma solução gerada pelo BOP (117).

SOLUTION 3 - ENGINEERING SUMMARY

CLIENT X

STRUCTURAL

FLOOR SPAN	35.0 FT	BASE COST	3.50	SPAN PREMIUM	0.30	FOR SPANS	20. TO 40. FEET
UNDERFLOOR DUCT		UNDERFLOOR DUCT		HEIGHT PREMIUM	1.00	FOR HEIGHTS	20. TO 60. STORIES
PERIMETER AIR		PREMIUM	0.50				
EXPOSED STRUCTURE		PERIMETER AIR PREMIUM	0.15				
HVAC		EXPOSURE PREMIUM	0.30				

COST MULTIPLIER

COST PER TON

PERIM ZONE DEPTH

PERIMETER ZONE

INTERIOR ZONE ..

TOTALS

WINDOW WALL CHARACTERISTICS

PCT GLASS

BLINDS FACTOR

UGLASS

UWALL

BTU 8107355

BTU 3546281

BTU 11653636

STRUCTURAL COST 1150390--3.89/SQ.FT.

ENVIRONMENTAL DATA

TEMP. INSIDE

TEMP. OUTSIDE ...

SOLAR GAIN

OUTSIDE AIR

BTU/CFM

COST

COST

TOTAL COST 11653.63--3.92/SQFT - 3.92/SQFT

ILLUMINATION (Watts)

CONVENIENCE OUTLETS

(Watts)

BLDG. POPULATION

(People)

GROSS SPACE REQ. 0.050 GROSS

Figura 6.7 - Saída detalhada das características técnicas - estrutura e instalações de AVCA - de uma solução gerada pelo BDP (117).

SOLUTION 3 - COST AND FINANCIAL SUMMARY

CLIENT X

ENR COST INDEX 700.

BUILDING	TOTAL	O/O	\$/SF
SITE WORK	\$ 0.	0.00	\$ 0.00
FOUNDATION	\$ 285151.	4.93	\$ 0.96
SUPERSTRUCTURE	\$1150390.	19.89	\$ 3.87
EXTERNAL WALL	\$ 977691.	16.90	\$ 3.29
ARCHITECTURAL FINISHES	\$ 611833.	10.58	\$ 2.06
ELEVATORS	\$ 531160.	9.18	\$ 1.78
PLUMBING	\$ 296874.	5.13	\$ 0.99
HVAC	\$1165363.	20.15	\$ 3.92
ELECTRICAL	\$ 231279.	4.00	\$ 0.77
GENERAL CONDITIONS	\$ 387704.	6.70	\$ 1.30
G.C. FEE	\$ 144549.	2.49	\$ 0.48
BASE BUILDING COST	\$5781995.	100.00	\$19.47
CONTINGENCY	\$ 579199.	9.99	\$ 1.94
TENANT	\$1283961.	22.20	\$ 4.32
EQUIPMENT, FURNITURE	\$ 86729.	1.49	\$ 0.29
OTHER	\$ 0.	0.00	\$ 0.00
OVERALL BUILDING COST	\$7730885.	133.70	\$26.04

Figura 6.8 - Saída mostrando os custos de uma solução gerada pelo BDP (117).

6.2.5 - Comentários

Como visto, as aplicações a nível de estudos de viabilidade se caracterizam por dois aspectos:

- modelo adotado;
- abrangência das restrições.

As aplicações mais usuais utilizam modelos diretos, com aplicação das técnicas de programação linear, e limitam-se a considerar as restrições financeiras e urbanísticas.

Essas aplicações, bem como outras baseadas em modelos gerativos, têm uso prático bastante discutível, já que fazem uma análise restrita de um problema que deve ser tratado da forma mais ampla possível.

Para se ter uma aplicação realmente útil, ela deve permitir uma intervenção do projetista a nível interativo, bem como incorporar restrições técnicas.

Um modelo desse tipo é adotado no programa BOP, que deve ser completado pelas idéias de Gero e de Russel & Arlani.

6.3 - Estruturação de Problemas

Como já referido, a fase de estudos preliminares pode ser entendida como sendo a etapa de análise do projeto como um todo, na medida que pressupõe o levantamento e o correlacionamento dos principais dados nele envolvidos.

Com a crescente complexidade dos edifícios atualmente projetados, essa tarefa tem se tornado cada vez mais difícil, já que a quantidade de informações a ser manipulada é muito grande.

Assim, no início da década de 60, começaram a se desenvolver técnicas que auxiliassem os projetistas a organizar os dados do projeto, para que eles pudessem ser manipulados de forma mais confiável.

A primeira técnica com essas características foi proposta por C.Alexander, em 1962, com o correspondente programa HIDECS2 (ver itens 2.2 e 3.4.2). Baseava-se numa técnica de decomposição do problema numa árvore hierárquica.

Uma evolução foi desenvolvida por M.Milne, em 1971, baseada na técnica de análise de grupo ("cluster analysis"), resultando no programa CLUSTER.

Uma outra técnica empregada é o chamado escalamento multidimensional ("multi-dimensional scaling"), que foi inicialmente desenvolvida para ser aplicada a problemas das ciências comportamentais e sociais.

Todas essas técnicas pressupõem o uso de um computador para auxiliar no processamento das informações, atuando basicamente como máquina otimizadora, segundo modelos de otimização (HIDECS e CLUSTER) ou heurísticos via melhoramento (MDS). Elas serão discutidas a seguir.

6.3.1 - Decomposição em Árvores hierárquicas

O método baseia-se nos conceitos de Alexander(34), desenvolvidos para o projeto de cidades, e propõe uma organização rígida dos fatores intervenientes no projeto.

Para tanto, o projetista inicia o processo preparando uma lista de todos os requisitos que possam afetar a estrutura física do problema. Esses requisitos são então correlacionados, de forma a

se determinar os elos que os unem, ou as associações existentes.

O resultado desse correlacionamento é um grafo, no qual cada requisito corresponde a um nó e cada associação a um arco. Assim, o grafo obtido representa a estrutura do problema em questão, relacionando os requisitos, ou fatores intervenientes no projeto, entre si.

Uma vez estabelecido o grafo, ele pode ser tratado matematicamente, de forma a transformá-lo numa árvore, para a qual os requisitos encontram-se organizados de forma hierárquica, conforme ilustra a Figura 6.9.

Um algoritmo e um programa para resolver esse problema foram propostos por C.Alexander e M.L.Manheim (1962), e chamados de HIDECS2. Em 1963, Alexander apresentou uma nova versão do programa, chamado de HIDECS3.

Uma descrição e uma aplicação desses programas é feita por Bernholtz & Bierstone(123). A diferença básica entre os dois é que a versão inicial permitia a decomposição de um determinado nó em apenas dois galhos, resultando em árvores semelhantes à apresentada na Figura 6.9.b.

Além disso, os subproblemas, por estarem organizados segundo uma árvore, não apresentavam requisitos comuns, o que não ocorre na realidade.

A versão final procura resolver essas deficiências, e uma saída é apresentada na Figura 6.10.

Conhecida a estrutura hierarquizada, o projetista tem a seu dispor informações que possibilitam resolver o problema por estágios, ou seja, ele parte da solução dos subproblemas correspondentes aos níveis inferiores da árvore, que são

(a)

(b)

Figura 6.9 - Decomposição em árvores hierárquicas:

(a) grafo relacionando 17 requisitos.

(b) correspondente árvore (123).

(a)

(b)

Figura 6.10 - Árvore hierárquica de um projeto residencial envolvendo 72 requisitos.

(a) árvore completa.

(b) detalhe de um subproblema (123).

combinadas obedecendo-se à hierarquia, até ser obtida a solução global.

Um método semelhante a esse foi desenvolvido por Davis & Kennedy (124), e resultou no programa chamado EPS ("Evaluation of Problem Structure").

Owen(125) desenvolveu também um novo método seguindo os mesmos princípios de Alexander, que resultou no algoritmo por ele chamado de DCMPOS.

Miller et alii(126) apresentam um outro método, que originou o programa de decomposição MATRAN-I.

Considerações mais teóricas sobre os conceitos propostos por Alexander são feitas por Hanson(127).

6.3.2 - Análise de Grupo

A técnica de análise de grupo ("cluster analysis") foi desenvolvida e aprimorada por Murray Milne, na Universidade da Califórnia, no final da década de 60.

Antes de desenvolvê-la, Milne lecionava no curso de Arquitetura da Universidade do Oregon, onde realizava trabalhos acadêmicos baseados na técnica de Alexander.

A partir dessa experiência, ele percebeu que tal tratamento trazia uma série de problemas, principalmente por limitar a abrangência da análise, além de demandar um trabalho entediante por ocasião do estabelecimento da lista de registros. Agravando o problema, o programa HIDECS2 não funcionava de forma satisfatória.

Apesar de todos esses contratempos, Milne acreditava na utilidade de se tratar o assunto de forma sistematizada, no que era estimulado pelas pesquisas que então se desenvolviam no campo das Metodologias de Projeto (ver item 3.4).

Assim, propôs-se a desenvolver um algoritmo que permitisse organizar os elementos envolvidos num projeto, de forma a se obter uma macrosolução do problema.

Esse algoritmo ficou conhecido como técnica de análise de grupo, e deu origem ao programa CLUSTER(*), em 1967 (128).

Toda essa experiência encontra-se relatada pelo próprio Milne em (54). Uma descrição do programa pode também ser encontrada nas referências (14) e (23).

A seguir, são apresentadas suas características principais, ilustradas através do exemplo de um projeto hospitalar, proposto por Kernohan et alii(129).

O programa se inicia através da definição dos fatores intervenientes no problema, bem como do estabelecimento de uma matriz que os relacione. Essa matriz é chamada de matriz de associações e indica se a relação entre cada par de fatores é ou não existente.

A Figura 6.11 ilustra a matriz de associações do hospital estudado.

O cumprimento dessa etapa é relativamente trabalhoso, e pressupõe que o projetista conheça os objetivos e as restrições, de modo a estabelecer a matriz.

(*) Em algumas referências aparece a grafia CLUSTR.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Enfermaria clínico	1	X	X	X				X	X			X	X	X	X	X	X				X	X	X	X
Enfermaria cirúrgico	2		X	X				X	X			X	X	X	X	X	X				X	X	X	X
Ortopedia	3			X				X	X			X	X	X	X	X	X				X	X	X	X
Oftalmologia	4				X		X	X	X			X	X	X	X	X	X				X	X	X	X
Podiatria	5					X		X				X	X	X	X	X	X				X	X	X	X
Ambulatório clínico	6						X					X	X	X	X	X	X				X	X	X	X
Ambulatório cirúrgico	7							X	X			X					X				X	X	X	X
Beto de observação	8								X			X	X	X	X	X	X				X	X	X	X
Procedimentos	9											X	X	X	X	X	X				X	X	X	X
Policlínico	10											X	X	X	X	X	X				X	X	X	X
Maternidade	11											X	X	X	X	X	X				X	X	X	X
Recepção/seguro	12											X	X	X	X	X	X				X	X	X	X
Radiografia	13												X	X	X	X	X				X	X	X	X
Radioterapia	14													X	X	X	X				X	X	X	X
Laboratório	15														X	X	X				X	X	X	X
Centro cirúrgico	16															X	X				X	X	X	X
Terapia intensiva	17																X	X			X	X	X	X
Fisioterapia	18																	X	X		X	X	X	X
Assistência social	19																		X		X	X	X	X
Nutrição	20																			X	X	X	X	X
Neurofisiologia	21																				X	X	X	X
Beto dos médicos	22																					X	X	X
Administração	23																						X	X
Suprimento e depósito	24																							X

Figura 6.11 - Matriz de associações (129).

Simplex (1,10)	=	1	2	3	4	8	9	12	13	23	24	
Simplex (2,10)	=	1	2	3	4	8	9	12	15	23	24	
Simplex (3,10)	=	1	2	3	4	8	9	12	18	23	24	
Simplex (4,11)	=	1	2	3	4	8	9	15	17	22	23	24
Simplex (5,10)	=	1	2	3	4	8	9	18	22	23	24	
Simplex (6,9)	=	1	2	3	4	8	14	17	23	24		
Simplex (7,7)	=	1	2	3	14	17	21	24				
Simplex (8,7)	=	1	2	4	15	17	21	24				
Simplex (9,10)	=	2	3	4	7	8	9	13	17	22	24	
Simplex (10,9)	=	2	3	4	9	13	16	22	23	24		
Simplex (11,9)	=	2	3	4	9	15	16	22	23	24		
Simplex (12,7)	=	2	3	4	14	16	23	24				
Simplex (13,8)	=	4	5	7	9	13	17	22	24			
Simplex (14,7)	=	4	5	9	12	13	23	24				
Simplex (15,8)	=	4	5	9	13	16	22	23	24			
Simplex (16,8)	=	4	5	9	15	16	22	23	24			
Simplex (17,7)	=	4	5	9	18	22	23	24				
Simplex (18,6)	=	4	5	14	16	23	24					
Simplex (19,7)	=	6	8	12	13	19	23	24				
Simplex (20,6)	=	6	8	12	15	23	24					
Simplex (21,6)	=	6	8	15	22	23	24					
Simplex (22,6)	=	6	8	18	22	23	24					
Simplex (23,6)	=	6	12	18	20	23	24					
Simplex (24,6)	=	6	12	19	20	23	24					
Simplex (25,6)	=	9	12	18	20	23	24					
Simplex (26,6)	=	10	13	16	22	23	24					
Simplex (28,5)	=	10	18	22	23	24						
Simplex (29,4)	=	11	24	23	14							
Simplex (30,5)	=	11	15	22	23	24						

Tabela 6.2 - Correspondentes simplex, onde o primeiro número identifica o simplex e o segundo dá o número de seus elementos (129).

Se cada fator for considerado como sendo um nó e cada associação como um arco, ver-se-á que uma matriz de associações nada mais é do que um grafo tridimensional (ver HIDECS2, item 6.3.1).

Assim, o algoritmo para resolver o problema baseia-se na teoria dos grafos, começando pela identificação de todos os simplex da matriz.

Um simplex é um grafo formado por três ou mais fatores que interagem entre si. É também conhecido como grafo completo. A Tabela 6.2 ilustra os simplex do hospital estudado.

Um simplex corresponde a um grupo de fatores fortemente interrelacionados, de onde advém o nome da técnica. Cada grupo forma, portanto, um subproblema relativamente isolado.

A seguir, o programa combina os simplex hierarquicamente, de forma a criar novos grupos, que são novamente combinados, até formar uma árvore hierarquicamente organizada que representa a estrutura do problema. A Figura 6.12 ilustra a árvore correspondente ao projeto do hospital.

A combinação dos simplex entre si, formando novos grupos, e desses até formar a árvore final, é controlada através de um índice de interrelação.

Para se entender a determinação desse índice, tome-se o caso dos simplex 29 e 30 da Tabela 6.2, que são ilustrados na Figura 6.13 sob a forma de grafos.

Os dois grafos conjuntamente envolvem seis fatores: 11, 14, 15, 22, 23 e 24. Caso todos esses fatores estivessem relacionados entre si, formando um único simplex, o número total de relações ou de arcos seria dado pela combinação dos fatores dois a dois.

Figura 6.12 - Correspondente árvore (129).

Figura 6.13 - Grafos dos simplex 29 e 30.

Figura 6.14 - Grupo formado pela união dos simplex 29 e 30.

Essa combinação resultaria em:

$$R = \frac{6!}{2! \cdot (6-2)!} = 15 \text{ arcos}$$

Agora, se os dois simplex forem combinados, de forma a se obter um novo grupo, o número real de relações será 13, já que não existe ligação entre os fatores 14-15 e 14-22, conforme ilustra o grafo da Figura 6.14.

Assim, o índice de interrelação desse grupo será:

$$I = \frac{13}{15} = 0,87$$

O que o programa faz, então, é combinar sucessivamente os grupos que apresentem maior índice de interrelação, garantindo assim a hierarquicidade da árvore final obtida.

Isso ocorrido (Figura 6.12), pode-se montar uma representação gráfica do problema, agora de uma forma estruturada, como mostra a Figura 6.15.

A análise de grupos foi desenvolvida para ser utilizada como uma ferramenta pedagógica, nos cursos de Arquitetura ministrados por Milne.

Apesar disso, ela se tornou uma técnica eficiente e útil, tendo sido largamente utilizada não só na Arquitetura, como também em problemas de planejamento e científicos (14).

Uma outra técnica de análise de grupos foi desenvolvida baseada em métodos empregados nas ciências comportamentais. Trata-se do

Figura 6.15 - Interpretação gráfica da árvore (129).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Enfermaria clínica	1		70	70	70				100	200								100	200	01	04	05	06	07	08
Enfermaria cirúrgica	2			70	70				200	200	000							100	200	01	04	05	06	07	08
Ortopedia	3				70	70				200	200	000						100	200	01	04	05	06	07	08
Oftalmologia	4					70				200	200	000						100	200	01	04	05	06	07	08
Pediatria	5						100											100	200	01	04	05	06	07	08
Ambulatório cirúrgico	6							100										100	200	01	04	05	06	07	08
Ambulatório cirúrgico	7								100	000								100	200	01	04	05	06	07	08
Sala de observação	8									100								100	200	01	04	05	06	07	08
Procedimentos	9										100							100	200	01	04	05	06	07	08
Psiquiatria	10											100						100	200	01	04	05	06	07	08
Maternidade	11												100	001	01	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13
Recepção/espera	12													100	001	01	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Radiografia	13														100	001	01	04	05	06	07	08	09	10	11
Radioterapia	14															100	001	01	04	05	06	07	08	09	10
Laboratório	15																100	001	01	04	05	06	07	08	09
Centro cirúrgico	16																	100	001	01	04	05	06	07	08
Terapia intensiva	17																		100	001	01	04	05	06	07
Fisioterapia	18																			100	001	01	04	05	06
Assistência social	19																				100	001	01	04	05
Nutrição	20																					100	001	01	04
Necrotério	21																						100	001	01
Sala dos médicos	22																							100	001
Administração	23																								100
Suprimento e depósito	24																								

Figura 6.16 - Matriz de interações (129).

escalamento multidimensional ("Mult-Dimensional Scaling - MDS"), que será vista a seguir.

6.3.3 - Escalamento Multidimensional - MDS

O MDS é uma técnica que foi adaptada ao projeto do edifício pela Universidade de Strathclyde, Escócia, no início da década de 70.

Basicamente ela converte informações numéricas a respeito do relacionamento ou da proximidade entre um conjunto de elementos numa configuração espacial que expresse esse fato.

O MDS envolve também o estabelecimento de uma matriz que represente esse relacionamento. A diferença em comparação com a análise de grupos é que essa matriz expressa, por meio de pesos, não só a existência de uma relação entre dois fatores, como também a importância relativa da ligação. Ela é conhecida por matriz de interações.

A escala usada para medir o peso da ligação depende da aplicação. Normalmente é empregada a variação de 0 a 10, onde 0 indica uma ligação indesejada e 10, uma obrigatória. Nesse caso, uma ligação de peso 6 é duas vezes mais importante do que uma de peso 3.

Na Figura 6.16 é apresentada a matriz de interações para o problema do hospital discutido no item anterior. A escala adotada procura representar a provável distância física entre os diversos elementos.

A técnica empregada no MDS parte do princípio de que o peso que expressa cada relação entre dois elementos pode ser interpretado como sendo uma medida de distância entre eles. Assim, os elementos podem ser entendidos como pontos, os quais podem ser

arranjados num espaço com um número qualquer de dimensões, de tal forma que a distância entre cada dois pontos seja equivalente à relação entre os correspondentes elementos.

Em Arquitetura, são procurados apenas os arranjos em duas ou, no máximo, três dimensões.

A Figura 6.17 ilustra uma aplicação na qual o escalamento é feito em duas dimensões, ou seja, no plano. Como se vê em (b), o resultado obtido se assemelha a um organograma funcional (ver item 6.4).

O modelo adotado no programa MDS é heurístico, e baseia-se num procedimento via melhoramento, partindo de uma solução inicial fornecida pelo projetista. A partir dela é procurada uma boa solução através de uma série de modificações iterativas. Numa certa configuração intermediária, a operação básica realizada é sua comparação com as relações anteriormente definidas e, a partir disso, produz-se uma nova configuração mais adequada.

O programa prevê também que a solução inicial possa ser gerada de forma randômica.

Neste caso, Kernohan et alii(129) colocam que de 10 a 15 iterações são suficientes para se obter uma solução adequada. O número de iterações é fixado pelo projetista, e deve estar em torno desses valores, já que a relação custo x benefício de mais iterações não é favorável.

A Figura 6.18 ilustra uma saída bidimensional obtida pelo MDS para o hospital anteriormente apresentado. Saídas em três dimensões não são expressas de forma gráfica, mas sim por meio de coordenadas cartesianas.

Figura 6.17 - Escalamento multidimensional aplicado ao projeto do arranjo físico de um escritório:
 (a) grafo que representa a matriz de interações;
 (b) escalamento em duas dimensões;
 (c) correspondente árvore hierárquica ou dendograma (14).

Figura 6.18 - Resultado da aplicação do MDS ao problema do hospital (129).

Como se vê pela Figura 6.18, a saída do MDS é muito mais rica em informações do que a do CLUSTER. Ela dá ao projetista uma visão global do problema que pode auxiliar bastante no desenvolvimento do projeto.

6.3.4 - Comentários

Sem dúvida, a aplicação dos computadores como auxílio para obtenção, de forma estruturada, do programa do projeto gera muitas controvérsias, pois apresenta aspectos positivos e negativos.

Primeiramente, os princípios teóricos das técnicas discutidas não são apresentados de forma clara em nenhuma das referências a que se teve acesso. Assim, um entendimento mais aprofundado pressupõe um estudo mais completo da Teoria dos Grafos.

Quanto aos modelos empregados, a maior crítica vem do fato de não permitirem um trabalho interativo.

Como discutido nos Capítulos anteriores, uma característica essencial do projeto é a dele se desenvolver de forma cíclica e interativa, num processo de aprendizagem e retroação. Apesar disso, essas técnicas obrigam o rígido estabelecimento de requisitos e de relações - listas de requisitos, matriz de associação, matriz de interação -, não permitindo que eles se modifiquem ao longo do processo.

Esse fato é ainda mais significativo nos programas HIDECS2 e CLUSTER. Por exemplo, estabelecer que a relação entre dois fatores existe ou não - 0 ou 1 - sem um meio termo, é algo muito drástico e pode facilmente se modificar à medida que se vai aprofundando no problema.

Uma outra deficiência dos modelos de Alexander e Milne é supor que a análise pode ser sempre feita do particular - um simplex ou um agrupamento - para o global. Essa postura pode ser prática, mas corre-se o risco das soluções particulares serem tomadas de forma desvinculada do todo.

Além dos problemas relativos aos modelos, existem outros, de caráter prático. Por exemplo, o levantamento de todos os requisitos, bem como o seu correlacionamento, é uma tarefa entediante e que demanda tempo.

Apesar disso, essa tarefa pode ser entendida como uma vantagem dessas técnicas, na medida em que ela obriga o projetista a ir mais fundo no entendimento e na explicitação do problema, traduzindo-o de forma mais racional.

Assim, se essas técnicas forem aplicadas de forma criteriosa, é provável que delas se obtenham resultados satisfatórios, principalmente em projetos para os quais haja pouca ou nenhuma experiência anterior.

De todas as técnicas, a do escalamento multidimensional é a que parece ser mais útil, por tratar o problema de forma global e por resultar numa saída que é mais do que um programa do projeto, assemelhando-se a um organograma funcional.

Por fim, convém destacar-se o trabalho de Klastorin(130), que apresenta um modelo de análise de agrupamentos aplicado a projeto de hospitais, e o programa AIDA ("Analysis of Interconnected Decision Areas"), desenvolvido por J. Luckman (1967) e citado por Cross(23), que auxilia o projetista a tomar decisões na montagem do programa do projeto.

Outro importante trabalho foi desenvolvido por Mitchell(131), resultando no programa interativo CLUMP3.

6.4 - Organograma Funcional

O objetivo de um organograma funcional é traduzir de forma gráfica os seguintes elementos, definidos a partir do programa do projeto:

- as atividades presentes;
- a proximidade entre atividades;
- as ligações entre as atividades;
- as áreas necessárias para abrigar cada atividade.

Como foi visto, programas de escalamento multidimensional, como o MDS, produzem resultados muito próximos de um organograma, faltando apenas considerar as áreas necessárias a cada atividade.

Assim, uma das aplicações da computação é fazer uma análise das áreas necessárias para abrigar determinadas atividades, as chamadas análises ou projeções de espaços necessários.

Pode-se, então, caracterizar as aplicações conforme o esquema da Figura 6.19.

Figura 6.19 - Aplicações da computação na fase de Estudos Preliminares.

O esquema proposto é apenas ilustrativo, não implicando que a execução do projeto deva passar por todos esses estágios, nem que as saídas de um sejam, necessariamente, entradas de outro. Como já visto e será novamente discutido, existem programas que se limitam a tratar um estágio de forma isolada, enquanto outros

englobam mais de um deles, inclusive o da determinação do arranjo físico necessário para abrigar as atividades.

Esse fato faz com que seja difícil separar as aplicações que tratam o problema até o nível do organograma funcional daquelas que chegam ao arranjo físico. Isso poderá ser bem percebido no item 7.3, onde serão discutidos os programas que auxiliam no arranjo físico do anteprojeto, a chamada síntese do anteprojeto.

A seguir, são apresentadas as características das aplicações a nível de estudos preliminares.

6.4.1 - Análise de espaços necessários

Segundo Mitchell(14), a análise de espaços necessários se preocupa, fundamentalmente, em recolher informações sobre pessoas, atividades e equipamentos que serão abrigados pelo projeto, para então transformá-las num conjunto bem definido de requisitos de espaços ou de áreas.

Assim, envolvem a manipulação de um volume muito grande de dados, o que as tornam ideais para serem feitas com o auxílio de computadores.

Mitchell discute uma série de técnicas empregadas nessas análises, dentre as quais se destacam:

- uso de modelos empíricos;
- uso de modelos de fila;
- uso de modelos de simulação;
- padronização de espaços.

a) Modelos empíricos

Os modelos empíricos baseiam-se, fundamentalmente, no uso de dados estatísticos para prever os espaços necessários a novas atividades.

Com base em valores históricos, aos quais são aplicadas técnicas matemáticas, obtêm-se equações que representam uma determinada situação. A manipulação dessas equações permite que se façam projeções sobre suas futuras necessidades de áreas. O computador atua, portanto, como um processador analítico.

O uso de dados passados para se prever o futuro traz uma série de inconvenientes, principalmente o risco de se perpetuarem soluções mal elaboradas, e também de se igualarem situações nas quais a realidade seja diferente.

b) Modelos de filas

Os modelos de fila são modelos probabilísticos de simulação, particularmente úteis no projeto de bancos, supermercados, lojas de departamentos, repartições públicas, etc, para os quais possibilitam uma projeção racional das áreas necessárias.

Nesse campo, convém destacar o trabalho desenvolvido por Ladany & Turban(132). Trata-se de um estudo no qual é feita uma simulação do funcionamento de uma sala de emergência hospitalar, dimensionada por um modelo de fila, aplicando-se uma simulação de Monte Carlo. Com isso, determina-se o número ótimo de salas e o correspondente número de funcionários para atender à demanda regular de um hospital, bem como a de um período de pico de serviços.

c) Modelos de simulação

Outros modelos de simulação são empregados em projetos mais complexos, nos quais os modelos empíricos ou de filas sejam difíceis de ser formulados, ou não representem o problema de forma satisfatória.

São inúmeras as aplicações nas quais o computador atua como máquina simuladora a nível de estudos iniciais: projeto de estacionamentos (14)(133), hospitais (14), calçadas para pedestres (14)(74), refeitórios (14)(16)(121)(134), terminais aéreos de passageiros (45)(74)(134)(135), circulação em edifícios (14)(16)(136)(137)(138) e laboratórios e oficinas com fins didáticos (50)(139).

d) Padronização de espaços

Em projetos de edifícios de grande porte, é comum acontecer que numerosas atividades requeiram áreas de ocupação semelhantes.

Quando se constrói com sistemas industrializados, esse fato é particularmente relevante, na medida em que a repetição de peças de mesmas características dimensionais resulta numa economia na sua produção, estocagem e montagem.

Nesses casos, é interessante definir determinadas dimensões básicas, às quais são adaptadas atividades com áreas semelhantes.

Portanto o problema que se tem nesses casos é: dadas as áreas necessárias para abrigar as diversas atividades envolvidas, determinar uma combinação de elementos pré-fabricados que as viabilize e que tenha custo mínimo.

Uma maneira de se resolver esse problema é através de um modelo gerativo, viável somente em problemas de pequena envergadura.

No caso de problemas mais complexos, são recomendados modelos de otimização, como o desenvolvido por Gero (120)(122), que adota a técnica de programação dinâmica.

6.4.2 - Diagramas de bolhas

Os diagramas de bolhas são o meio gráfico através do qual os organogramas funcionais são representados.

Como já foi colocado anteriormente, os estágios que precedem e que sucedem o organograma funcional muitas vezes com ele se confundem (ver Figura 6.19).

Assim, uma técnica possível de ser empregada na sua elaboração pode ser muito semelhante à utilizada no escalamento multidimensional.

A diferença é que essa nova técnica deve incorporar restrições sobre os espaços necessários para abrigar as atividades, e outros aspectos, como a possibilidade do trabalho homem e máquina se desenvolver de forma interativa.

Além do uso de técnica semelhante à do escalamento multidimensional, ou seja, não-hierarquizada, pode-se também utilizar técnicas hierarquizadas, como as empregadas na análise de grupo.

Por exemplo, o programa MAGIC, desenvolvido por A.H.Bridges em 1979, permite tanto o uso de técnica hierarquizada quanto de não hierarquizada, além de incorporar características interativas (10)(44)(140).

A partir de uma matriz de interações, pode-se obter como saída uma árvore organizada hierarquicamente, semelhante à da Figura

6.17.c, conforme ilustra a Figura 6.20.

Pode-se também obter uma análise de grupo não-hierarquizada ou, finalmente, um diagrama de bolhas, conforme ilustra a Figura 6.21.

Como se vê pela Figura 6.21, cada atividade é representada por uma bolha, desenhada em tamanho proporcional à área necessária para abrigá-la, e de tal forma que as distâncias entre os centros das bolhas sejam inversamente proporcionais aos valores da matriz de interações.

A diferença básica entre essa saída e a do programa MDS, ilustrada na Figura 6.18, é o fato dela expressar o "tamanho" necessário para abrigar cada atividade.

A característica interativa do programa permite que o projetista altere posições no diagrama de bolhas, comparando assim diferentes soluções em termos de "distância" entre os diversos elementos.

Além do programa MAGIC, que foi especificamente desenvolvido para a fase de estudos preliminares, outros programas permitem também a obtenção de diagrama de bolhas. Esse é o caso, por exemplo, dos programas STUNI e SPACES2.

O STUNI é um programa desenvolvido para a geração de arranjos físicos de campi universitários (ver item 7.3.4.b). O SPACES2 é um sistema integrado que permite cobrir todas as etapas do projeto (ver Anexo I).

Também o programa COMPROPLAN, que faz parte do sistema integrado ARK-2, permite a obtenção de saída sob a forma de diagrama de bolhas (ver Anexo I).

6.4.3 - Comentários

Como foi visto, os programas que auxiliam na elaboração dos organogramas funcionais são uma evolução daqueles empregados na estruturação de problemas, sobretudo daqueles baseados no escalamento multidimensional.

Em essência, eles são abstrações matemáticas, ou seja, modelos da realidade e não se preocupam com a forma do edifício, mas tão somente em correlacionar dados relevantes.

Ao se desvincularem da forma dos edifícios, apresentam resultados que apenas orientam os projetistas nessa definição, ou seja, o arranjo físico do projeto fica a cargo do projetista, mesmo a nível de anteprojeto.

Com isso podem ser úteis, sobretudo por apresentarem o correlacionamento dos dados envolvidos no problema sob a forma de uma representação gráfica.

De qualquer maneira, permanecem algumas críticas apresentadas nos comentários do item anterior, principalmente no que se refere à rigidez da matriz de interações.

Por fim, parece que a crítica maior a ser feita é quanto ao fato dos modelos apresentados só incorporarem aspectos relativos às ligações entre ambientes, deixando de considerar outros, como aspectos financeiros, de utilidade e, sobretudo, técnicos, de difícil expressão por meio de ligações.

Assim, o uso de programas baseados na matriz de interações deve-se dar de forma cuidadosa, levando-se em conta a dificuldade de nela se incorporarem aspectos de caráter mais amplo.

Como última consideração, convém citar o programa UNI, desenvolvido nos EUA para minicomputadores, que permite a análise de espaços necessários para edifícios em projeto (24). Na breve descrição que consta da referência citada, não é feita qualquer menção sobre a técnica empregada.

CAPITULO 7 - FASE DE ANTEPROJETO

7.1 - Introdução

A Fase de Anteprojeto é talvez a mais importante de todas -- fase de síntese de idéias, de onde resultarão as características básicas do projeto, tanto do ponto de vista quantitativo, como qualitativo.

Como já visto, ela se confunde com a etapa de síntese da sequência de decisão. Apesar disso, não pode prescindir de uma avaliação feita de maneira criteriosa, que forneça subsídios consistentes para que se julguem, de maneira racional, as soluções propostas, concluindo-se por aquela que confira ao projeto as melhores características como um todo.

Para facilitar o desenvolvimento desse Capítulo, a etapa de síntese do anteprojeto foi subdividida em dois estágios, sendo o primeiro correspondente à implantação no terreno e o segundo à síntese do edifício propriamente dito. Esses aspectos foram separados apenas para uma melhor apresentação do assunto, já que, conceitualmente, correspondem a uma mesma etapa.

Num terceiro item são apresentadas aplicações para avaliação dos anteprojetos ou alternativas em estudo.

7.2 - Implantação do Anteprojeto

Como colocado anteriormente, o estágio de implantação do anteprojeto será desmembrado de sua síntese apenas para facilitar a apresentação das aplicações.

A implantação de um edifício num dado terreno envolve basicamente os seguintes aspectos:

- topografia;
- orientação da construção.

7.2.1 - Topografia do terreno

O termo "topografia do terreno" está aqui sendo usado para expressar todos os aspectos que se relacionam com a manipulação de dados pertinentes à conformação do terreno, como levantamentos planialtimétricos, movimentação de terra, estudos de declividades, problemas de drenagem, etc.

É fácil se perceber a sua importância, na medida em que, qualquer que seja o projeto, o seu desenvolvimento está intimamente relacionado com o terreno sobre o qual ele se assenta.

Nesta área, o computador é uma ferramenta bastante útil, pois envolve a manipulação de uma quantidade muito grande de dados.

A seguir, serão discutidas as características básicas dessas aplicações.

a) Levantamentos planialtimétricos

O traçado de uma carta topográfica a partir de um levantamento planialtimétrico é uma tarefa que exige a manipulação de um grande volume de dados e a execução de numerosos cálculos, numa tarefa mecânica e extenuante, sujeita, portanto, à ocorrência de erros.

Existem programas desenvolvidos para auxiliar esse trabalho, permitindo cálculos como:

- cálculo das coordenadas;
- compensação analítica da poligonal;
- cálculo de áreas;
- cálculo de nivelamentos;
- interpolação das curvas de nível;

e mais, a execução dos seguintes desenhos:

- traçado de poligonais;
- traçado de perfis topográficos;
- traçado de curvas de nível.

Nesse sentido, merecem destaque os trabalhos de Cintra(141) e de Milne(142). Outras referências apresentam descrições de programas, como os trabalhos de Meyers(143) e de Scardellato et alii(144).

b) Movimentação de terra

Um dos aspectos fundamentais a serem analisados por ocasião hora dos estudos de implantação é o cálculo dos volumes de corte e aterro correspondentes a um determinado nível de assentamento do edifício, bem como a determinação do nível para o qual esses volumes estejam balanceados.

Dependendo do tipo e tamanho do projeto, e das características do terreno, um estudo mais detalhado desses aspectos pode significar uma grande economia.

No entanto normalmente esses estudos não são feitos com uma profundidade ideal, pois envolvem uma enorme quantidade de cálculos repetitivos.

Por esse motivo, esta é uma aplicação ideal para o computador. A dificuldade maior na sua implantação reside no fornecimento dos dados, ou seja, em como informar ao computador as características da superfície do terreno, para que os cálculos possam ser efetuados.

O risco que se corre num fornecimento de dados não prático é o de se gastar mais tempo nessa tarefa do que com a execução manual dos cálculos.

Uma solução para esse problema é criar uma base de dados comum com uma aplicação que trate do levantamento planialtimétrico. Com isso, os dados dos levantamentos de campo são fornecidos uma única vez, servindo para ambas.

Conhecidas as características da superfície, é normal superpor-se a ela uma malha de referência, calculando-se a cota do centro de gravidade de cada uma de suas células, das quais se conhecem as medidas dos lados, ou seja, as áreas.

A partir daí definem-se os limites e as cotas das plataformas, bem como as inclinações dos taludes de corte e aterro, podendo-se assim calcular o volume de cada célula - produto da diferença de cota pela área - e o correspondente volume total de corte e aterro.

Com base nessas idéias, podem-se elaborar programas gerativos e iterativos.

Um programa gerativo é ideal para situações nas quais se conhecem os limites das plataformas e se querem determinar cotas que correspondam a um equilíbrio entre os volumes de corte e aterro. Assim, estabelecem-se uma faixa e um passo de variação para os níveis das plataformas e, para cada um, executam-se todos os cálculos, obtendo-se a solução ideal através da geração e

comparação de todas as possíveis soluções.

Já um programa iterativo é recomendado para situações onde a própria configuração das plataformas não esteja bem definida. Nesse caso, é ideal que a interação homem e máquina se dê por meio de elementos e equipamentos gráficos. Por exemplo, o monitor de vídeo pode apresentar uma perspectiva da superfície na qual o projetista define a plataforma. Assim, movimentando a plataforma tanto na horizontal quanto na vertical, vê-se na tela a correspondente configuração e os volumes de terra calculados.

Com isso, o projetista pode chegar a uma posição ideal, que satisfaça tanto aos requisitos estéticos - conformação final do terreno -, quanto econômicos - equilíbrio na movimentação de terra.

Uma solução mais fácil de ser implantada é basear o cálculo dos volumes no fornecimento das características geométricas de diversas seções feitas no terreno, todas paralelas entre si e igualmente espaçadas. Conhecidas as seções, as inclinações dos taludes, os limites e as cotas das plataformas, pode-se calcular a diferença de área entre cada seção original do terreno e cada seção após a inserção das plataformas. Calculadas essas áreas, e conhecidas as distâncias entre as diversas seções, determinam-se os volumes de corte e de aterro.

Os maiores inconvenientes dessa solução residem na dificuldade do levantamento e fornecimento da geometria das seções e no fato do processamento dificilmente ser interativo, ou seja, para cada nível e posição da plataforma corresponde uma nova geometria.

Um programa com essas características é apresentado por Milne (142), apropriado para ser empregado no projeto de estradas.

c) Estudos de declividade e de drenagem

O uso do computador para auxiliar nos problemas de declividade e drenagem é interessante em projetos localizados em terrenos de grandes dimensões ou de conformação topográfica acidentada.

Partindo de uma base de dados comum à do levantamento planialtimétrico, devido ao problema anteriormente mencionado do fornecimento dos dados, o computador pode indicar regiões cujas declividades estejam acima de um valor limite, o que as inviabiliza tecnicamente.

A Figura 7.1 ilustra um estudo indicando faixas de declividades correspondentes a uma determinada superfície topográfica.

Conhecidas as características da superfície, podem-se também determinar as linhas hidrodinâmicas, úteis nos estudos de drenagem. Por exemplo, a Figura 7.2 apresenta as linhas hidrodinâmicas correspondentes à superfície da Figura 7.1.

A determinação das declividades pode ser feita pela diferença de cota entre os vértices de uma malha superposta ao terreno.

A determinação da direção e sentido das linhas hidrodinâmicas também é feita superpondo-se uma malha e tomando-se em cada célula o vetor normal à direção das curvas de nível.

Em ambos os casos, quanto menor for a dimensão da malha, maior número de pontos será estudado e mais precisos serão os resultados.

(a) Levantamento planialtimétrico.

(b) Correspondentes faixas de declividade, onde: A = 0 - 10 %, B = 10 - 20 % e C = 20 - 30 %.

Figura 7.1 - Estudo de declividade de terrenos com o auxílio do computador (14).

Figura 7.2 - Linhas hidrodinâmicas de um terreno (14).

7.2.2 - Orientação da construção

O computador pode ser uma ferramenta muito útil ao projetista na definição da orientação segundo a qual o edifício será assentado no terreno. Sabe-se que um bom desempenho em termos de conforto térmico e de iluminação são função direta dessa escolha.

O estudo e a definição de quais partes do edifício receberão ou não luz direta numa determinada hora e num determinado dia do ano, dependem da determinação da correspondente posição do sol e da latitude do local.

Essa tarefa pode ser realizada a partir de equações que relacionam o azimuth do sol e sua altitude com sua declinação (função do dia), a hora e a latitude do local.

Conhecida a posição do sol por meio do seu azimuth e sua altitude e a conformação geométrica básica do edifício, consegue-se, por simples trigonometria, determinar as regiões sombreadas.

Um programa bem desenvolvido nessa área deve, no entanto, apresentar outras características.

Ele deve ser interativo, ou seja, o projetista deve poder modificar parâmetros e observar como se comporta o fenômeno. Assim, deve poder não só alterar a hora, dia e mês do cálculo, como também a orientação dada ao edifício, além da sua própria configuração. E mais, o programa deve, preferencialmente, apresentar o resultado de seus cálculos por meio de imagens em perspectivas desenhadas na tela do computador.

Outra característica deve ser a de permitir a inclusão de outros elementos além do próprio edifício. Por exemplo, pode ser interessante determinar a sombra projetada do edifício na superfície do terreno, quando da definição da localização de uma

piscina. E ainda, o fato de se considerar a sombra projetada de edifícios vizinhos ou de acidentes do próprio terreno sobre o edifício em projeto pode ser de fundamental importância na definição de sua localização.

Esses são exemplos típicos do uso de modelos iterativos de simulação como ferramenta de projeto.

Nos itens 7.4.2.a.3 e 7.4.2.b.1, será retomada a discussão sobre o uso dos computadores no estudo das sombras e das partes iluminadas pelo sol, quando será analisada a possibilidade de com eles se determinarem os contornos que os raios solares definem num ambiente ao atravessarem um vão, como uma janela. Isso será feito por ocasião da avaliação do anteprojeto (ver também Figura 7.7).

7.2.3 - Comentários

Como visto, o uso dos computadores auxiliando nos estudos de implantação de um anteprojeto pode se dar com bastante sucesso, na medida que nesses estudos são necessárias a execução de diversos cálculos e a manipulação de um volume muito grande de informações.

O computador pode inclusive viabilizar a execução de tarefas que normalmente não são feitas devido à falta de tempo.

O maior problema, nesses casos, é o levantamento e o fornecimento dos dados que, no entanto, pode ser minimizado pelo uso de equipamentos adequados de entrada, inclusive os apropriados para aplicações gráficas, como uma mesa ou uma placa digitalizadora. Podem também ser minimizados pelo compartilhamento de uma mesma base de dados por diversas aplicações - levantamento planialtimétrico, movimentação de terra, estudos de orientação,

etc.

Algumas aplicações devem ser desenvolvidas interativamente, segundo um modelo iterativo, na medida que as soluções não podem ser obtidas de forma determinística. É o caso dos estudos de definição de cotas de assentamento e da orientação do edifício. Noutras, o computador atua simplesmente como processador analítico, como nos levantamentos planialtimétricos e nos estudos de declividade e de problemas de drenagem. Por fim, os estudos de definição de cotas de assentamento podem também seguir um modelo gerativo, com o qual se determina a solução ótima.

Na referência (24), constam alguns programas para estudos topográficos desenvolvidos pela empresa inglesa "Construction Measurement Systems Ltd" voltados para a área de levantamentos planialtimétricos.

Também é apresentado um programa desenvolvido pelo órgão governamental inglês de saúde e assistência social ("Department of Health and Social Security - DHSS") que permite o estudo de movimentação de terra, inclusive com o uso de recursos gráficos.

7.3 - Síntese do Anteprojeto

A etapa de síntese do anteprojeto é uma das mais difíceis e controvertidas áreas do PEAC, e se preocupa fundamentalmente com a definição da forma ou arranjo físico que o edifício deve apresentar, de maneira a conseguir abrigar satisfatoriamente as atividades nele desenvolvidas.

Sem dúvida é a etapa central do projeto, por ser a que confere ao edifício suas características primordiais.

Apesar desta importância, ou talvez devido a ela, é a etapa de mais difícil sistematização, já que envolve uma série de fatores subjetivos e de difícil quantificação; além disso, pressupõe a ocorrência do chamado "lampejo criativo".

Conforme já discutido amplamente em itens anteriores, a sistematização do projeto e o uso dos computadores como ferramenta de apoio podem em muito auxiliar os projetistas no tratamento desse estágio, num esquema através do qual homem e máquina somem esforços.

Ciente destas características, é que serão apresentadas as principais idéias e programas desenvolvidos para auxiliarem na determinação da síntese do anteprojeto.

7.3.1 - Introdução

Conforme colocado no item 6.4 e ilustrado na Figura 6.19, a definição da síntese do anteprojeto ou, num termo mais próprio da arquitetura, do projeto esquemático, é uma consequência natural do organograma funcional que representa o problema, sobre o qual são impostas restrições bastante rígidas. Essa decorrência é ilustrada pela Figura 7.3.

Figura 7.3 - Sequência entre as fases do projeto.

As restrições impostas são fundamentalmente de caráter físico, e incorporam ao modelo características de forma, através de dados e

relações geométricas.

O problema, no entanto, tem natureza multivariável, e envolve outras restrições, sobretudo as relativas:

- ao desempenho estrutural do edifício;
- ao desempenho das instalações e serviços necessários a sua operação;
- à funcionalidade da solução;
- à estética do conjunto;
- à adaptabilidade a novas necessidades que possam ocorrer no futuro, ao longo da vida útil do edifício.

Como se verá ao longo deste item, as principais aplicações desenvolvidas praticamente só consideram as restrições de caráter geométrico, isso devido à dificuldade, ou talvez inabilidade, de levar em conta os outros aspectos.

No que concerne às restrições geométricas, são consideradas as seguintes relações entre ambientes:

- Relações de proximidade:

- adjacência;
- afastamentos mínimos e máximos;
- superposição ou compartilhamento;
- acesso.

- Relações de posicionamento:

- acima ou abaixo (eixo y);
- à esquerda ou à direita (eixo x);
- no mesmo pavimento;
- na mesma prumada vertical;
- no mesmo alinhamento;
- enclausuramento (envolvido por um outro ambiente);
- visibilidade.

Além dessas relações, são consideradas outras restrições, como por exemplo:

- Dimensionais - igualdades ou desigualdades:
 - comprimentos;
 - larguras;
 - perímetros;
 - áreas de pisos;
 - áreas de paredes;
 - volumes.
- Relacionais - relações entre dimensões:
 - comprimento/largura;
 - área/área do polígono circunscrito;
 - perímetro/perímetro do polígono circunscrito;
 - volume/volume do prisma circunscrito.
- Formais - proximidades percentuais em relação a formas previamente definidas:
 - área/área do retângulo circunscrito;
 - volume/volume da esfera circunscrita.
- de Orientação - ângulo das paredes com relação a um determinado eixo.

Na prática, as aplicações desenvolvidas não consideram todas essas relações e restrições geométricas, preferindo fazer simplificações com vistas a maior facilidade no tratamento matemático do problema.

Feitas essas reflexões, pode-se caracterizar em termos gerais o que se objetiva no estágio de elaboração do projeto esquemático, ou na síntese do anteprojeto, como sendo a determinação de uma estrutura física para o problema, que seja compatível com as restrições impostas e que atenda, da melhor forma possível, aos

objetivos traçados.

Como já discutido, a grande dificuldade em se alcançar esta meta decorre do fato dela envolver considerações de difícil tratamento analítico, sobretudo porque:

- 1) É muito difícil representar a estrutura física através de uma base de dados, pois ela envolve uma quantidade muito grande de informações geométricas.
- 2) O problema é do tipo mal definido, o que implica numa dificuldade em se explicitarem as restrições impostas e os objetivos a serem alcançados.
- 3) As restrições adotadas são normalmente simplificadas devido às dificuldades matemáticas em considerá-las de forma mais completa.
- 4) Os próprios objetivos são também simplificados, diminuindo mais ainda a sua capacidade de refletir, de forma precisa, a importância dos diferentes critérios de projeto.
- 5) A solução do problema apresenta dificuldades especiais, já que envolve sobretudo aspectos não-determinísticos.
- 6) O universo das possíveis soluções é muito grande para ser explorado de forma completa, pois cresce de forma fatorial. Por exemplo, existem mais de 3,6 milhões de possibilidades de se disporem 10 ambientes em 10 locais pré-fixados.

Assim, o que diferencia as diferentes aplicações é a maneira pela qual elas levam em conta essas dificuldades, sobretudo as quatro centrais (2 a 5).

Quanto ao problema de se representar a estrutura física de forma geometricamente determinada, as aplicações, via de regra, adotam a simplificação de substituí-la por uma malha quadrada bi ou tridimensional, definindo assim áreas ou volumes através dos quais são traduzidas as necessidades de espaço para os diversos ambientes, expressas pelos respectivos números de células.

A representação por malha permite incorporar relações como adjacências, distâncias e acessos, e restrições dimensionais, relacionais e formais.

No próximo item será dada uma visão geral das aplicações desenvolvidas, agrupando-as em áreas afins.

7.3.2 - Aplicações : classificação

Muitos algoritmos e aplicações têm sido desenvolvidos para a área desde a década de 60, e podem ser agrupados ou classificados segundo diferentes aspectos, sobretudo:

- o tipo de aplicação a qual se destinam;
- o modelo adotado;
- a formulação adotada.

a) tipo de aplicação

Eastman(21), um dos principais pesquisadores da área, classifica os trabalhos desenvolvidos em duas linhas, que definem diferentes tipos de aplicações: as técnicas de alocação de espaços ("space allocation") e as de planejamento de espaços ("space planning").

As técnicas de alocação de espaços foram as primeiras a serem desenvolvidas e analisam o aspecto custo x benefício relacionado com a distância entre cada par de atividades e com a localização

de uma determinada atividade num determinado local de características próprias fixadas.

Baseiam-se fundamentalmente nas técnicas de PO, envolvendo conceitos de otimização.

Já as técnicas de planejamento de espaços, mais atuais, não visam à otimização específica de um determinado parâmetro, no caso o custo das circulações, mas sim à determinação de uma configuração que satisfaça a um conjunto maior de relações e de restrições, como as anteriormente apresentadas.

Assim, nas aplicações onde o objetivo seja a minimização dos custos de circulação, devem ser empregadas as técnicas de alocação. E o caso, por exemplo, de projetos que envolvam a localização de móveis ou equipamentos em geral dentro de uma determinada área, como em indústrias, depósitos, armazéns, bibliotecas, lojas de grande porte, etc.

Caso o objetivo seja obter um arranjo que leve em conta outros aspectos, são empregadas, preferencialmente, as técnicas de planejamento de espaços.

b) Modelo adotado

Uma outra maneira de se agruparem ou se classificarem as aplicações é a partir do modelo elaborado para representar o problema:

- modelos diretos de otimização;
- modelos diretos heurísticos;
- modelos iterativos de simulação;
- modelos gerativos.

Apesar das técnicas neles empregadas variarem da mais "forte" (modelos diretos de otimização), até a mais "fraca" (gerativos), todas elas já foram utilizadas em aplicações práticas, sendo que a tendência, conforme já se caracterizou, é privilegiar os modelos diretos heurísticos.

Assim, os modelos de síntese espacial tendem a se afastar das técnicas de PO, aproximando-se da Inteligência Artificial.

c) Formulação adotada

Apesar da classificação anterior se referir à concepção do modelo, este pode ainda ser caracterizado pela fundamentação ou formulação matemática adotada para representá-lo.

Neste sentido, existem duas formulações amplamente utilizadas em modelos de síntese espacial, sobretudo nos diretos:

- assinalamento quadrático;
- técnicas baseadas na teoria dos grafos.

c.1) Assinalamento quadrático

As formulações baseadas na técnica do assinalamento quadrático são as mais tradicionais, tendo sido propostas pela primeira vez por T.C.Koopmans e por M.Beckman, em 1957.

Em linhas gerais, o objetivo é determinar um arranjo de um determinado número de ambientes, num determinado número de áreas disponíveis, de forma a minimizar os custos das suas ligações.

Em termos matemáticos, esse objetivo pode ser expresso por:

$$\min: \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m d_{ij}.c_{ij} \quad \dots\dots\dots (7)$$

onde:

n = n. de ambientes a serem assinalados;

m = n. de áreas disponíveis ($m \geq n$);

d_{ij} = medida de distância entre os ambientes i e j ;

c_{ij} = medida que avalie a interação entre os ambientes i e j .

Para a determinação da matriz de distâncias D que representa as distâncias entre os ambientes, a formulação pressupõe uma primeira imposição, que é a fixação dos limites dentro dos quais as áreas tenham que se localizar, ou seja, a forma externa do conjunto é delimitada, e o que se procura é o arranjo interno que maximize a eficiência das operações entre as diversas atividades, expressas por meio das ligações.

Fixados os limites e definida a área total disponível, normalmente esta é dividida por meio de uma malha quadrada, que caracteriza células ou unidades de áreas. As necessidades dos diversos ambientes em termos de áreas são então expressas por um número inteiro destas unidades, ou por um número inteiro de células.

Assim, a determinação da distância d_{ij} entre dois ambientes assinalados é facilitada, sendo feita a partir da malha conhecida.

Frente a essas características, percebe-se que o principal aspecto dessa formulação é a determinação da matriz de interações C . As interações nela expressas devem, sobretudo, refletir uma comunicação entre os ambientes, que implique numa circulação entre eles. A circulação pode-se referir a funcionários, documentos, mercadorias e produtos, ou mesmo a informações.

De maneira semelhante às técnicas de escalamento multidimensional (ver item 6.3.3), a escala normalmente empregada para medir os pesos das interações varia de 0 a 10, sendo 0 empregado para interações inexistentes e 10 para uma interação essencial.

Outros aspectos levados em conta são: o assinalamento de forma fixa de determinados ambientes - escadas, elevadores, etc; outros componentes do custo - implantação de atividade num determinado local e custos relativos a possíveis mudanças (transferir uma atividade de local de modo a satisfazer necessidades futuras).

Por essas características, vê-se que essa formulação é recomendada somente nas situações onde a eficiência das circulações, ou outro objetivo semelhante, for tida como o aspecto determinante do arranjo físico. Este é o caso dos problemas do tipo alocação de espaços, anteriormente caracterizados.

Um outro aspecto a ser destacado é o de que, apesar da formulação ter sido proposta há quase 30 anos, não existe ainda nenhuma solução analítica ou algoritmo eficiente para resolvê-la de forma completa, já que ela pertence a uma classe de problemas matemáticos conhecidos por NP-completos.

Problemas assim formulados só podem ser resolvidos por meio de uma geração exaustiva (ver item 5.4.2), ou por algoritmos com propriedades heurísticas. Como a geração se torna inviável em situações reais, devido ao grande número de possíveis soluções (cresce fatorialmente com o número de ambientes), são empregados os algoritmos com propriedades heurísticas, que produzem soluções de qualidade satisfatória para problemas práticos, num tempo de processamento aceitável.

Esses algoritmos serão discutidos nos próximos itens.

Como leitura adicional sobre os aspectos matemáticos da formulação de assinalamento quadrático, recomendam-se os trabalhos das referências (145), (146), (147) e (148).

c.2) Teoria dos Grafos - matriz de requisitos de adjacências

Outras formulações, mais atuais, para os problemas de arranjo físico, têm preterido a técnica do assinalamento quadrático em função de outras, baseadas na Teoria dos Grafos.

Aqui também são possíveis duas formulações bastante distintas: as que partem de uma matriz de requisitos de adjacências e as que pressupõem uma busca heurística.

Devido a essas diferenças, ambas serão tratadas de maneira isolada.

Os primeiros estudos baseados nos requisitos de adjacência se deram no final da década de 60, com destaque para a Primeira Conferência Internacional do Grupo de Métodos de Projeto - DMG, ocorrida em Cambridge, Massachusetts, em 1968, cujos trabalhos foram editados por Gary T. Moore, em 1970 (38).

Nela foram apresentados os trabalhos de Teague Jr.(149) e de Grason(150), bem como os comentários de Rittel(151).

Também na Primeira Conferência Anual da Associação de Pesquisa sobre Projeto Ambiental (EDRA 1), realizada em 1969, na Carolina do Norte, cujos trabalhos foram editados por H.Sanoff e por S.Cohn(39), foram apresentados novos trabalhos, como o de Miller et alii(126), e um do mesmo Grason(152).

Em 1970, Seppanen & Moore(153) publicaram um artigo onde elaboram um modelo baseado nos requisitos de adjacências, aplicável a problemas de locação a nível de planejamento, extrapolando os

limites do edifício.

Mais recentemente, têm-se os trabalhos de Hashimshony, Shaviv & Wachman(154), de 1980, e de Roth, Hashimshony & Wachman(155), de 1982.

Em linhas gerais, as formulações baseadas na matriz de requisitos de adjacências visam determinar uma configuração de um dado número de ambientes que satisfaça a uma série de restrições geométricas e topológicas, como as anteriormente apresentadas: adjacências, orientações, restrições dimensionais, relacionais e formais, etc.

A Figura 7.4 ilustra um exemplo de uma aplicação, que pode ser sequenciada por:

- fixa-se a matriz de requisitos de adjacências, caracterizando o correspondente grafo de requisitos de adjacências (a);
- verifica-se se o grafo é planar, ou seja, se ele não apresenta cruzamento de arcos (b);
- se ele não for planar, devem ser aplicados procedimentos que o transformem em planar;
- uma vez planar, constrói-se o grafo dual ao de adjacências, que representa as separações entre os ambientes, ou as diversas paredes (c);
- por fim, aplicam-se as restrições geométricas e topológicas, obtendo-se a conformação final dos ambientes (d).

A necessidade do grafo ser planar é facilmente justificada na medida em que cada arco do seu dual deve representar uma separação entre ambientes, e assim não pode haver cruzamentos de arcos no primal, pois isso implicaria em cruzamento de separações - ou de paredes.

Figura 7.4 - Arranjo físico determinado a partir de uma matriz de requisitos de adjacências:

- (a) matriz e o correspondente grafo;
- (b) grafo sem cruzamentos ou planar;
- (c) correspondente grafo dual, que representa as separações entre os ambientes;
- (d) resultado final, após aplicação de restrições dimensionais e formais (14).

Figura 7.5 - Técnicas de planificação de grafos:

- (a) grafo não-planar;
- (b) criação de vértice fictício;
- (c) eliminação de adjacência de menor peso (154).

O que diferencia as diversas formulações propostas é a maneira pela qual elas lidam com os estágios centrais, ou seja, com a verificação e transformação do grafo de adjacências num grafo planar e a construção do grafo dual que delimita os ambientes.

Na planificação dos grafos são mantidas as ligações ou adjacências de maior peso, e abandonadas as mais fracas. Outra alternativa é se criarem vértices que representem ambientes fictícios nos locais onde ocorrem cruzamentos.

Esses procedimentos estão ilustrados na Figura 7.5.

A referência (154) apresenta algoritmos para o teste da planicidade, para a transformação de não-planar em planar, bem como para a planificação ou abertura de um grafo planar.

A conclusão do trabalho é feita na referência (155), que traz um método para transformar um dado grafo planar no arranjo físico correspondente.

Outro trabalho citado em diversas referências é o de P.Steadman, de 1970, que determina, a partir da matriz de adjacências e de restrições geométricas, o arranjo físico mínimo de edificações residenciais.

Como observação convém destacar que essa formulação tem sido pouco utilizada em problemas práticos, na medida em que a aplicação dos correspondentes algoritmos envolve dificuldades computacionais de certa ordem, tornando-a recomendável apenas para problemas com um pequeno número de ambientes.

c.3) Teoria dos Grafos: busca heurística

A terceira formulação amplamente empregada em problemas de arranjo físico baseia-se nos procedimentos de busca heurística, discutidos no item 5.4.3.

A idéia básica é representar todo o processo de determinação do arranjo por meio de um grafo ou, nos casos mais específicos, de uma árvore de decisões, na qual a raiz representa o estado inicial do problema, os galhos, decisões alternativas que podem ser tomadas, os nós internos, estados intermediários e os nós externos, possíveis soluções para o problema ou estados finais.

Assim, qualquer solução é representada por um caminharmento através do grafo (ou da árvore).

A busca pressupõe um conhecimento preciso da estrutura do problema, de forma a poder-se montar o correspondente grafo de decisões, ou seja, a cada nó deve-se saber quais os arcos que podem ser seguidos, ou que dele partem.

O que caracteriza os diferentes algoritmos é como eles percorrem o grafo, sem que essa busca se dê segundo uma enumeração exaustiva de todas as alternativas. Eles pressupõem uma estratégia com vistas a eliminar, de forma rápida, partes do grafo que não conduzam a soluções aproveitáveis.

Segundo essa idéia, foram desenvolvidos algoritmos eficientes em termos computacionais, capazes de produzir resultados de qualidade, cujas aplicações práticas serão apresentadas no item 7.3.4.b.

c.4) Formulação analítica

A formulação mais simples, mas ao mesmo tempo mais restritiva, é considerar analiticamente os aspectos envolvidos no problema, montando com eles equações ou inequações que devem ser resolvidas de forma a otimizar um determinado objetivo.

d) Comentários

Como foi visto, as aplicações desenvolvidas podem ser classificadas sob diversos aspectos. Seguindo a linha desse trabalho, será adotada a classificação pelos modelos utilizados para representar o problema, partindo dos mais "fracos" para os mais "fortes", tomando-se o cuidado de, em cada um, se caracterizar o tipo de aplicação a que se destina, bem como a formulação adotada.

7.3.3 - Modelos gerativos

Como já foi caracterizado nos itens 5.3.2 e 5.4.2, os modelos gerativos baseiam-se, fundamentalmente, numa enumeração exaustiva de todas as alternativas para se resolver o problema em estudo, escolhendo-se a melhor frente a um critério qualquer.

Assim, uma das maneiras mais simplistas de resolver um problema de arranjo físico é formulá-lo segundo uma estrutura em árvore, para então percorrê-la inteira, gerando-se todas as soluções de forma exaustiva.

Como já comentado, esse procedimento é inviável em situações práticas, mesmo que se apliquem restrições, impostas, por exemplo, por matrizes de incompatibilidade, ou que se utilize o mais rápido dos computadores.

Mesmo assim, convém destacar a experiência feita por Jacobi (156); ele fez um estudo combinando unidades residenciais padrões, as quais ele chamou de "BOX PROJECT" de forma a obedecer certos requisitos mínimos com relação aos acessos, orientação, iluminação natural e códigos de edificações.

Uma outra experiência feita por W.J.Mitchell, em 1974, citada por Cross(23), merece também um relato. Trata-se de um programa para gerar projetos residenciais de custos mínimos a partir de considerações como adjacências e restrições dimensionais.

Para tanto, foi montado um "catálogo" de todas as configurações geométricas básicas, possíveis de obter com um máximo de sete retângulos. Esse catálogo foi armazenado no computador, e a partir dele um programa identificava as configurações compatíveis com determinados requisitos de adjacências fornecidos. A essas configurações eram aplicadas as restrições dimensionais, gerando-se assim todas as soluções, sendo possível identificar a de custo mínimo.

Evidentemente esses dois exemplos são muito específicos e dificilmente podem ser aplicados a problemas reais.

Assim, aos modelos de geração são aplicadas formulações matemáticas específicas, que os viabilizem na prática.

Uma dessas formulações baseia-se no estabelecimento de uma matriz de requisitos de adjacências, com a definição do correspondente grafo de adjacências.

Como visto anteriormente, o grafo de adjacências provavelmente não será planar. Assim, uma alternativa é gerar todos os grafos planares dele derivados, determinando, para cada um, o correspondente arranjo físico.

Obtém-se com isso um conjunto de soluções para uma determinada matriz, dentre as quais pode-se identificar a de maior interesse.

Outra postura é gerar, de forma aleatória e muito rápida, uma série de soluções sujeitas a determinadas restrições impostas. O desempenho de cada solução é então avaliado frente aos requisitos desejados e as primeiras colocadas são armazenadas no computador.

Assim, após um determinado número de gerações, ou decorrido um determinado tempo de processamento, as soluções mais bem classificadas são resgatadas e dentre elas escolhe-se a mais apropriada.

Esse tipo de formulação, na verdade, só limita o universo das possíveis soluções a um número previamente definido ou àquelas geradas no tempo fixado.

Num estudo comparativo entre diversos procedimentos para problemas de arranjo físico, Ritzman(147) conclui que algoritmos do tipo gerador randômico de soluções, apesar de terem desempenho satisfatório, perdem em qualidade e amplitude da solução, bem como em tempo de processamento, quando comparados com procedimentos heurísticos, como os que serão vistos no item 7.3.4.

Talvez o interesse fundamental nesses algoritmos seja a determinação de medidas estatísticas de desempenho que sirvam para avaliar e comparar soluções obtidas a partir de outros modelos.

Apesar de todas essas limitações, foram desenvolvidos dois programas baseados em modelos de geração: ALDEP e BAID.

O programa ALDEP - "Automatic Layout DEsign Program"-Programa para Projeto Automático de Arranjos Físicos - foi desenvolvido pela IBM, no final da década de 60 (157).

Ele se compõe de cinco blocos, sendo os dois primeiros utilizados para a determinação das necessidades dos diversos ambientes em termos de áreas (faz isso a partir de uma base de dados e do fornecimento dos equipamentos e pessoas que ocuparão cada ambiente), e os dois últimos são utilizados para a saída das soluções: um para impressão e outro para perfuração de cartões.

Assim, é no bloco central que as soluções são geradas. Para tanto, as necessidades de área são transformadas em números de células, e ao contorno do edifício (também pré-fixado) é superposta uma malha formada pelas mesmas células.

A seguir, é fixado um determinado número de arranjos, que são gerados e avaliados frente aos requisitos de adjacência, e os que ultrapassam um valor mínimo estipulado são apresentados ao operador e perfurados em cartão, para um futuro reprocessamento.

Em linhas gerais, o algoritmo utilizado parte de uma escolha aleatória de um certo ambiente. Determina, então, aquele fortemente com ele relacionado, ou outro qualquer, de forma aleatória, caso não haja nenhum preferencial. Assim, os ambientes vão sucessivamente sendo localizados na área delimitada, e o processo se repete até que todos os ambientes tenham sido dispostos.

Outras referências ao programa são encontradas em (14), (158) e (159). Sua importância fundamental advém de seu pioneirismo na área do arranjo físico ou projeto esquemático assistido por computador.

O programa BAID - "Basic Architectural Investigation and Design"- Investigação e Projeto Básico de Arquitetura - foi desenvolvido por B.Auger, em 1972. Sua descrição é feita por Cross(23), sendo empregado no projeto de conjuntos habitacionais de edifícios de meia altura e elevada densidade populacional.

Assim, não está voltado para o projeto do edifício em si, mas para a disposição dos mesmos no conjunto; isso é feito através de uma geração aleatória de arranjos que estejam de acordo com determinadas restrições impostas, e que atendam a requisitos mínimos de insolação, iluminação natural e privacidade.

A idéia de Auger era que o programa fosse utilizado mais como um mecanismo para aguçar novas idéias ou para checagem de arranjos propostos manualmente. Com o seu uso, o projetista teria uma melhor noção de escala sobre o problema, bem como sua imaginação estimulada pelas propostas geradas.

Schijf & Maver(10) mencionam ainda o programa alemão SMOOC, desenvolvido por Dinjens, Amkreutz e Hermens em 1979, mas não apresentam maiores considerações a seu respeito.

7.3.4 - Modelos diretos heurísticos

Como visto no item 5.4.3, os modelos heurísticos adotam duas estratégias para resolver os problemas em estudo:

- procedimentos via melhoramentos;
- procedimentos de busca.

No caso específico dos problemas de arranjo físico, os procedimentos via melhoramentos são, via de regra, aplicados a formulações do tipo assinalamento quadrático e a problemas de alocação de espaços.

Já os procedimentos de busca são aplicados a formulações baseadas na Teoria dos Grafos e a problemas de planejamento de espaços.

a) Procedimentos via melhoramentos

Os procedimentos via melhoramentos têm uma importância histórica muito grande, já que a primeira aplicação prática desenvolvida na área, o programa CRAFT, baseava-se no seu uso (ver item 2.2).

Eles partem de uma dada solução do problema que, através de constantes modificações entre os elementos intervenientes, é gradualmente melhorada.

Com base neste princípio, eles podem ainda ser agrupados em dois blocos, cujas estratégias podem ser chamadas de:

- permutação ou melhor troca;
- seleção natural.

a.1) Permutação ou melhor troca

Segundo essa estratégia, um arranjo inicial é arbitrado pelo projetista, ou gerado randomicamente pelo computador (depende da aplicação). Todas as trocas entre ambientes possíveis são avaliadas segundo a formulação de assinalamento quadrático.

A melhor troca, ou aquela que representa um menor custo de circulações, é feita, obtendo-se um novo arranjo, e o processo continua até que não se consiga mais uma melhoria significativa com qualquer troca.

O arranjo final é apresentado ao operador, e um novo é arbitrado ou gerado; o processo todo se repete até que tenha sido obtido um número fixado de soluções.

Esse procedimento é nitidamente heurístico, na medida em que a solução final depende do arranjo inicial de partida. Além disso, ele não conduz obrigatoriamente à solução ótima, pois pode-se fixar num ótimo local.

Normalmente a solução final será tanto melhor quanto mais criteriosa, ou mais próxima da ótima, tiver sido a escolha da solução inicial.

Em termos de desempenho, algoritmos desse tipo têm melhor comportamento do que os desenvolvidos para os modelos de geração, como mostra o trabalho de Ritzman(147). No entanto, de certa forma, ainda são lentos e caros para serem aplicados a problemas de grande envergadura.

O requisito básico que os algoritmos empregados nesses problemas devem apresentar é o de garantir que as trocas sejam feitas sempre em direção ao ótimo - quer local, quer global -, e que este seja obtido num número finito de iterações, sem que seja necessário um tempo muito grande de processamento.

A garantia de se obter a solução num número finito de iterações vem do fato desses algoritmos não se basearem na determinação de todas as possíveis soluções, mas apenas nas trocas feitas a partir de uma dada configuração. Isso reduz em muito o número de combinações. Por exemplo, no caso de um problema com 20 atividades, o número de soluções é dado por:

$$n = 20! = 2,43 \times 10^{18},$$

enquanto que o número de trocas é dado por:

$$n = P_2^{20} = \frac{20!}{2!(20-2)!} = 190$$

A garantia de se caminhar em direção ao ótimo advém do conceito de melhor troca, ou maior melhoramento, já visto no item 5.4.3.

Mitchell(14) apresenta uma fórmula proposta por T.M.Willoughby, em 1976, para estimar o número de permutações necessárias para se obter uma solução satisfatória:

$$n = \sqrt{R/C}$$

onde:

n = n. de permutações;

R = diferença entre o custo de circulação da melhor e da pior solução obtida, calculada num determinado instante;

C = custo de cada execução do programa.

Cinar(158) propõe que este número seja avaliado a partir de uma estimativa de quão próximo se esteja da solução ótima num determinado instante. Para tanto, deve-se obter a chamada "configuração mínima teórica", com a qual as soluções obtidas são comparadas. Isso é feito já que é impossível determinar a configuração mínima real, pois esta é a própria incógnita do problema.

A configuração mínima teórica é calculada ordenando-se de forma ascendente a matriz de interações C e de forma descendente a de distâncias D, como se fossem duas matrizes unidimensionais ou dois vetores, e somando-se o produto de ambas (ver item 7.3.2.c.1). O resultado, apesar de não representar uma solução, já que não leva em conta nenhuma restrição, corresponde ao custo mínimo teórico possível para as circulações envolvidas.

Como já mencionado, o programa CRAFT é o mais importante a adotar essa formulação. Foi desenvolvido no início da década de 60 por Gordon C. Armour, Elwood S. Buffa e Tomas E. Vollmann.

O algoritmo empregado permite que se manipulem até 40 ambientes, com tempo médio de processamento de meio minuto, num computador IBM 7094 (160).

Descrições mais detalhadas sobre o programa podem ser encontradas nas referências específicas (145), (146) e (161), ou nas referências (14), (158) e (160).

O CRAFT é nitidamente um programa de alocação de espaços, sendo recomendado para aplicações em projetos industriais e comerciais de uma maneira geral. Sua grande restrição é só poder trabalhar no plano, não considerando adjacências entre diferentes pavimentos.

Outros programas derivam diretamente do CRAFT. E o caso do trabalho desenvolvido por Lew & Brown(162), que o adaptaram para projetos voltados à área habitacional.

Cinar(158) apresenta um programa chamado CRAFT-3D, que é uma extensão do CRAFT bidimensional, e não apresenta restrições no número de ambientes e na forma do edifício, além de poder trabalhar com diferentes pavimentos, o que o torna aplicável a edifícios de andares múltiplos.

Vollmann, Nugent & Zartler(163) apresentam um algoritmo derivado do aplicado no programa CRAFT.

Pack, Kiehne & Reiner mann(164), da Alemanha Oriental, apresentam um tratamento diferente do adotado no CRAFT, mas baseado na mesma formulação.

Ritzman(147) compara o algoritmo utilizado no CRAFT com outro semelhante, desenvolvido por F.S.Hillier e M.N.Connors, em 1966. Nesse caso, as trocas só podem se dar entre ambientes alinhados ou simétricos em relação à diagonal da matriz de interações.

A distância entre os ambientes a serem permutados é fixada, e vai sucessivamente diminuindo até que seja igual a uma célula, ou seja, até que ambientes vizinhos na matriz sejam permutados. Com isso, ele garante que a solução convirja para um ótimo.

Em termos comparativos, o seu desempenho foi próximo ao obtido pelo programa CRAFT, sendo ambos superiores ao algoritmo gerativo também avaliado, já comentado no item anterior.

Por fim, convém relembrar que esse tipo de formulação só será apropriado quando os custos de circulação forem o critério fundamental na definição do arranjo.

a.2) Seleção natural

A estratégia da seleção natural em pouco se diferencia da de melhor troca e, via de regra, apresenta as mesmas propriedades e restrições.

A diferença básica é que as trocas não são feitas pela determinação da "melhor", mas sim de forma randômica, sendo efetivadas somente quando levarem a uma melhora nos custos de circulação.

Para cada arranjo inicial, são feitas trocas randômicas até que se consiga uma melhora significativa, expressa, por exemplo, por uma porcentagem de diminuição dos custos de circulação. Nesse caso, um novo arranjo é gerado, repetindo-se o processo.

b) Procedimentos de busca

Diferentemente dos procedimentos via melhoramento que partem de um arranjo inicial, os procedimentos de busca permitem construir um arranjo a partir da junção sucessiva dos ambientes mais fortemente relacionados. São por isso conhecidos por

procedimentos aditivos ou construtivos.

Conforme já caracterizados no item 5.4.3, os procedimentos de busca baseiam-se na exploração do grafo ou da árvore que representa o problema.

Em linhas gerais, as aplicações desenvolvidas pressupõem a construção de uma malha bidimensional, na qual os ambientes são dispostos e a partir da qual se determina a célula ou unidade de área de referência.

O objetivo a ser alcançado não é apenas a otimização de um parâmetro expresso por meio da matriz de requisitos de adjacências, mas a determinação de uma configuração que satisfaça às restrições e relações impostas ao problema.

Assim, o procedimento começa pela determinação do ponto inicial ou raiz da árvore, que é o ambiente com a mais alta somatória de associações com os demais ambientes.

Obedecidas as relações e restrições, o ambiente selecionado é colocado no centro da malha. A seguir, dispõe-se o segundo ambiente, que é o mais associado ao primeiro. Então, dispõe-se o terceiro, que é o mais associado aos dois anteriores já dispostos, e assim sucessivamente.

A cada estágio, o ambiente a ser disposto é aquele que se liga de maneira mais forte aos já posicionados.

Cada novo elemento é sempre disposto de modo a obedecer às relações e restrições impostas, e sempre na periferia dos já localizados e numa posição tal que se tenha o menor custo com relação às circulações entre todos os ambientes já posicionados.

Quanto a esse aspecto, algumas aplicações, como o programa CORELAP--"COmputerized RElationship LAyout Planning"(165), adotam uma postura diferente, localizando o último ambiente na melhor posição em relação ao anteriormente disposto. Ele foi proposto em 1967, por R.C.Lee & M.J.Moore (ver item 2.2).

A aplicação mais tradicional desenvolvida com base nesses procedimentos foi a de B.Whitehead & M.Z.Eldars, publicada em 1964, que apresenta as características anteriormente descritas (ver item 2.2).

Sua descrição mais detalhada pode ser encontrada nas referências (16), (23) e (166).

Outras aplicações foram desenvolvidas, como o programa STUNI--"Stirling University", de T.M.Willoughby, W.Paterson e G.Drummond, de 1970, cuja descrição é encontrada nas referências (10), (23), (129), (167) e (168).

O STUNI segue a mesma formulação do programa de Whitehead & Eldars, tendo sido desenvolvido para o projeto de campi universitários. A grande novidade que ele introduz é a de permitir que o desenvolvimento do trabalho se dê de forma interativa, ou seja, o projetista pode assumir o controle do processo a cada estágio, influenciando, por exemplo, na localização de um determinado edifício do campus em estudo.

Além disso, o programa permite também que sejam tratados problemas tridimensionais, obtendo-se edifícios de mais de um pavimento.

O objetivo do programa não é propor um arranjo definitivo para o problema estudado, mas sim apresentar idéias que levem à solução do mesmo.

O programa LOKAT foi proposto pelos canadenses A. Bernholtz & S. Fosburg, em 1970, para o projeto de hospitais. Uma descrição detalhada do seu funcionamento é encontrada nas referências (166) e (169).

Nele, cada ambiente é representado por um retângulo, sendo seu funcionamento semelhante aos já apresentados.

O programa GSP—"General Space Planning" é uma outra aplicação de grande importância.

Desenvolvido por C.M. Eastman, em 1971, está voltado para o arranjo de móveis e equipamentos dentro de ambientes de contornos definidos.

Baseia-se nas rotinas heurísticas por ele chamadas de Planejamento Estruturado por Restrições—"Constraint Structured Planning", cujas características são encontradas na referência (170).

Em linhas gerais, essas rotinas permitem que o programa seja utilizado de forma interativa, apresentando ao usuário uma série de informações que orientam o detalhamento do arranjo dos elementos a serem dispostos. Além disso, os arranjos propostos são testados frente às restrições impostas, como adjacências, visibilidade, separação e orientação dos elementos.

Em (83), Eastman apresenta uma série dessas rotinas codificadas em FORTRAN, que ele chamou de MINI-SP—"Mini-Space Planner", que podem ser bastante úteis na implementação de um programa piloto na área.

Também em (159) são apresentadas características do GSP.

J.Dubrerie e P.Pietri apresentam um programa por eles desenvolvido em 1971, cujas características são descritas na referência (171).

O DOMINO é um outro programa que adota procedimentos construtivos, tendo sido desenvolvido por W.J.Mitchell e R.L.Dillon, em 1972.

Apresenta, de especial, a capacidade de retorno na trilha, ou "backtracking", quando se chega a um ponto morto no processo de construção da solução. Uma aplicação onde esse fenômeno ocorre é ilustrada na Figura 7.6.

Descrições do programa podem ser encontradas nas referências (14) e (159).

Outro programa desenvolvido para o arranjo de móveis e equipamentos é o DPS—"Design Problem Solver", desenvolvido por C.E.Pfefferkorn, em 1975, cuja descrição detalhada pode ser obtida em (172), sendo também caracterizado em (14) e em (159).

É uma aplicação mais bem elaborada, com restrições como: distâncias, posições relativas (acima, abaixo, à esquerda e à direita), orientações, adjacências, acessos, visibilidades e ligações.

A cada estágio do processo, é feita uma tentativa de se posicionar um novo elemento no arranjo, de maneira que nenhuma restrição seja violada. Ele se encerrará quando todos os elementos tiverem sido satisfatoriamente locados dentro dos limites do ambiente em estudo.

Quando se encontra uma dificuldade maior em se localizar um determinado elemento, pode-se retornar no processo ("backtracking"), através de rotinas especiais (REXAMINE e

Figura 7.6 - Programa DOMINO, mostrando a ocorrência de um retorno na trilha, ou "backtraking", bem como a fixação de um ambiente (14).

REDESIGN), que também permitem um diagnóstico e um eventual re-direcionamento da solução.

Liggett & Mitchell (148) desenvolveram o programa SPS ("Space Planning System"), que, baseado na formulação de assinalamento quadrático, contém características de distintas formulações. Assim, a solução inicial é obtida através de um procedimento aditivo, sendo então submetida a uma série de iterações de modo a ser melhorada.

Os mesmos autores elaboraram um outro programa, chamado de BAPS ("Basic Architectural Programming System"), descrito em (173), que contém características aditivas ou construtivas, mas se baseia, sobretudo, numa participação do projetista no processo, sendo portanto bastante interativo.

7.3.5 - Modelos diretos de otimização

Como já foi caracterizado, os modelos diretos de otimização não são os mais recomendados aos problemas de arranjo físico, uma vez que pressupõem uma modelagem determinística da questão em estudo.

Além disso, são difíceis de ser construídos, devido à pequena quantidade de informações precisas sobre o problema a se modelar.

Mesmo assim, algumas aplicações têm sido desenvolvidas, baseadas nas técnicas de:

- programação linear;
- programação não-linear;
- programação dinâmica.

a) Programação linear

Uma das primeiras aplicações que utilizaram essa técnica foi desenvolvida por L.B.Archer, em 1963, para o projeto de hospitais (16).

O objetivo a ser minimizado era dado pelo produto do número de viagens entre cada setor e a distância entre os ambientes onde eles se localizavam.

Neste caso, o que se otimizava era a disposição dos setores numa configuração de ambientes previamente definida.

Na determinação do número de viagens, eram dados pesos diferentes em função da importância de cada uma no sistema como um todo.

Outro tipo de aplicação é ilustrado por Mitchell(14).

Trata-se do projeto de um "trailer", para o qual se conhecem os ambientes necessários, bem como uma série de restrições dimensionais, expressas por meio de equações e inequações. Fixada a sua largura, o que se procura é minimizar o seu comprimento, obedecidas as restrições impostas.

Buchanan(174) apresenta um trabalho mais completo sobre o assunto, no qual desenvolve cinco possíveis funções objetivo a serem consideradas no projeto de edifícios.

A grande vantagem do uso dos modelos de PL é o fato de serem os mais "fortes" de todos os já discutidos nesse trabalho, permitindo a obtenção da solução ótima para o problema modelado.

Suas grandes deficiências são seu limitado campo de aplicação e sua baixa generalidade, sendo aplicados apenas a problemas bem específicos.

b) Programação não-linear

Mitchell(14) cita uma série de aplicações com base na técnica de PnL, todas elas voltadas à solução de problemas semelhantes ao do "trailer", anteriormente descrito.

A diferença é que nesse caso não precisa ser fixada uma das dimensões do contorno, já que a função objetivo a ser otimizada passa a ser a área total, e não a outra dimensão.

Existe uma série de algoritmos para resolver tais problemas, lembrando-se que eles, apesar de eficientes, não conduzem obrigatoriamente à solução ótima.

c) Programação dinâmica

Uma dificuldade de se formular um problema de arranjo físico segundo um modelo de PL ou PnL está na necessidade de se definir numa única expressão - função objetivo - aquilo que se quer obter.

Uma alternativa é desmembrar o problema em subproblemas, que são analisados sequencialmente, segundo as técnicas da PD.

Seguindo essa linha, D'Cruz, Radford & Gero(175) formularam o problema do arranjo físico segundo a chamada "Otimização de Pareto", que é uma metodologia para resolver problemas envolvendo decisões multicriteriosas.

Em (176), Balachandran & Gero apresentam a comparação de três métodos utilizados para resolver situações assim formuladas. Como exemplo, utilizaram o mesmo problema com o qual Mitchell(14) ilustrou uma aplicação de PnL.

A diferença é que, neste caso, eles consideram outros requisitos além dos dimensionais: os relativos ao custo das paredes internas e externas, da cobertura e dos pisos, bem como dos revestimentos.

Os resultados obtidos foram muito bons, ressaltando-se que o objetivo nesse tipo de formulação não é a busca de uma única solução ótima, mas de uma gama de soluções que representem as relações existentes entre os diversos - e algumas vezes conflitantes - objetivos considerados.

No exemplo desenvolvido em (175), a meta maior era o estudo, não do arranjo, mas da forma do edifício, com vistas a otimizar seu desempenho térmico.

Assim, foram consideradas restrições e propriedades relativas à geometria das janelas, às paredes, ao forro, aos pisos, à orientação e à forma.

A idéia que norteou a aplicação foi produzir uma série de soluções, de modo a fornecer ao projetista mais dados para definir o projeto esquemático.

Um outro trabalho de interesse é o de Sekhon (177), que aplica os conceitos da PD para incrementar a eficiência dos algoritmos heurísticos construtivos, como os de Whitehead & Eldars e de Lee & Moore (CORELAP).

7.3.6 - Modelos iterativos de simulação

Conforme pôde ser visto pelas características de algumas das aplicações expostas nos itens anteriores, estas apresentam propriedades dos modelos de simulação.

De fato, muitas delas podem ser usadas como meio de simular o comportamento do arranjo em estudo, mesmo tendo que se limitar ao aspecto circulação.

Uma outra idéia que pode ser desenvolvida a partir delas é testar a variação de uma das restrições consideradas na formulação, verificando-se o comportamento da solução. Com isso, consegue-se maior sensibilidade na identificação das influências que cada restrição tem em relação ao sistema como um todo.

Essa aplicação, no entanto, atua mais a nível de avaliação, e será novamente tratada no item 7.4.4.

7.3.7 - Trabalho interativo

Um aspecto fundamental das aplicações na área de síntese do anteprojeto que merece destaque é o da participação do projetista no processo da sua definição.

Isso é importante pelo fato dos modelos desenvolvidos não conseguirem expressar, de forma completa, toda a complexidade existente em problemas desse tipo. Além disso, a intervenção do projetista permite considerar aspectos não quantificáveis, como a estética, aspectos sociais e familiares, fatores psicológicos, entre outros.

Nesse sentido, algumas das aplicações tradicionais na área que adotam procedimentos aditivos permitem o trabalho interativo homem e máquina. É o caso dos programas STUNI, GSP e BAPS.

Porém é importante destacar algumas aplicações que se sobressaem pela importância dada à relação interativa.

Provavelmente o trabalho mais radical nesse sentido foi o desenvolvido na Universidade de Sydney, apresentado em (178). Trata-se de um programa para ser utilizado por projetistas sem qualquer conhecimento de computação.

Assim, o seu uso foi baseado num "diálogo" estabelecido entre a máquina e o operador, que orienta o fornecimento de todas as informações pertinentes, bem como as necessárias participações do projetista. A formulação adotada foi a do assinalamento quadrático.

Um trabalho muito importante foi desenvolvido por Yessios(179), que também apresentava comentários sobre o problema anterior.

Trata-se de uma proposta de desenvolvimento de uma linguagem de computação específica para os problemas de planejamento de espaços, com a ressalva de ter sido desenvolvida para a área de planejamento urbano, e não para o edifício.

Jacobi(156) desenvolveu também uma experiência muito interessante na área, com um programa no qual a participação do projetista era fundamental, sendo todo ele guiado por "menus". O programa apresentava embutido um conhecimento da estrutura arquitetônica dos elementos a serem combinados, de forma a montar os ambientes e os edifícios. Além disso, o programa "sabia" criar novos elementos, bem como combiná-los, avisando o operador no caso de incoerências. O interessante é que o computador ia aprendendo com o próprio operador, que estabelecia as restrições e relações a serem obedecidas.

O programa SAR70—"Stichting Architecten Research"—Fundação para Pesquisa em Arquitetura, desenvolvido na Holanda por Amkreutz & Dinjens(180), adota um modelo gerativo que obriga à efetiva participação do projetista no processo.

O programa australiano TOPLAY, desenvolvido por Sharpe et alii(181), é baseado na formulação de assinalamento quadrático, tendo sido desenvolvido para microcomputadores de 8 e 16 bits. A participação do projetista se dá a partir de informações apresentadas num monitor colorido, que facilita o desenvolvimento do projeto esquemático.

7.3.B - O Programa IMAGE

O programa IMAGE, desenvolvido por Weinzapfel & Handel(182), entre 1968 e 1974, merece destaque por conter características de muitas das aplicações anteriormente apresentadas.

Assim, é um programa que obtém soluções para problemas de arranjo físico através da otimização de uma série de relações especificadas entre os ambientes, como distâncias máximas e mínimas, adjacências, enclausuramentos, superposições, posicionamento relativo (em planta e na vertical), visibilidade e acesso, além de restrições dimensionais e formais impostas.

Para tanto, utiliza o método dos mínimos quadrados.

Uma vez obtida uma solução, ela é avaliada pelo projetista, que impõe novas restrições, ou modifica as existentes, fazendo o processo convergir iterativamente para uma solução tecnicamente aceitável. Nessa hora ele adquire características interativas, permitindo inclusive que se modifique a posição ou as dimensões de um determinado ambiente.

Com isso, procura-se obter um arranjo que satisfaça não só às necessidades do cliente, expressas por meio das relações e restrições, como também às do projetista.

Seu uso será tanto mais eficiente quanto mais o projetista se acostumar com ele, pois isso permitirá maior versatilidade na análise das soluções propostas, bem como maior sensibilidade para perceber as restrições a serem modificadas ou acrescentadas.

Referências ao programa podem ser encontradas em (183).

7.3.9 - Comentários

Conforme já foi dito no começo desse item, utilizar o computador na elaboração do projeto esquemático, ou na síntese do anteprojeto, requer um complexo tratamento do problema, bem como pode gerar as maiores controvérsias quanto ao real benefício obtido.

Esses dois fatos se comprovam pelo que foi apresentado ao longo das explicações anteriores.

O primeiro aspecto a ser criticado é a importância muito grande dada ao critério movimentação, circulação ou comunicação.

Esse aspecto só é fundamental em projetos específicos, como em linhas de produção ou hospitais. No geral, ele é secundário, pesando mais aspectos como um arranjo agradável ou esteticamente coerente, e outros mais subjetivos, dificilmente expressos de forma numérica.

Como destaca Reynolds(74), hoje em dia alguns projetos são propositalmente concebidos para aumentar as circulações entre funcionários, principalmente no caso de escritórios, de forma a combater o sedentarismo. No caso de institutos de pesquisas, ou em instituições científicas de uma maneira geral, também é interessante incrementar as circulações, de modo a estimular um maior contato entre os pesquisadores.

Um outro senão é a excessiva simplificação do problema imposta pelas formulações utilizadas.

A primeira dificuldade surge na sua representação por meio de uma estrutura de dados satisfatória, pois isso envolve uma quantidade muito grande de informações.

Assim, como a representação não é completa, e como as restrições e objetivos considerados são simplificados, os resultados obtidos com as aplicações devem ser analisados de forma criteriosa.

Uma consequência dessas simplificações é uma limitação muito grande no universo das possíveis soluções, o que pode, indiretamente, conduzir à obtenção de soluções pré-definidas ou coerentes apenas com um mesmo padrão.

O resultado disso pode ser um retraimento da liberdade estilística dos projetos.

Além disso, o fato de só se considerar o aspecto forma, desvinculado de outros como estrutura, instalações, fechamentos, etc, pode levar a soluções desvirtuadas ou economicamente desfavoráveis.

Tudo isso faz com que as aplicações desenvolvidas se comportem de maneira inferior quando comparadas a um projetista experiente trabalhando sozinho, capaz de considerar simultaneamente os aspectos objetivos e subjetivos.

Nesse sentido, o enfoque das pesquisas deve ser dirigido para a área do projeto interativo.

Assim, programas baseados em modelos heurísticos com elevado grau de intervenção do projetista podem levar a resultados satisfatórios. O próprio operador deve impor seus critérios, não

importando quão subjetivos eles sejam. Além disso, o programa deve ter um sentido maior de inteligência, sendo capaz de "aprender" com o próprio projetista que o utiliza. A tendência é uma aproximação cada vez maior com a **Inteligência Artificial**.

O trabalho interativo tem ainda a vantagem adicional de permitir que o computador atue como um simulador, testando, por exemplo, o comportamento de uma solução proposta pelo projetista, quando se consideram os diferentes aspectos isoladamente, ou modificando a configuração para observar variações no custo.

7.4 - Avaliação do Anteprojeto

7.4.1 - Introdução

Em contraste com a etapa de síntese, a de avaliação do anteprojeto é uma das de mais imediata implantação, sendo também uma das que menos gera controvérsias quanto a sua eficiência prática.

Esse fato pode ser justificado, na medida em que nela quase não ocorre "criação", e o que se pretende é somente avaliar ou criticar (da forma mais racional possível), a(s) solução(ões) obtida(s), e esse é um procedimento ideal para ser feito com o auxílio de um computador, por ser trabalhoso, demandar tempo e envolver a participação de diversos especialistas.

A etapa de avaliação cresce de importância na fase de anteprojeto, pois, como já foi dito, é nela que se definem as características quantitativas e qualitativas fundamentais do projeto. Esse aspecto é tanto mais importante quanto mais complexo for o projeto em desenvolvimento, devido à multidisciplinaridade que o problema assume.

Além disso, à medida que o projeto vai adquirindo contornos mais definitivos, intervenções a nível básico vão se tornando cada vez mais traumáticas.

Assim, uma avaliação feita com o auxílio de um computador permite que o anteprojeto seja criticado sob diversos pontos de vista.

Dentre esses, destacam-se:

- técnicos: fundações, estruturas, fechamentos, instalações, iluminação, conforto, etc;
- funcionais: circulações, flexibilidade, aproveitamento de espaços, ergonomia, etc;
- custos: de capital, de manutenção, etc;
- aspectos legais;
- aspectos visuais: estética, proporção, impacto no meio, etc;
- outros: aspectos sociais, psicológicos, etc.

Em termos de funcionamento, as aplicações adotam o modelo iterativo do processo de projeto, descrito nos itens 5.3.1 e 5.4.1, no qual o computador atua, fundamentalmente, como máquina simuladora, substituindo o projetista em rotinas simples de cálculo, auxiliando nas avaliações, ou até, de forma mais completa, sugerindo revisões da solução proposta.

Simplificadamente, o processo de trabalho desenvolvido começa pelo fornecimento da geometria e das características construtivas da solução ao computador, sendo este capaz de entendê-las e avaliá-las segundo várias rotinas programadas, apresentando os resultados de volta ao operador.

Com essas informações, o projetista faz as modificações necessárias, que resultam sobretudo em melhorias nas características de custo e de desempenho, quase sempre sem

alterar em muito o partido geral do projeto.

O fundamental nesse tipo de trabalho é que o projetista tem a liberdade de decidir frente aos resultados apresentados. A decisão final continua subjetiva, só que ela é tomada com base num conjunto de informações muito mais completo e explicitado, obtido por meio de avaliações neutras e racionais.

Assim, num trabalho quase sempre iterativo, a solução final vai sendo obtida iterativamente, e o projetista vai podendo aprender sobre as características de comportamento do seu projeto, através das consequências de suas diversas decisões e modificações.

Na apresentação dos programas desenvolvidos na área de avaliação do anteprojeto, em vez de se utilizar uma classificação segundo o modelo adotado, é preferível fazê-la segundo o aspecto do projeto a ser avaliado, já que a maioria das aplicações se refere a cada um de forma isolada.

Porém serão apresentados em item separado os programas que tratam o assunto de forma integrada, que podem ser chamados de sistemas integrados para avaliação.

7.4.2 - Aplicações técnicas: área ambiental

As aplicações na área ambiental assumiram uma importância muito grande nos países sujeitos a invernos mais rigorosos, devido à crise energética.

A idéia básica que norteia o desenvolvimento de programas na área é aumentar a eficiência na consideração dos diversos fatores envolvidos, simplificando a relação entre arquiteto e engenheiro consultor.

Assim, procura-se, na fase de anteprojeto, suprir o projetista com o maior número de informações que permitam a ele desenvolver seu trabalho da maneira mais completa possível.

Sem o auxílio do computador, essa tarefa torna-se bastante difícil na prática, devido às limitações de tempo naturais à maioria dos projetos, já que envolve complexos cálculos matemáticos.

No entanto as aplicações na área ambiental não se limitam aos aspectos energéticos, mas procuram analisar o comportamento do envelope do edifício como um todo.

Assim, são consideradas medidas relativas aos aspectos:

- climáticos: avaliações térmicas, avaliações energéticas, insolação, ventos, etc;
- iluminação: natural artificial, sombreamento, etc;
- acústica.

a) Avaliações climáticas

a.1) Avaliações térmicas.

O objetivo das aplicações desenvolvidas na área é utilizar o computador como ferramenta nas avaliações do comportamento térmico do interior de um edifício em projeto.

Assim, elas devem levar em conta que nele existem fontes produtoras e consumidoras de calor (pessoas, motores, lâmpadas, etc) e que ele troca calor com o exterior através de suas superfícies, como as trocas por radiação (janelas e vãos), por condução (paredes, pisos e coberturas) e por convecção (frestas, entradas de ar).

Com estas avaliações, procura-se determinar onde atuar a nível de anteprojeto de forma a tornar os ambientes adequados sob o ponto de vista do conforto térmico.

Programas na área começaram a se desenvolver no final da década de 60, principalmente na Europa, EUA, Japão e Austrália. Alguns programas conhecidos e historicamente importantes são (137): HCC-III (AFEC-EUA-1966), Svenska Flaktfabriken (Suécia-1967), Cambridge Environmental Package (Univ.de Cambridge-Inglaterra-1968), EHAADMIT (Building Research Establishment-Inglaterra-1968), TEMPER (CSIRO-Austrália-1973) (184), NBSLD (National Bureau of Standards-EUA-1973).

O programa NBSLD é um dos mais completos, sendo utilizado pela Escola Politécnica da USP e pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas, de onde resultaram as dissertações de mestrado de Akutusu(185), Sato(186) e Ogura(187).

As aplicações em avaliações baseiam-se sobretudo em dois tipos de modelos: estáticos e dinâmicos.

Os modelos estáticos são utilizados em cálculos mais simples, e não englobam o aspecto temporal que esse tipo de problema apresenta. São quase sempre uma transposição para o computador das rotinas simplificadas feitas manualmente.

Já os modelos dinâmicos apresentam tratamento matemático bem mais complexo, e têm nitidamente um caráter de modelo de simulação.

Assim, eles permitem que as avaliações sejam feitas para diversas horas ao longo do dia, bem como para diversos dias ao longo do ano, além de permitirem modificações em parâmetros como orientação, forma, aberturas, tipos de superfícies, materiais empregados, equipamentos presentes, tipo de ocupação, etc. A principal vantagem dos modelos dinâmicos serem desenvolvidos com

o auxílio do computador é a facilidade que este apresenta em lidar com a grande quantidade de dados envolvidos.

As pesquisas mais modernas na área têm voltado sua atenção para esses modelos, principalmente na Inglaterra, onde existe uma linha específica patrocinada pelo Conselho para Pesquisa Científica do Reino Unido ("UK Science Research Council"), chamada de "Energy in Buildings". Em (188), Day apresenta o programa de pesquisa específico para a área de computação e faz considerações sobre os principais modelos dinâmicos em uso.

Em linhas gerais, existem modelos dinâmicos baseados em técnicas analíticas, em métodos numéricos e em métodos fundamentados em analogias com redes de circuitos elétricos. Athienitis, Chandrashekar & Sullivan(189) apresentam um trabalho sobre modelagem e avaliações dinâmicas baseado em analogias com redes elétricas para ser feito com o auxílio de um computador.

Lorenz(190) apresenta as características de um outro programa baseado num modelo dinâmico chamado BAS ("Building Analysis System").

Existem também trabalhos mais simplificados, baseados em modelos estáticos, desenvolvidos especificamente para microcomputadores. É o caso das propostas de Burberry(191), de Coutts, Greig & Lansdown(192) e de Brandon & Moore(12).

Inúmeros programas para avaliações térmicas são relacionados em (24), desenvolvidos em países como Alemanha, Austrália, Canadá, Dinamarca, EUA, Inglaterra, Noruega e Suécia, que podem ser executados tanto em microcomputadores, como em computadores de grande porte.

a.2) Avaliações energéticas

Na área de avaliações energéticas, o objetivo é utilizar o computador como ferramenta no cálculo e na avaliação de alternativas de projeto, sob o ponto de vista do consumo de energia relativo aos aspectos térmicos.

Assim, as aplicações pressupõem uma avaliação térmica anterior, e apresentam quase sempre um caráter dinâmico, já que precisam determinar as cargas térmicas a serem compensadas pelos equipamentos ao longo do dia e do ano, bem como simular a operação dos vários equipamentos do sistema de condicionamento de ar, em resposta a essas cargas.

O que se procura então calcular é o perfil de demanda de energia.

Forwood(137) destaca os principais programas na área como sendo: o desenvolvido para o correio norte-americano, devido ao seu pioneirismo, chamado **Computer Program for Analysis of Energy Utilization** (Programa de Computador para Análise de Utilização Energética), de 1967, e o programa **EMPRO**, inglês, desenvolvido pela empresa **Oscar Faber & Partners**, em 1974. Cita ainda os programas **MACA** (**McDonnell Automation Company**), **ECUBE** (**American Gas Corporation**), **AXCESS** (**Edison Electric Institute**) e **NECAP** (**General American Transportation Corporation**).

Moschini(184) discute em termos gerais o papel dos computadores na redução dos custos energéticos de um edifício, bem como apresenta as características do programa **TEMPAL**, desenvolvido na Universidade de Melbourne, Austrália.

Um trabalho importante na área foi desenvolvido pela "IEA-International Energy Agency" (Agência Internacional de Energia), que comparou 23 programas, sob o ponto de vista da consistência entre eles, bem como em termos de precisão com que cada um

modelou um exemplo real.

As conclusões do Anexo I desse trabalho são sintetizadas por Irving em (193).

Outro trabalho importante de pesquisas foi desenvolvido na Austrália, por Wooldridge & Moller(194), para a estimativa do consumo energético de edifícios através do uso de modelos computacionais.

Na referência (24) são relacionados programas na área, desenvolvidos para micros, minis e computadores de grande porte.

a.3) Insolação e sombreamento

A ação dos raios solares é um aspecto fundamental a ser avaliado quando das análises térmicas e energéticas, além de um dos principais aspectos a serem levados em conta por ocasião da definição da orientação da construção em projeto, conforme visto no item 7.2.2.

Assim, existem programas específicos para calcular as partes de um edifício em projeto que estejam sombreados num certo momento e numa dada latitude.

Com isso, além de se determinar a incidência média solar, consegue-se também avaliar os ambientes que recebem radiação direta do sol, bem como determinar quando isso ocorre, tanto ao longo do dia, quanto do ano.

Aplicações nesse sentido são apresentadas por Mitchell(14) e por Brandon & Moore(12).

Peckham(195) desenvolve um programa bastante completo para a avaliação do efeito de sombreamento a partir da construção de um

modelo trimendimensional de representação do edifício.

O programa, chamado de SHADOWPACK, é composto por diferentes partes:

- ICON: permite a construção interativa do modelo tridimensional.
- SHADVIEW: apresenta graficamente a sombra de um determinado dia em diferentes horários.
- SHADYEAR: apresenta graficamente a sombra ao longo do ano.
- SHADEN: calcula a energia recebida diretamente numa face específica do edifício ou nele como um todo.
- ISOSUM: apresenta graficamente as curvas isoenergéticas de uma face especificada do edifício.

Como se vê, o programa permite não só um estudo de sombreamento a nível energético, através das rotinas SHADEN e ISOSUM, como também uma avaliação gráfica da iluminação natural incidente em cada face do edifício, através das rotinas SHADVIEW e SHADYEAR, que se localizam melhor no item 7.4.2.b.1.

Outros programas semelhantes constam da referência (24), como o OBSTRUCT, da empresa inglesa Cymap Limited, e o Obstructional Shading da, também inglesa, Pilkington Brothers Limited.

O uso do computador nesse tipo de avaliação pode ser particularmente interessante no projeto de quebra-sóis. O projetista pode trabalhar interativamente, variando a posição, direção, dimensões e mesmo tipo do anteparo empregado, e o computador apresenta o resultado das respectivas avaliações, em termos da incidência de radiação solar ou do sombreamento obtido.

Um programa com essas características foi desenvolvido pela empresa Koolshade Corporation, da California, chamado de COE(24).

a.4) Ventos

É sabido que o comportamento térmico de um edifício é amplamente influenciado pelo microclima do meio no qual ele está localizado.

Assim, uma avaliação do seu comportamento com relação aos ventos predominantes é um dado a mais de projeto, que pode influenciar aspectos como forma, altura, orientação, localização relativa, etc.

Hanson et alii (196) desenvolveram um modelo para simular o fluxo de vento em torno de edifícios, com a determinação da correspondente perda de calor. O modelo estudado foi implementado em computador, e alguns resultados obtidos constam da referência citada.

a.5) ESP - Environmental Systems Performance

O programa ESP é um modelo dinâmico de simulação do comportamento termoenergético de edifícios, desenvolvido na Escócia, no ABACUS - "Architectural and Building Aids Computer Unit Strathclyde", por J.A. Clarke, em 1976.

Através de simulações, ele permite uma avaliação de projetos em desenvolvimento, não só na fase de anteprojeto, como também no projeto executivo.

Os dados a serem fornecidos são divididos em grupos:

- dados geométricos: definem a forma do edifício e a posição das paredes internas, sua orientação e a posição e dimensões de portas e janelas (na fase de anteprojeto, as informações podem ser simplificadas);
- dados sobre propriedades térmicas: densidades, condutividades, emissividades superficiais, índices de

- transmissão de radiação solar, calores específicos, etc;
- dados sobre o projeto: posição geográfica (latitude), tempos e tipos de ocupação, presença de fontes de calor, etc;
- dados climáticos: velocidade do vento, temperaturas, umidades (alguns climas típicos já se encontram previamente especificados no computador).

O modelo dinâmico desenvolvido é bastante complexo, envolvendo considerações que analisam simultaneamente aspectos como: conduções, ganhos energéticos provenientes do interior do edifício, infiltrações, radiações, sombreamentos, convecções, etc.

A partir desse modelo e dos dados fornecidos, o programa calcula o consumo total de energia e fornece informações sobre mais de vinte parâmetros ao longo do tempo, todos apresentados de forma gráfica.

Através do ESP, o projetista pode comparar alternativas em termos de desempenho térmico, variando determinadas condições de projeto: orientação, aberturas para o exterior, colocação de quebra-sóis, emprego de materiais isolantes, etc.

O uso de saídas gráficas facilita a compreensão dos resultados, sobretudo quando se trata da comparação entre dois determinados parâmetros ao longo do tempo, por exemplo, temperatura interna x temperatura externa, e outros.

O ESP permite ainda avaliações de iluminação natural, inclusive com apresentação gráfica das partes iluminadas, e avaliações acústicas, apesar desses aspectos serem tratados de maneira muito mais superficial.

Descrições mais detalhadas sobre o programa são feitas nas referências (44), (52), (74) e (140).

Em (197), Sluce faz considerações gerais sobre características que programas na área de avaliação devem apresentar, usando o ESP como exemplo.

b) Iluminação

b.1) Iluminação natural e sombreamento

O uso dos computadores nas avaliações dos aspectos relativos à iluminação natural apresenta características semelhantes às já descritas para avaliações de insolação.

Com eles, num dado momento, é possível calcular os fatores de iluminação em qualquer ponto de um ambiente, desde que sejam fornecidas suas características geométricas, as dos vãos e janelas, bem como as das cercanias do edifício.

Assim, o projetista pode alterar a posição e dimensões das janelas e vãos, bem como definir a colocação de quebra-sóis ou anteparos que evitem, por exemplo, a incidência direta do sol em determinados pontos ou, ainda, a ocorrência de ofuscamentos.

Mitchell(14) apresenta outras considerações sobre o assunto, bem como lista os principais programas desenvolvidos na área.

Um trabalho muito completo foi desenvolvido pelo National Bureau of Standards-NBS, através de Gillette(198). Trata-se de um modelo computacional que permite considerar as economias de energia conseguidas com iluminação natural, e que pode ser acoplado a programas de grande porte para simulações energéticas, como é o caso do NBSLD, já citado.

O modelo, chamado de DALITE, é composto por três partes separadas. A primeira gera as iluminações providas pela abóboda celeste e pelo sol, tendo a radiação e posição deste como entradas. A segunda prevê a iluminação natural ponto a ponto em ambientes interiores devido à presença de janelas, à luz solar e a aberturas zenitais. A última rotina permite um ajuste das cargas de iluminação artificial, via controles fotoelétricos, de modo a compensar a iluminação natural atuante.

O DALITE é um modelo dinâmico, já que avalia o comportamento das variáveis ao longo do tempo.

No que se refere à avaliação do sombreamento devido à presença de anteparos diversos e à posição do edifício no terreno, é interessante relembrar as características do programa SHADOWPACK, já discutido no item 7.4.2.a.3.

A Figura 7.7 ilustra uma saída obtida com a sua rotina SHADYEAR.

Também os programas OBSTRUCT e "Obstructional Shading", citados no mesmo item, apresentam recursos semelhantes.

O programa SHADOW, desenvolvido pela empresa inglesa "Haden Central Engineering" para microcomputadores (24), apresenta graficamente as sombras projetadas pela vizinhança no edifício em estudo, isso para qualquer hora e dia do ano. As informações com ele obtidas servem como entrada para dois outros programas, SUMMER e CIBSGAIN, que realizam cálculos térmicos.

b.2) Iluminação artificial

Programas que avaliem as necessidades de iluminação dos ambientes podem ou não ser acoplados a programas que considerem também a iluminação natural.

Figura 7.7 - Exemplo de avaliação do sombreamento com o programa SHADOWPACK (195).

O fato de se considerarem ambos simultaneamente é particularmente interessante ao se avaliarem as consequências energéticas, sob o ponto de vista da iluminação, de alterações nas dimensões e posição das janelas e vãos, bem como da construção de anteparos (ver programas ESP e DALITE). No entanto a maioria dos programas foi desenvolvida considerando o aspecto iluminação artificial isoladamente. Assim, eles deixam de ser aplicados a nível de anteprojeto e passam a ser aplicados apenas por ocasião do projeto executivo. As principais referências sobre o tema serão citadas no Anexo II.

c) Acústica

As avaliações acústicas, apesar de serem as menos realizadas na prática, têm também importância na definição do anteprojeto.

Normalmente, elas só são feitas em edifícios onde a presença de ruído é característica típica, como em indústrias pesadas, mas devem também ser executadas em edifícios onde as separações entre os ambientes empreguem materiais com propriedades acústicas deficientes. Esse é o caso, por exemplo, de escritórios nos quais a demarcação dos ambientes é feita por meio de divisórias a meia altura, onde o barulho dos equipamentos e máquinas de escrever, ou de conversas em geral, podem acabar se propagando por todo o pavimento.

Outro importante campo de aplicação é no projeto de edifícios onde a acústica seja um aspecto fundamental, como teatros, cinemas, auditórios, salas de concertos ou de espetáculos em geral, etc.

Assim, Mitchell(14), Campion(16) e Raynolds(74) apresentam características de programas desenvolvidos especificamente para avaliações acústicas, que calculam o tempo de reverberação para ambientes cuja geometria seja fornecida.

Com o uso dos computadores, pode-se avaliar, num tempo muito pequeno, uma gama muito grande de alternativas, como tipos de revestimentos, dimensões dos ambientes, colocação de anteparos, calculando-se o comportamento do som ponto a ponto, considerando-se tanto a parcela direta quanto a refletida.

Apesar dessa potencialidade, existem poucas referências na área. Podem-se citar os trabalhos de Ianniello & Maffei(199) e Kulowski(200). O primeiro descreve um procedimento computacional que pode auxiliar o projetista na escolha do tratamento superficial necessário para se alcançar um determinado tempo de reverberação num dado ambiente. E, portanto, mais útil na fase do projeto executivo.

Já o segundo é bastante útil a nível de anteprojeto, pois apresenta um algoritmo para a determinação da trajetória do som em ambientes côncavos ou convexos, o que permite que esses sejam modelados e que o problema seja estudado com o auxílio dos computadores.

Na referência (24) são citados quatro programas da área, cujas principais características são:

- NOIZ/RAYTR - (Univ. da Georgia - EUA): programas interativos, para a avaliação dos níveis sonoros em ambientes.
- NOIZE - (Cimap Ltd - Bristol): desenvolvido para microcomputadores, permitindo a avaliação dos níveis sonoros em ambientes.
- Reverberation Time (Grootenhuis - Herts): calcula os tempos de reverberação em ambientes.
- Acoustic Program (Filkington - Lancashire): avalia os níveis sonoros em ambientes.

7.4.3 - Aplicações técnicas: demais áreas

Os programas desenvolvidos para avaliação de edifícios a nível de anteprojeto praticamente se concentram na área ambiental. A única exceção talvez seja a área de estruturas.

Essa é uma das mais desenvolvidas áreas do PEAC, mas a nível de projeto executivo. No entanto é sabido que o conhecimento do comportamento estrutural de um edifício é fundamental quando da definição do anteprojeto, pois é então que as características básicas do edifício são explicitadas.

O arquiteto é o profissional encarregado da elaboração do anteprojeto, e sua formação não é voltada para a área de estruturas. Assim, ou ele passa a depender de um relacionamento mais íntimo com um consultor na área, ou dificilmente fará uma avaliação mais crítica a nível estrutural de seu anteprojeto.

Portanto essa é uma área muito rica para se usar o computador como ferramenta, o que implica no desenvolvimento de programas interativos que possibilitem a execução de cálculos simplificados, a nível de anteprojeto, com a finalidade de orientar o projetista na definição das características do edifício.

Apesar desse conceito ser bastante simples, o desenvolvimento de programas realmente completos para tal tarefa demanda um trabalho bastante complexo, já que eles envolvem a manipulação de uma quantidade muito grande de dados - geometria, carregamentos, normas, características dos materiais, etc -, bem como a execução de cálculos de razoável complexidade.

Por esses motivos, existem muito poucas referências a trabalhos nessa linha. A principal exceção dentre aquelas às quais se teve acesso é a de Pollalis, Georges & Werden(201). Brodski &

Winiarski (202) desenvolvem um trabalho semelhante, mas específico para edifícios com paredes estruturais.

Alguns dos Sistemas Integrados de PEAC apresentam rotinas próprias para anteprojetos estruturais, principalmente os desenvolvidos para trabalharem especificamente com um sistema industrializado de construção. Esse é o caso, por exemplo, do sistema OXSYS, que se encontra descrito no Anexo I.

7.4.4 - Aplicações funcionais

São muitas as possibilidades de aplicações que avaliam o anteprojeto quanto ao seu aspecto funcional. Dentre elas, destacam-se aquelas voltadas para a avaliação das circulações, já que esse, como já visto anteriormente, é o aspecto mais considerado para se medir a eficiência de um arranjo físico.

Para avaliar as circulações, a principal técnica empregada é a simulação dos diversos fluxos de comunicação presentes no projeto, isso durante um determinado período de tempo, procurando assim dados que permitam julgar ou comparar alternativas de projeto.

Nessa linha, destacam-se dois programas: COPLANNER e AIR-Q.

O COPLANNER foi desenvolvido por uma equipe liderada por James J. Souder, em 1964, sendo pioneiro na área. Seu uso era específico para o projeto de hospitais, e baseava-se num sistema gráfico interativo, através do qual o projetista podia especificar a localização dos diversos ambientes.

Feito isso, o programa simulava o fluxo de comunicações durante um determinado período de tempo, a partir do qual eram obtidos dados que permitiam avaliar as diversas alternativas.

Referências ao programa são encontradas em (13), (14), (23), (99) e (203).

Já o AIR-Q, desenvolvido no ABACUS, por L.W.W.Laing, em 1973, objetiva auxiliar o projetista na avaliação de projetos de terminais de passageiros, sobretudo aéreos, os quais estão sujeitos a vários fluxos de chegadas - cargas, bagagens, passageiros, etc -, com um comportamento variável ao longo do tempo.

O modelo empregado baseia-se no traçado de uma rede bidimensional, na qual cada nó representa uma atividade e os elos representam os possíveis movimentos.

A cada nó é associado um tempo de duração, cuja definição depende de dados estatísticos e probabilísticos. Esse tempo pode ser modificado aumentando-se a eficiência da atividade, através, por exemplo, de um maior número de pessoas nela trabalhando.

Além de lidar com essas variáveis - tempo e número de pessoas -, o programa simula também o carregamento da rede, ou seja, a chegada dos aviões e dos embarques.

O AIR-Q fornece assim respostas como: o número de passageiros numa determinada atividade ao longo de um período de tempo, o tempo que cada passageiro gasta esperando por uma determinada atividade, o comportamento do sistema no caso de situações não usuais - fechamento do aeroporto, chegada simultânea de diversos aviões, etc.

Apesar do AIR-Q ter sido desenvolvido para auxiliar no projeto de terminais, baseia-se em conceitos que podem ser aplicados a qualquer tipo de projeto para o qual uma avaliação dos fluxos dinâmicos de circulação, quer de materiais, quer de pessoas, seja aspecto relevante.

Informações mais completas sobre o AIR-Q são encontradas nas referências (44), (45), (140) e (204).

Um outro programa que faz avaliações funcionais, mas não sob o ponto de vista das circulações, foi desenvolvido por Noble & Turner(205). Trata-se do programa LUCS, que avalia arranjos físicos sob o ponto de vista do aproveitamento de espaços (pessoas/unidade de área) e do custo por ocupação (custo/pessoa).

Alguns sistemas integrados, como o SPACES 3, apresentam rotinas próprias para avaliação de arranjos sob o ponto de vista das circulações (ver Anexo I).

Quanto aos outros aspectos funcionais, como flexibilidade e ergonomia, não foi encontrada nenhuma referência a aplicações com o computador.

7.4.5 - Custos

O conhecimento de parâmetros de custo é um dos mais importantes aspectos a serem avaliados por ocasião da definição do anteprojeto. Sem uma idéia precisa do seu valor, é impossível optar de forma segura por uma alternativa.

Sem dúvida um dos grandes campos de aplicação da computação no projeto é a determinação das quantidades de materiais, componentes, serviços, etc, bem como a sua orçamentação.

Discussões nesse sentido têm se dado desde os primórdios do PEAC, como, por exemplo, o trabalho de Barnett(206).

No entanto ainda não existem sistemas que permitam a execução automatizada de avaliações desse tipo. Alguns aspectos explicam esse fato.

O primeiro deles é a grande quantidade de informações envolvidas. Para se especificarem todos os materiais, elementos e componentes, bem como a sua composição de custos, é necessário uma quantidade de informações do porte da que consta, por exemplo, nas Tabelas de Composição de Freços para Orçamentos-TCPO(207). Além disso, a cada item corresponde um determinado custo de mercado, que varia constantemente.

A própria obtenção dos custos da construção como um todo envolve uma estrutura hierarquizada de cálculos, que parte de elementos como uma planilha de custo unitário, até chegar aos subsistemas do edifício e a esse de maneira global.

No entanto, o aspecto mais complicado é o da quantificação de cada item num dado projeto. A estrutura de dados para se conseguir isso é bastante intrincada, e também envolve uma quantidade muito grande de informações.

Além disso, precisam ser considerados não só os custos diretos como outros: custos administrativos, custos de manutenção, custos de utilização, etc.

Por esses motivos, a produção precisa de orçamentos acaba sendo feita somente no final do projeto, por ocasião da elaboração do projeto executivo, cujas aplicações não serão vistas nesse trabalho, sendo apenas citadas no Anexo II.

A nível de anteprojeto, são mais apropriadas aplicações que trabalhem com índices e não com custos precisos. O uso de índices (OTN/m³ concreto, OTN/m² de alvenaria, OTN/ml de estaca, etc) não só diminui a quantidade de dados a serem armazenados e atualizados, como também simplifica a estrutura dos cálculos.

Mitchell(14) e Reynolds(74) fazem uma série de considerações de interesse sobre aplicações nessa área.

Alguns sistemas integrados possibilitam a obtenção de orçamentos a nível de anteprojeto, como o SSHA, cujas características encontram-se descritas no Anexo I.

7.4.6 - Aspectos Legais

O uso do computador para checagem automatizada do anteprojeto com relação às diversas normas e códigos que o regulamentam é uma das aplicações que mais despertam interesse, devido à simplificação que isso traria ao processo como um todo.

No entanto a implantação prática de um sistema como esse apresenta enormes dificuldades, devido sobretudo à quantidade de informações a serem armazenadas e à complexa estrutura organizacional que um programa realmente útil deve apresentar.

Uma primeira simplificação do problema pode ser obtida com uma especialização dos sistemas. Assim, pode haver um programa específico para considerar aspectos previstos nos códigos de edificações e nas leis de uso e ocupação do solo e outro para as normas em geral (estruturas, materiais, instalações hidráulico-sanitárias, instalações elétricas, etc).

A nível de anteprojeto, as regulamentações dos códigos de edificações e das leis de uso e ocupação do solo são as mais importantes.

Mitchell(14) cita dois trabalhos desenvolvidos na cidade de Nova Iorque, em 1971, que checavam a acórdância do projeto com as regulamentações do código de edificações.

Chapman & Chee(208) desenvolveram um programa capaz de auxiliar o projetista na busca de informações a respeito do código de edificações ("Uniform Building Code"). Nesse caso, não era feita

propriamente uma avaliação, sendo que o programa atuava apenas como banco de dados para se obterem informações seguras a respeito de determinados aspectos legais de um projeto em desenvolvimento.

Um trabalho teórico a respeito das dificuldades de se conseguir uma automatização das checagens dos projetos de edificações foi desenvolvido pelo Centro para Tecnologia da Edificação do NBS ("Center for Building Technology - National Bureau of Standards"), sendo relatado por Stahl et alii em (209).

7.4.7 - Aspectos visuais

Uma avaliação que é particularmente interessante a nível de anteprojeto consiste em antever as características estéticas do edifício - forma, proporção, estilo, etc -, bem como a maneira pela qual ele se insere no meio.

O computador se presta a essas avaliações, através do traçado de desenhos de uma maneira geral - plantas, elevações, cortes, detalhes, etc -, ou de desenhos em perspectiva.

Não se pretende aqui discutir todas as características e potencialidades da área de DAC, já que, conforme visto, isso demandaria um trabalho específico sobre o assunto. O que se almeja, apenas, é dar um panorama sobre a área, voltado para o edifício.

Assim, as aplicações podem ser classificadas quanto aos seguintes aspectos:

- grau de interação;
- tipo de representação;
- modelamento empregado

Quanto ao grau de interação, elas podem ser classificadas em interativas e não-interativas.

Nas interativas o homem e o computador trabalham em conjunto e cada ação do operador tem seu resultado prontamente apresentado. Nas não-interativas, os dados geométricos são fornecidos de uma única vez, através de equipamentos compatíveis de entrada de dados.

De uma maneira geral, as aplicações interativas são mais sofisticadas e caras, e requerem equipamentos especiais de entrada e de saída de dados. Em contrapartida, as alterações e a própria produção dos desenhos se dá de forma mais rápida.

Quanto ao tipo de representação, as aplicações são classificadas em bidimensionais (2D), tridimensionais (3D) e intermediárias (2 1/2D).

As aplicações 2D só trabalham com informações no plano, de forma semelhante a um desenho comum, enquanto que as 3D permitem trabalhar com uma terceira dimensão, obtendo-se o efeito volumétrico.

As 2D são mais fáceis de operar e requerem menos capacidade de processamento.

As 3D permitem recursos como o traçado de perspectivas.

As 2 1/2D permitem que seja dada aos elementos desenhados em planta uma terceira dimensão, formando com isso sólidos cilíndricos ou prismáticos. Todos os pontos apresentam uma mesma dimensão na vertical. Com isso possibilitam recursos semelhantes aos das 3D.

Quanto ao modelo empregado, as aplicações podem considerar o objeto como uma entidade completa, ou simplesmente como um conjunto de vértices, arestas e faces ligadas entre si. Nesse segundo caso, não importa o que as linhas desenhadas sejam, mas somente suas características geométricas.

As "pranchetas eletrônicas", discutidas no item 5.4.1, são exemplos típicos de programas para avaliação dos aspectos visuais que consideram os objetos representados apenas como um conjunto de elementos geométricos - vértices, arestas e faces - e não como uma entidade lógica - um edifício, por exemplo. São também aplicações 2D.

Programas mais "inteligentes" podem, no entanto, ser desenvolvidos. Ao considerar o objeto como uma entidade completa, é possível fazer outras avaliações com o mesmo modelo. Além disso, qualquer modificação geométrica que seja feita interage com todas as partes do desenho com ela relacionadas, assegurando maior coerência de informações.

Existem muitos livros, periódicos e publicações que tratam da área da Computação Gráfica. Dentre esses, convém destacar alguns voltados para a área do edifício, ou da Engenharia Civil em geral: (10), (13), (17), (52), (66), (70), (74), (100), (106), (210), (211), (212), (213), (214), (215), (216), (217), (218) e (219).

Algumas destas referências, bem como outras, publicam informações sobre diversos sistemas já desenvolvidos, como por exemplo: (10), (44), (52), (70), (74), (100), (140), (210), (213), (214), (220), (221), (222), (223), (224) e (225).

Alguns desses sistemas merecem destaque especial.

Assim, são fundamentais os que permitem simular um "passeio" ou mesmo um "vôo", em torno e por dentro do edifício em projeto, conforme ilustra a Figura 7.8.

Além disso, com a evolução dos monitores coloridos de alta resolução gráfica, é possível também estudar o efeito da cor no projeto.

Aplicações com essas características têm sido desenvolvidas desde a década de 60, principalmente para a área aeroespacial.

Na área do PEAC, destacam-se, pelas suas características de pioneirismo, os programas desenvolvidos por F.Kamnitzer, em 1969, chamado de CITY-SCAPE(224) e por D.P.Greenberg(225), em 1974. A Figura 7.8 ilustra uma aplicação deste último.

De uma maneira geral, os programas mais úteis são aqueles com elevada capacidade interativa, e que incorporam uma gama muito grande de recursos para a elaboração e a correção dos desenhos, típicos das "pranchetas eletrônicas", como: translação, escalamento, rotação, simetria, "janelamento", ajuste de curvas, estudo de visibilidade, cor, textura, padrões de linhas, etc.

Por fim, convém citar o trabalho do arquiteto Bernardo Rubinstein, que desenvolveu o programa Pró-arquitetura para ser executado em microcomputadores de 16 bits. Uma descrição simplificada do programa encontra-se na referência (226).

7.4.8 - Sistemas integrados para avaliações

De uma maneira geral, os programas para avaliações são desenvolvidos para ser aplicados por ocasião do projeto executivo, e não a nível de anteprojeto, pois são mais voltados aos especialistas de cada área.

(a)

(b)

(c)

Figura 7.8 - "Passeio" em torno de um edifício em projeto localizado entre outros já existentes (23).

Uma alternativa é se criarem sistemas mais específicos para a fase de anteprojeto, que trabalhem com informações mais gerais sobre o comportamento do edifício e sobre a maneira pela qual os diversos parâmetros de projeto interferem nesse comportamento.

Com essa filosofia foram desenvolvidos diversos sistemas integrados para avaliações, que procuram englobar numa só estrutura de dados todos os aspectos de desempenho anteriormente apresentados.

Como vantagem adicional, porém igualmente importante, esses sistemas permitem uma grande economia de tempo no fornecimento de dados para as avaliações, já que todas elas são feitas a partir de uma mesma base de dados centralizada.

A seguir, serão apresentadas as características básicas dos principais sistemas desenvolvidos.

a) Martin Center for Architecture and Urban Studies -
Universidade de Cambridge

É um sistema desenvolvido por D.Hawkes e R.Stibbs, em 1971, cujas características são descritas em (14) e em (135).

Seu principal aspecto é integrar apenas as avaliações ambientais, permitindo seu tratamento simultâneo em um dado ambiente.

Faz isso através do interrelacionamento dos diversos requisitos de desempenho considerados, com as características geométricas e com as propriedades físicas do edifício, organizando essas informações por meio de uma matriz idealizada por Hawkes.

O principal interesse nos programas que consideram o sistema ambiental de maneira global é obter com eles a solução ótima sob o ponto de vista energético, mesmo que iterativamente.

b) BESS - Building Environment and Services Simulation

Trata-se de um modelo de simulação para a área de instalações e de tecnologia ambiental do edifício desenvolvido na Austrália por B.S.Forwood(136), em 1971.

Baseia-se num modelo iterativo, no qual o trabalho é feito interativamente, sendo aplicado a edifícios de escritório de grande porte.

A idéia básica do modelo é permitir uma avaliação global dos aspectos relacionados com a área de instalações e tecnologia ambiental, estudando também como cada sistema interage com os demais.

As avaliações são feitas tratando-se o edifício como um todo, e não cada ambiente isoladamente.

Os subsistemas considerados são:

- transporte vertical;
- condicionamento de ar;
- iluminação natural e artificial;
- instalações elétricas;
- instalações hidráulico-sanitárias;
- comportamento acústico.

Para tanto, o modelo procura:

- descrever, em termos matemáticos, todos os aspectos envolvidos;
- simular a resposta do edifício a uma ação do ambiente exterior;
- simular a operação dos sistemas, de forma a obter uma determinada resposta de funcionamento.

Com isso, pode-se manipular a forma do edifício, avaliando as consequências em termos do desempenho dos sistemas, do consumo energético e dos correspondentes custos, de forma a se manter um nível padrão de funcionamento interno fixado.

O modelo foi desenvolvido tanto para auxiliar na elaboração de projetos, inclusive não se limitando à fase de anteprojeto, como para ser ferramenta de pesquisas na área.

Uma continuação do trabalho encontra-se na referência (227), sendo que em ambas os resultados práticos relatados não chegam a atingir o objetivo global traçado, pois limitam-se a considerar os três primeiros sistemas - transporte vertical, condicionamento de ar e iluminação.

Como conclusão de ambas, é importante destacar a grande importância dada à estruturação dos dados, etapa fundamental para se conseguir um sistema realmente útil e que funcione de forma satisfatória.

c) FACE 1 - Package for Architectural Computer Evaluation

O "Pacote para Avaliações Computacionais em Arquitetura" é um sistema também desenvolvido no ABACUS, por T.W.Maver, em 1971, encontrando-se sua descrição nas referências (50), (228) e (229).

Tem uma estrutura conversacional, portanto interativa, e está voltado para a fase de anteprojeto.

Suas entradas básicas são:

- geométricas: dimensões e pés direitos, referenciadas a um sistema cartesiano de coordenadas;
- topográficas: extraídas a partir de uma malha quadrada superposta ao terreno;

- construção: porcentagem de janelas e tipo de isolamento de cada fachada;
- ligações: adjacências entre ambientes;
- gerais: tipo de edifício, número de ocupantes, local, altitude, etc.

Com esses dados, e de forma interativa, o sistema vai iterativamente convergindo para uma alternativa adequada, sendo as saídas apresentadas sob a forma de custos ou de avaliações de desempenho:

- custos: de capital, de manutenção, de iluminação, de aquecimento, gastos com energia, etc;
- desempenho espacial: taxa de ocupação, coeficiente de aproveitamento, compacidade em área e em volume;
- desempenho ambiental: iluminação, ventilação, perdas térmicas, etc;
- desempenho funcional: atendimento à matriz de adjacências.

Como característica, ele armazena sempre a última alternativa proposta, que pode ser resgatada caso as alterações feitas não levem às melhoras esperadas.

Nas referências citadas, são feitos comentários sobre os sistemas PACE 2 e PACE 3 que deveriam ser desenvolvidos, segundo as mesmas linhas, para fases mais avançadas do projeto, inclusive a nível de projeto detalhado.

Cross(23) traz também algumas informações adicionais a respeito do sistema PACE 1.

d) PHASE - Package for Hospital Appraisal, Simulation and Evaluation

O "Pacote para Apreciação, Simulação e Avaliação de Hospitais" também foi desenvolvido no ABACUS, por uma equipe chefiada por D. Kernohan, em 1973.

Tem características semelhantes às do PACE 1, sendo também interativo; por ser especializado, lida com informações mais precisas.

Assim, o sistema possui um banco de dados padrão, com as mais diversas informações sobre a área hospitalar, como dados sobre os ambientes (renovações de ar, necessidades de janelas, horas de ocupação, etc), ligações e circulações entre eles, custos de cada atividade, etc.

O sistema é dividido em vários programas especializados:

- do edifício: faz avaliações gerais, como desempenho espacial, custos energéticos, desempenhos ambientais, etc;
- das atividades: modela e avalia o sistema de circulação;
- das instalações e serviços: modela as instalações e serviços nos diversos departamentos;
- funcional: atendimento aos requisitos de adjacências;
- movimentação de terra: estabelece níveis para minimizar as necessidades de cortes e de aterros;
- perspectiva: traçado de perspectivas, com eliminação das linhas invisíveis.

Referências ao PHASE são encontradas em (45) e (135).

e) ECOLE3

O programa ECOLE3 foi desenvolvido no ABACUS, em 1976, por R. Th'ng e H.Sussock.

Deve ser utilizado a nível de anteprojeto e parte de um arranjo fornecido pelo projetista, que define também o nível de detalhes com que serão feitas as avaliações. São também fornecidas informações sobre o terreno, sobre a geometria do edifício, seus fechamentos e sua estrutura.

Sua saída consiste de uma série de avaliações relativas ao arranjo espacial e às adjacências, sobre a estrutura, avaliações ambientais - perdas térmicas, sombreamentos - e estimativas de custos.

Referências à ele são encontradas em (24), (135), (204) e (228).

f) HELP - Housing Evaluation Layout Package

O HELP (Pacote para Avaliação de Arranjos Residenciais) também é um programa desenvolvido no ABACUS, em 1976, por H.Sussock.

É aplicado na avaliação de residências localizadas em conjuntos, sendo fornecidas informações sobre estes, a casa em si, as redes de serviços e os acessos.

Possui saídas gráficas e por meio de tabelas, que ilustram avaliações a respeito de aspectos como: custos, áreas utilizadas, acessos, iluminação natural, etc.

Assim como o programa ECOLE3, anteriormente citado, ele necessita de estação gráfica de trabalho, ligada a um minicomputador.

Informações sobre o programa podem ser obtidas em (24) e (135).

g) GOAL - General Outline Appraisal of Layouts

O programa GOAL (Avaliações Esquemáticas Gerais de Arranjos) também foi desenvolvido no ABACUS, em 1978, por H. Sussock.

Trata-se de um programa para ser aplicado a nível de anteprojeto, permitindo avaliá-lo segundo uma vasta gama de requisitos de desempenho.

Sua filosofia básica é a de ser um programa interativo de fácil utilização, apresentando as respostas de maneira clara ao operador.

Para tanto, permite que as entradas sejam feitas via teclado ou via dispositivos mais sofisticados, como digitalizadoras, e os resultados são apresentados em monitores gráficos.

As informações são armazenadas em dois tipo de arquivos: geral e específico.

O arquivo geral armazena informações climáticas, sobre os materiais, componentes e elementos da construção civil, sobre os custos de manutenção e operação, sobre os custos de capital, sobre dados ambientais diversos, como propriedades térmicas de certos materiais e componentes de fechamento, cobertura e piso.

Já o arquivo específico armazena dados do projeto em desenvolvimento, como a geometria do edifício, as relações funcionais entre ambientes, as características construtivas, as aberturas existentes, etc.

Assim, uma parcela dos dados específicos é fornecida pelo operador e o restante é escolhido entre os presentes no arquivo geral.

A alteração de ambos os arquivos é feita de modo interativo, podendo-se dar nas informações padrões, nas geométricas, nas características construtivas ou nas específicas do projeto.

Quanto às saídas, o programa possibilita grandes recursos.

As informações espaciais podem ser obtidas por meio de plantas dos pavimentos, cortes, perspectivas paralelas (sem eliminação de arestas e contornos invisíveis) e perspectivas cônicas (com eliminação). É disponível uma série de outras operações geométricas selecionadas através de "menus".

Além disso, ele permite outras avaliações espaciais, como a relação área de paredes/área de pisos, compactidade em área e em volume, etc.

As avaliações ambientais são apresentadas por meio de tabelas, onde constam informações sobre os ganhos e perdas térmicas em cada parede, considerando os fenômenos de insolação, condução e ventilação, bem como a ocupação e a iluminação de cada ambiente. São também fornecidos os consumos energéticos anuais e as necessidades em termos de iluminação.

Nas avaliações sobre custos, são fornecidas informações sobre os custos de construção, ou de capital, identificando a parcela de cada subsistema do edifício, e sobre custos de operação, como gastos com aquecimento de ambientes e de água, com iluminação, com manutenção, etc.

Por fim, são apresentadas avaliações sobre a proximidade do arranjo proposto em função das relações funcionais explicitadas.

Sussock sugere que o programa seja utilizado em estágios. Assim, primeiro são feitas avaliações espaciais para diversas propostas de arranjo, escolhendo-se aquela que se mostrar mais adequada.

Uma vez definido o arranjo, são avaliados os demais aspectos relativos à construção em si, modificando-se os materiais empregados, a quantidade de aberturas, etc, até se obter a solução final.

Referências mais detalhadas sobre o GOAL são encontradas em (10), (44) e (140).

h) GABLE

O programa GABLE foi desenvolvido na Universidade de Sheffield, Inglaterra, por B.Lawson, em 1980 (222).

Permite avaliações de aspectos como áreas dos ambientes, perdas térmicas, fatores de iluminação, trajetória solar, comportamento acústico, etc.

Sua principal característica é sua parte gráfica, que permite o traçado de perspectivas.

O GABLE é essencialmente um programa para fins didáticos, mas que apresenta características que o habilitam para o uso profissional.

Referências ao programa são encontradas em (10) e (52).

i) SCRIBE

É um programa desenvolvido por Cedric Green (222) em Sheffield, Inglaterra, e realiza sobretudo avaliações dos aspectos visuais, com a possibilidade de se traçarem perspectivas, bem como plantas e elevações.

Além disso permite também avaliações térmicas e sobre custos.

É executado em microcomputador da linha Apple, e custava, em 1982, cerca de Cz\$ 17.000.

j) Oven Arup Partnership

Trata-se de um SI para avaliação dos chamados "serviços" do edifício. Permite a realização de avaliações relativas aos subsistemas:

- iluminação natural e artificial;
- condicionamento térmico;
- energia;
- tubulações e dutos;
- elevadores.

É um trabalho bastante recente, e encontra-se descrito na referência (230).

7.4.9 - Comentários

Como já comentado anteriormente, os custos do projeto de um edifício são muito pequenos quando comparados aos de sua operação, muito embora seja no projeto que se definem as características de desempenho que condicionam esses custos (ver Figura 2.1).

Apesar disso, normalmente o aspecto primordial que é levado em conta é o custo do capital, ou seja, o projeto é desenvolvido visando-se obter uma obra de baixo custo, em detrimento de uma solução que corresponda a um menor custo de operação. O interesse do cliente, ou dono do projeto, vem antes do interesse do usuário final.

A consequência dessa postura é que as soluções adotadas não são avaliadas sistemicamente, procurando-se analisar o funcionamento do edifício como um todo.

Nesse sentido, o uso dos computadores como ferramenta de auxílio nas avaliações das propostas, a nível de anteprojeto, ou mesmo numa fase mais avançada, pode em muito contribuir para a obtenção de soluções que tenham um desempenho satisfatório, para as quais os custos de operação sejam diminuídos, e que não impliquem, necessariamente, em elevados custos de capital.

Um outro aspecto importante a se destacar relaciona-se com a elaboração do modelo empregado nas avaliações. Em primeiro lugar, eles devem ser desenvolvidos a um nível compatível com a fase de anteprojeto. O que se pretende com eles não é substituir o trabalho de um projetista especializado, mas sim deixar para este o trabalho final, já integrado no sistema como um todo.

Assim, o desenvolvimento de programas na área deve se dar de forma cuidadosa, procurando sobretudo englobar os conceitos envolvidos em cada tipo de avaliação.

Em segundo lugar, deve-se evitar uma simples adaptação dos procedimentos feitos manualmente, já que esses têm simplificações compatíveis com esse tipo de trabalho. Assim, é importante trabalhar com métodos desenvolvidos especificamente para serem empregados em computadores.

Por fim, é preciso ter sempre uma postura crítica perante os resultados obtidos, já que eles provêm de modelos, e não da realidade, e podem trazer consigo os decorrentes vícios e simplificações.

Em linhas gerais, deve-se adotar as idéias de Maver(229), que caracterizam os requisitos de um programa para ser aplicado na avaliação de anteprojetos como sendo:

- simplicidade: deve ser utilizado mesmo por aqueles que não entendam de computação;
- interativo: deve apresentar informações apropriadas e suficientemente detalhadas para sugerir modificações que levem à uma solução convergente;
- eficiência: a relação trabalho na entrada de dados versus riqueza de informações das saídas deve ser favorável à primeira, para estimular o projetista a utilizar o programa;
- flexibilidade: deve permitir uma flexibilidade no uso, já que cada projetista e cada projeto têm suas características próprias.

CAPITULO 8 - CONCLUSÕES

Quando um trabalho se propõe a discutir um tema muito amplo, os resultados obtidos tendem mais para linhas de ação para o avanço do tema do que propriamente para conclusões.

Nesse contexto se situa essa dissertação, ainda mais quando foram feitos comentários a cada Capítulo ou a cada assunto mais específico.

Assim, devem-se entender as colocações a seguir como idéias de fecho, que procuram amarrar os conceitos vistos, sugerindo maneiras pelas quais eles possam ser aproveitados e aprimorados, tornando-se realmente úteis aos projetistas.

8.1 - O Mito Computador

Como visto, os computadores atualmente não passam de "máquinas idiotas", escravas do homem. Não pensam, não raciocinam, não criam, não conceituam e não aprendem nada por si mesmas.

Assim, não há porque delas ter medo; pelo contrário, deve-se enfrentar o desafio de dominá-las.

O computador como ferramenta é um instrumento que serve ao homem, liberando seu tempo para que ele se dedique a atividades mais inteligentes e criativas, e seu trabalho passa a ser mais resultado do intelecto do que dos músculos.

8.2 - O Acesso à Nova Tecnologia

As aplicações práticas desenvolvidas até a década de 70, sobretudo os SI, apesar de terem sido em grande número, tiveram um impacto marginal na área do projeto do edifício.

Esse fato deveu-se principalmente à falta de melhores recursos tecnológicos, tanto na área de equipamentos, quanto de programas.

Atualmente esse quadro está se alterando.

Tem ocorrido acentuada queda no custo dos equipamentos e um grande aumento no seu desempenho, sobretudo dos microcomputadores e dos periféricos para a interface usuário-computador.

A consequência disso é uma completa mudança na relação de trabalho homem e máquina.

Os computadores deixaram de ser algo para "experts", tornando-se acessíveis a qualquer empresa, mesmo às de menor porte.

Também a área de programação tem tido rápida evolução, através do desenvolvimento de novos sistemas operacionais, novas linguagens de alto nível e, principalmente, novas técnicas computacionais ligadas ao problema da estruturação de dados, à Computação Gráfica e à Inteligência Artificial.

Outra mudança nessa área foi a diversificação e o aumento do mercado de programas. Antes eram os próprios fabricantes que desenvolviam ou contratavam o desenvolvimento dos aplicativos para seus grandes computadores. Hoje essa tarefa é responsabilidade do próprio mercado, quer através de "software - houses", quer da própria pessoa ou empresa que se utiliza do equipamento.

Essa maior acessibilidade, tanto dos equipamentos, quanto dos programas, permite que qualquer escritório de projeto e qualquer empresa de construção possa utilizar o computador, sobretudo os micros, como ferramenta. E mais, permite também que os programas possam ser mais específicos para cada usuário, feitos de acordo com a sua forma de trabalhar e de projetar. E mais fácil ensinar computação aos projetistas do que projeto aos profissionais da informática (não que o projetista precise ser um analista de sistemas, mas ele deve conhecer o ferramental ao seu dispor para que possa dele tirar proveito).

8.3 - Onde Utilizar o Computador Hoje?

Como foi visto ao longo dessa dissertação, o projeto do edifício é uma atividade muito complexa, envolvendo aspectos dificilmente expressos de forma quantificável.

Em vista disso, bem como das considerações feitas nesse Capítulo, pode-se concluir que os computadores devem atuar como:

- uma ferramenta de trabalho;
- uma máquina interativa.

O papel de ferramenta está bem claro, auxiliando no desenvolvimento dos projetos, como um processador de cálculos, uma máquina simuladora, uma máquina geradora, uma máquina otimizadora ou um sistema integrado, sobretudo fazendo avaliações, mostrando ao projetista as consequências de suas decisões e permitindo a exploração e comparação de alternativas.

Pode também auxiliar na produção dos elementos físicos que compõem o projeto, como memoriais, orçamentos, cronogramas e desenhos, através das "pranchetas eletrônicas", das "planilhas eletrônicas", dos "bancos de dados" e dos "redatores de texto".

E mais, pode-se explorar a capacidade que os computadores têm para armazenar dados, criando-se arquivos com características dos materiais, componentes e elementos construtivos, com detalhes padrões de projetos, com características de projetos já desenvolvidos, com informações institucionais (normas, códigos), etc.

As aplicações, particularmente na área do edifício, não se devem basear apenas na busca do ótimo mas, fundamentalmente, devem auxiliar o projetista nas tarefas repetitivas ou naquelas que, embora importantes, não são feitas por falta de tempo.

Esse aspecto reforça seu papel de máquina interativa, quer a nível integrado, quer numa aplicação específica. O projeto do edifício, tanto mais a nível de anteprojeto, não se presta a processamentos em lote, do tipo fornecer dados/buscar resultados.

A atuação do projetista no processo é fundamental. Computador e homem devem trabalhar em conjunto, somando esforços na obtenção de soluções tecnicamente mais adequadas.

B.4 - O Futuro

Como já comentado, o futuro da área do PEAC é um tanto imprevisível. Se um dia uma única pessoa e um computador serão capazes de fazer um projeto completo, bem como se a máquina será dotada de uma capacidade de "aprender a projetar", é cedo para dizer. O que se tem como certo é que a estrutura profissional vai mudar, e é um contra-senso querer negar isso.

O que se pode fazer hoje através do PEAC está longe de ser o limite de alcance da área. Deve-se ficar atento à sua evolução, para dela se tirar o maior proveito, obtendo melhores projetos e um maior benefício para a sociedade.

Num futuro próximo, continuará a ocorrer uma evolução técnica dos equipamentos, sobretudo os gráficos, bem como uma diminuição de seus custos. A nível de programação, continuarão a ser fundamentais as áreas de:

- 1) **Estruturação de Dados:** permitindo representar a complexa estrutura geométrica dos edifícios de forma inteligente.
- 2) **Computação Gráfica:** fornecendo recursos para uma melhor comunicação homem e máquina, bem como idealizando modelos geométicos que auxiliem na estruturação de dados.
- 3) **Inteligência Artificial:** herdeira dos Métodos de Projeto, sua evolução possibilitará "ensinar" ao computador os aspectos subjetivos e conflitantes do ato de projetar, permitindo o desenvolvimento dos Sistemas Especialistas.

Discussões sobre os aspectos comentados nesse Capítulo podem ser encontradas nas referências (10), (12), (51), (52), (218) e (219), bem como nos trabalhos de Bell (231), de Perrone (232), Márkus (233), Bell & Plank (234), Freiss (235), Swinson (236) e Kalay (237) e na referência (238).

ANEXOS

ANEXO I - SISTEMAS INTEGRADOS

I.1 - Os Principais Sistemas Desenvolvidos

Como já comentado na Introdução desse trabalho e no item 5.4.4, nesse Anexo serão descritas as principais características de diversos SI de PEAC, inclusive daqueles que apresentam importância histórica.

Pretende-se com isso dar uma visão dos conceitos e das posturas, bem como do grau de profundidade adotado em cada um, possibilitando situar-se de forma ampla numa área das mais complexas do PEAC.

Evidentemente, por não se ter tido acesso a nenhum manual de operação e, muito mais, por não se ter utilizado nenhum dos sistemas, as descrições têm que se limitar às informações contidas nas referências bibliográficas consultadas. Essa deficiência faz, ainda, com que sejam apenas descritos os sistemas para os quais tenha sido obtido um nível mínimo de informações, restringindo assim o universo dos exemplos apresentados.

Para ser possível uma análise evolucionária, os sistemas serão descritos em ordem cronológica e não em função da importância ou da complexidade de cada um.

Como observação, convém destacar que, para evitar enganos, a numeração das referências citadas será feita sequencialmente, a partir da última referência do trabalho principal.

DAC-1 - Design Augmented by Computer - EUA - 1964

O sistema de projeto "enriquecido" por computador DAC-1, desenvolvido por Edwin L. Jacks(239), da General Motors Corporation, merece destaque pelo seu aspecto histórico (ver item 2.1). Era um sistema gráfico baseado num computador IBM 7094 e num sistema de processamento de imagens IBM 7960, possuindo as principais características dos sistemas atuais. Assim, após a leitura via cartões das características geométricas principais do objeto em projeto, o projetista tinha a seu dispor um teclado especial chamado "console homem-computador", através do qual podia selecionar uma série de funções que atuavam sobre a imagem gráfica do projeto, a ele apresentada num tubo de raios catódicos.

Por meio dessas funções era possível alterar as dimensões de qualquer parte do desenho, observá-lo em perspectiva por qualquer ângulo, acrescentar ou eliminar linhas, armazená-lo num arquivo, etc.

Além do console, o projetista dispunha também de uma caneta-de-luz, chamada de "lâpis indicador de posição", com a qual ele fazia indicações diretamente no tubo de imagens.

Os programas que davam apoio ao sistema tinham mais de 750.000 instruções, o que o transformava num dos maiores sistemas então em uso nos EUA.

Outro sistema com características semelhantes ao DAC-1 foi desenvolvido pela indústria aeronáutica norte-americana Lockheed-Georgia Company, em 1965. Utilizava um sistema gráfico protótipo Univac 418 e um monitor DEC 340. Suas características podem ser encontradas no trabalho de Chasen(240).

ICES - Integrated Civil Engineering Systems - EUA - 1967

O ICES foi desenvolvido no MIT e, a partir de 1968, foi incorporado à biblioteca de programas da IBM.

É um dos maiores sistemas já elaborados, e seu uso não se restringe ao edifício, abarcando a Engenharia Civil e a Arquitetura com um todo.

Está estruturado em torno de um programa central de armazenamento de dados e troca de informações, sob o qual está ligado um conjunto de programas específicos, dentre os quais se destacam:

- COGO ("Coordinate Geometry"): topografia;
- STRUDL ("Structural Design Language"): estruturas;
- PROJECT ("Project Engineering Control"): controle de projetos;
- SEPOL ("Settlement Problem Oriented Language"): fundações;
- BUILD ("Building Description"): arquitetura.

O programa BUILD, desenvolvido por Teague Jr. em 1970, cujas primeiras características podem ser encontradas na referência (241), foi concebido para ser um sistema integrado para projeto de edifícios.

Com o BUILD pretendia-se que o projeto todo fosse desenvolvido a partir de uma base comum de dados, com a qual podiam ser identificados conflitos, permitindo que o projetista tivesse maior controle de suas ações, sendo feitas avaliações e simulações diversas.

Suas primeiras versões, no entanto, limitavam-se a lidar com quatro tipos de informações(99): espaços, superfícies, atividades e materiais.

Segundo Mitchell(14), apesar do sistema ter sido concebido para possuir uma complexa e sofisticada capacidade de manipulação de dados, muitas de suas características nem chegaram a ser desenvolvidas e implementadas.

WSSC - West Sussex County Council - Inglaterra - 1968

O sistema desenvolvido pelo departamento de arquitetura do "Conselho do Condado de West Sussex - WSSC" foi um dos primeiros a ser patrocinado por um órgão governamental, e era aplicado a projetos baseados no sistema construtivo industrializado SCOLA, que se destinava à construção de centros de saúde, bibliotecas e, sobretudo, escolas.

O sistema era praticamente completo, envolvendo desde a fase de estudos preliminares até a produção de desenhos de execução e, segundo Ray-Jones(242), foi o primeiro a ser utilizado na prática profissional, ou seja, fora das universidades e dos centros de pesquisas.

O trabalho se desenvolvia de forma interativa, diretamente no monitor, através do uso de uma caneta-de-luz e de "menus" de opções, tendo sido inicialmente implantado num computador IBM 360.

Após serem introduzidas as características do terreno, o sistema fornecia informações sobre sua conformação - perfis, níveis, etc.

Também na fase de estudos preliminares, era possível produzir, com base em informações sobre o comportamento humano e sobre suas ocupações, uma relação dos ambientes correlacionados ou adjacentes, tanto em termos de circulação, como em relação a aspectos como a necessidade ou não de iluminação natural, por exemplo.

Com base nessas correlações o projetista podia orientar os contornos de seu anteprojeto segundo "menus" que apresentavam os diversos itens do sistema SCOLA.

Uma vez obtida uma solução alternativa, o sistema permitia a execução de diversas avaliações, como das características estruturais e ambientais - acústicas, térmicas, de iluminação natural, etc.

Com as avaliações, eram feitas as alterações necessárias, num processo iterativo que convergia para uma solução satisfatória.

O sistema permitia ainda o traçado de perspectivas e a observância das recomendações previstas nos códigos de edificações.

A partir da solução definida, passava-se à fase de produção da documentação final.

Os orçamentos eram feitos a partir de quantificações e de um "módulo de preços", mantido atualizado com dados dos fornecedores locais. O resultado eram tabelas contendo, além dos custos, quantidades relativas às necessidades de mão de obra e de materiais.

Os desenhos de execução eram produzidos através de traçadoras gráficas.

Uma característica adicional do sistema era produzir automaticamente a documentação necessária à contratação da obra, pois os projetos eram sempre de edifícios públicos.

Apesar de todas essas características, sobretudo sua capacidade de lidar com o problema a nível de anteprojeto, o sistema acabou sendo desativado em 1974. Segundo Mitchell(14), isso se deu por

mudanças políticas na área, provavelmente devido ao crescente desemprego de técnicos. Antes disso, porém, ele foi uma ferramenta empregada no dia a dia da equipe de projeto do WSCC.

Referências ao sistema podem ser encontradas em: (10), (23), (74), (107), (111), (243), (244), (245) e (246).

Harness - Inglaterra - 1969/72

O sistema foi desenvolvido pelo órgão governamental inglês de saúde e assistência social ("Department of Health and Social Security - DHSS"), e baseava-se no uso de um conjunto de ambientes ou departamentos padrões previamente projetados, os quais, combinados, permitiam a obtenção de hospitais com diferentes características de funcionamento.

A tarefa do computador era essencialmente armazenar as características desses departamentos para então arranjá-los, visando, sobretudo, a atender às características impostas para a circulação.

Pelo fato do sistema ligar diversos departamentos segundo uma circulação definida, ele recebeu o nome **Harness**, que significa "arreios".

Afora os departamentos padrões, que correspondiam a 70% a 80% de um hospital normal, o sistema permitia ainda o projeto de áreas específicas para cada problema particular.

Além disso, englobava todas as fases de um projeto hospitalar, desde os estudos preliminares, até a produção da documentação para construção e contratação da obra, incluindo os necessários desenhos.

Dois conjuntos de programas foram desenvolvidos para atuar no sistema. O primeiro deles partia de uma solução de arranjo proposta pelo projetista. Essa era então avaliada segundo aspectos como eficiência das circulações, custos de construção, perdas térmicas, uso do solo, etc. Num processo iterativo, trabalhando-se diretamente na tela, via caneta-de-luz, a solução final podia ser obtida após uma série de iterações.

No segundo conjunto, a própria solução era definida pelo computador, que otimizava o critério circulação, obedecendo as restrições impostas na fase de estudos preliminares, expressas por meio de uma matriz de adjacências.

Assim, o sistema podia tanto ser empregado para fazer avaliações segundo um modelo iterativo (primeiro conjunto), como também para fazer sínteses, segundo um modelo direto (segundo conjunto).

Outras avaliações podiam ser feitas a nível de anteprojeto: necessidade de corte/aterro, necessidades estruturais a nível de infra e superestrutura e traçado de perspectivas.

Uma característica interessante do sistema era permitir uma comparação entre a alternativa em estudo e uma solução "média", cujas características de desempenho se encontravam armazenadas em arquivo, constantemente atualizado à medida que eram feitos novos projetos.

A nível de execução, o Harness permitia não só a produção de desenhos em diversas escalas, com o grau de detalhamento que fosse necessário (ver Figura I.1), como também possibilitava a produção de tabelas e documentos diversos, como orçamentos.

Figura I.1 - Desenho de execução produzido pelo sistema Harness (14).

Apesar dessa versatilidade, o sistema sofreu uma série de críticas, sobretudo com relação ao seu princípio básico, que era o de "arrear" os diversos departamentos ao longo de uma espinha formada pelas circulações, na medida em que essa postura acabava impondo limitações criativas bastante rígidas e se baseava num critério cuja importância é duvidosa.

Como ferramenta de avaliação, o sistema cumpriu suas funções de maneira bastante satisfatória, permitindo a obtenção de documentos além do nível de anteprojeto.

Uma descrição do sistema é feita por Meager(247), sendo ele também citado em (14), (23), (74), (111) e (243).

ARK-2 - Architectural Kinetics - Man and Machine - EUA - 1970

O sistema ARK-2, desenvolvido pelo escritório de projetos Percy, Dean & Stewart, de Boston, foi o primeiro sistema comercialmente disponível nos EUA para a área, e teve um sucesso bastante grande, tendo sido implantado em outras empresas, tanto nos EUA, quanto na Europa e na Austrália.

Utilizava um computador PDP-15/20 da Digital, terminal gráfico Computek, placa digitalizadora sonora, possuindo saída via impressora eletrostática e via traçadora gráfica. Segundo Mitchell(14), os custos totais desses equipamentos, em 1974, eram de US\$122.000 e os programas do sistema custavam US\$38.000, num total de US\$160.000 ou cerca de Cz\$2.200.000.

O desenvolvimento do ARK-2 deu-se a partir de 1968, por iniciativa da PD&S, através do programa COMPROGRAPH, com a participação de Teicholz(108)(248). O seu processamento se dava "em lotes", e as primeiras experiências práticas foram feitas com um projeto hospitalar.

No sistema final foi adotado um modelo interativo de trabalho com processamento "em linha", que acabou resultando num conjunto de programas:

- COMPROGRAPH: era essencialmente uma base de dados que armazenava informações diversas de cada ambiente do edifício em projeto - dimensões necessárias, instalações e equipamentos típicos, acabamentos empregados, etc.

Com base nessas informações podiam ser produzidos relatórios diversos, com cruzamento ou não de informações, e até mesmo estimativas de custos.

Com ele, o projetista podia também fazer uma previsão de áreas ou espaços necessários para cada ambiente.

- COMPROPLAN: auxiliava no desenvolvimento do projeto esquemático, através da execução da síntese do anteprojeto.

Partia de uma matriz de interações entre os diversos ambientes e produzia, através de um diagrama de bolhas, uma solução inicial para o problema. Essa era então manipulada interativamente, sendo calculada a correspondente matriz para cada alternativa gerada, então comparada com os valores da solução inicial.

Uma vez obtida uma solução adequada, as bolhas eram substituídas por uma representação por meio de retângulos, cujas áreas eram obtidas a partir da base de dados anteriormente definida (ver item 6.4.2).

- COMPROSPACE: era a parte central do sistema, e destinava-se à produção de desenhos em geral. A partir da solução do COMPROPLAN, os desenhos definitivos iam sendo elaborados, através do uso de funções gráficas diversas, selecionadas a

partir de "menus", e da consulta a uma biblioteca de elementos gráficos padrões, que podiam ser acrescentados ao projeto em desenvolvimento (ver Figura 5.9).

- COMPROAREA: permitia a cotação de desenhos e o cálculo de áreas e de volumes.
- COMPROVIEW: permitia o traçado de perspectivas cônicas para qualquer observador fornecido.
- COMPROSPEC, COMPRONET, COMPROMAN e COMPROLINK: programas para produção de especificações, tipo redator de texto, e para gerenciamento de escritórios - rede de precedência, controles de salários, controles de horas gastas, etc.

Descrições detalhadas do sistema são encontradas nas referências (249) e (250), e ele aparece também em (14), (23), (74) e (100).

SSHA - Scottish Special Housing Association - Escócia - 1971/1975

A SSHA é uma associação cuja função é projetar, construir, manter e administrar casas do setor público escocês, tanto para venda quanto para locação.

Possui cerca de 100.000 residências (10), e em 1973 projetava cerca de 4.000 novas a cada ano, construindo metade delas e subcontratando as demais (111).

No final da década de 60, percebeu-se a importância de se desenvolver um sistema computadorizado que permitisse maior rapidez na execução dos projetos, com maior rigor e segurança técnica. Isso podia ser conseguido através da montagem de um arquivo que contivesse, de forma atualizada, as informações relativas a projetos anteriores bem sucedidos, inclusive a nível de detalhamento.

O desenvolvimento do sistema se deu com o apoio da unidade de PEAC da Universidade de Edinburgo, a "EdCAAD Unit", e foi feito em duas etapas.

A primeira delas teve início em 1969 e foi concluída em 1971, com investimentos da ordem de 20.000 libras, ou cerca de Cz\$400.000, e resultou num sistema para projeto das unidades habitacionais (10).

A segunda etapa foi concluída em 1975, envolvendo investimentos da ordem de 75.000 libras, ou Cz\$1.500.000, sendo desenvolvido um sistema para projeto dos conjuntos habitacionais. Até 1984, foram gastas mais 300.000 libras, ou Cz\$6.000.000, no aprimoramento dos sistemas (10).

O equipamento inicialmente utilizado foi um minicomputador PDP-10, ligado de forma compartilhada a um computador de grande porte, que executava os cálculos mais longos, e a uma estação gráfica de trabalho, com dois monitores, sendo um Tektronix, placa digitalizadora e traçadora gráfica.

O sistema desenvolvido para o projeto das unidades residenciais permite uma grande flexibilidade, já que pode combinar de infinitas maneiras os diversos detalhes e aspectos construtivos de desempenho já conhecido, possibilitando o atendimento às mais diversas necessidades de arranjos e características topográficas.

A redução no tempo de projeto é bastante grande, sendo que cada projeto novo leva apenas uma semana para ser desenvolvido, incluindo todos os desenhos e seus dimensionamentos, os diversos detalhes construtivos - acabamentos, instalações hidráulico-sanitárias e elétricas, etc - e a execução de todas as quantificações.

O uso do sistema se dá de forma interativa, iniciando-se por um arranjo fornecido pelo projetista, que também especifica as demais características que o projeto deve apresentar - materiais empregados, instalações necessárias, etc.

A partir do cruzamento dessas informações com as que constam do arquivo de soluções anteriores, o computador seleciona os detalhes adequados ao problema. Os resultados obtidos são, além do detalhamento arquitetônico do projeto, a concepção e o cálculo das fundações, a avaliação dos níveis de iluminação natural e das perdas térmicas, o cálculo de áreas e volumes, e a localização de móveis e equipamentos.

O segundo sistema, para o projeto dos conjuntos habitacionais, está voltado para a implantação da residência no terreno, bem como para a concepção de agrupamentos de residências numa determinada área.

Ele parte do fornecimento da conformação topográfica do terreno e das características geométricas das residências que compõem o conjunto.

Ele permite, por exemplo, a definição do traçado das ruas ou acessos aos lotes. Assim, o projetista fornece os eixos e o computador avalia as consequentes curvaturas e declividades, calculando também os movimentos de terra.

Com relação às unidades, ele auxilia na definição da sua locação e cota de assentamento, calculando os movimentos de terra, as fundações e aspectos como as instalações para drenagem e esgotamento.

As avaliações feitas podem ser agrupadas em cinco categorias, para as quais são também calculados os custos de implantação: infra-estrutura, superestrutura, paisagismo, redes de serviços e

acessos.

Como se vê pelas características descritas, o primeiro sistema atua mais na fase de projeto executivo, enquanto o segundo atua também na fase de anteprojeto.

Outra vantagem no seu emprego é a maior racionalização de todo o processo, com implicações não só no projeto, como na própria execução da obra.

O sistema permite ainda flexibilidade na montagem dos arquivos, que podem ser elaborados para diferentes métodos construtivos.

Segundo Schijf & Maver(10), o uso efetivo do sistema só se iniciou em 1978, e até 1984 já tinham sido construídas 500 residências e encontravam-se em construção outras 1600, todas por ele projetadas.

Descrições detalhadas sobre o sistema são encontradas nas referências (10), (14) e (74), sendo ele também citado em (23), (111) e (243).

DXSYS - Oxford System - Inglaterra - 1972 e

BDS - Building Design System - Inglaterra - 1982

O sistema DXSYS foi desenvolvido pela ARC ("Applied Research of Cambridge") para operar com um método construtivo desenvolvido pelo órgão público da área de saúde de Oxford ("Oxford Regional Health Authority") chamado de "Oxford Method of Construction", que era aplicado, sobretudo, na construção de hospitais.

Com o fim do método Oxford, o sistema passou a ser genérico e não mais voltado para um método construtivo específico, passando então a se chamar BDS, existindo até hoje (24).

Trata-se de um sistema que pode ser aplicado nas diversas fases do projeto, desde os estudos preliminares até o projeto executivo, incluindo a produção de desenhos e documentos para construção.

Foi inicialmente desenvolvido para um computador Atlas II, que era utilizado de maneira compartilhada através de uma estação de trabalho com teletipo, monitor Tektronix e mesa digitalizadora tamanho AO. As saídas eram obtidas através de impressora e traçadora gráfica. A partir de 1975, foi reestudado para operar num minicomputador PRIME 300.

O sistema é dividido em três partes que executam tarefas conceitualmente distintas:

- BOS ("Basic Operating System"): faz o gerenciamento dos dados e das tarefas mais ligadas a problemas de computação, como entrada de dados e comunicações interativa, manipulação de gráficos, etc.
- BDS ("Basic Design System"): é o que engloba os aspectos relativos ao projeto em si, permitindo a descrição do edifício e a manipulação de suas características, bem como a execução de diversos programas ao longo de todo o processo.
- DDS ("Detail Design System"): é específico do método construtivo com o qual se trabalha, permitindo a locação, seleção e detalhamento automatizado dos diversos componentes presentes no projeto. É ele que fornece informações para a produção dos desenhos e documentos de execução.

Além desses três subsistemas, o OXSYS/BDS contém ainda dois arquivos para armazenamento das informações:

- CODEX: contém uma descrição precisa dos diversos componentes do método construtivo utilizado, bem como os outros subsistemas do edifício (instalações, serviços, etc).
- Building File: armazena informações do edifício em projeto, no que se refere à geometria, localização e relação entre os diversos componentes.

Com o sistema, o trabalho se dá de forma interativa, com a realização de avaliações diversas à medida que o projeto evolui, orientando assim a obtenção de uma solução que atenda, da melhor maneira possível, aos requisitos de desempenho e de custos.

As decisões tomadas ao longo do processo têm sua validade e consistência testadas, diminuindo-se assim o risco de ocorrerem incoerências de informações.

A operação parte de um esboço fornecido pelo projetista, que também informa todos os requisitos que cada ambiente deve apresentar. A própria definição das suas áreas pode ser obtida com o auxílio do computador.

De maneira interativa, o esboço vai sendo aprimorado e mais detalhado, num trabalho conjunto homem e máquina. Assim, por exemplo, o projetista pode fornecer a localização da estrutura e a direção de apoio das lajes e o computador seleciona os componentes estruturais apropriados.

Ao longo de todo o processo, são possíveis diversas avaliações que servem para comparar alternativas e orientar a solução: iluminação natural e artificial, ventilação, aquecimento, circulações, etc.

Por fim, o sistema permite a obtenção de todos os desenhos e documentos necessários à produção e execução da solução obtida (ver Figura 5.10).

Quanto ao custo só do sistema, são feitas duas referências. Uma delas (10) dá o preço de 1980 como sendo de 60.000 libras, enquanto que a outra (223), de 1983, fala em 33.000 libras, ou seja, respectivamente, Cz\$1.150.000 e Cz\$650.000.

Uma descrição detalhada do sistema é feita por seu coordenador E. M.Hoskins(84)(251). Também Schijf & Maver(10), Mitchell(14) e Richens(252) fazem considerações bastante completas. O sistema é ainda citado em (23), (74), (105), (111) e (243).

Collins(253) descreve os resultados de um projeto de um campus e de um hospital universitários desenvolvidos na Argélia pela empresa inglesa "Atkins Sheppard Fidler & Associates".

Ele foi empregado desde o anteprojeto até a produção dos desenhos de execução, obtendo-se uma economia ilustrada na Tabela I.1.

Fase do Projeto	Produção manual (homem/semana)	Produção com BDS (homem/semana)	Economia (%)
Anteprojeto	65	30	54
Proj. Executivo	157	89	43
Desenhos de execução	15	4	73
Total	237	123	48

Tabela I.1 - Economia conseguida com o emprego do BDS (253).

CEDAR - Computer - aided Environmental Design Analysis and Realisation - Inglaterra - 1972/75

O sistema CEDAR teve seu desenvolvimento patrocinado por um órgão governamental inglês, o Departamento Ambiental ("Department of the Environment"), tendo sido elaborado em conjunto com o Departamento de Pesquisa em Projeto ("Department of Design Research") do "Royal College of Art".

Com ele pretendia-se avaliar o grau de retorno de investimentos em desenvolvimento de um SI para uso nos projetos do setor público (243).

A sua evolução se deu em duas fases bastante distintas. A primeira delas, que ficou também conhecida como CEDAR2, teve início em 1970 e apresentou os primeiros resultados práticos em 1973.

Os programas então desenvolvidos eram baseados no método construtivo industrializado SEAC ("South East Architects Collaboration"), possuindo armazenadas as características dos diversos componentes desse sistema com um grau de detalhamento bastante completo.

O CEDAR2 abrangia todas as fases do projeto, desde os primeiros esboços a nível de anteprojeto, até a produção dos desenhos de execução e das especificações dos diversos elementos presentes. Permitia ainda a elaboração de estimativas de custos, bem como avaliações sobre iluminação natural, térmicas e acústicas.

Segundo o trabalho de Thompson & Hughes (254), o emprego do CEDAR permitiu uma redução no tempo de projeto de uma estrutura, de 48 dias, correspondentes ao projeto desenvolvido manualmente, para 2 dias.

O sistema funcionava num computador Atlas II, através de uma estação de trabalho remota, composta por teclado, monitor Tektronix 4010 e equipamento eletrostático de saída.

Em 1975 o sistema sofreu modificações bastante grandes, e passou a se chamar CEDAR3.

A primeira alteração foi a substituição do sistema SEAC, cujos investimentos sofriam reduções da ordem de 50 %, por um outro mais "aberto", desenvolvido pela "UK Government Property Services Agency", chamado de MOB ("Method of Building").

A segunda grande alteração se deu na abrangência do sistema, que passou a ser voltado mais para a fase de anteprojeto, como ferramenta para testar e comparar soluções alternativas, no que se refere aos custos de construção e aos custos de utilização, principalmente os relativos aos gastos com energia para a iluminação e aquecimento.

O trabalho continuou se desenvolvendo de forma interativa, inclusive para a definição da geometria dos edifícios, que passou a ser feita a partir da composição de blocos prismáticos, para os quais se definia a planta e a altura (2 1/2D).

Outra nova característica foi permitir um grau de detalhamento variado. Assim, uma avaliação térmica pode ser feita fornecendo-se a porcentagem de aberturas de cada fachada ou definindo-se, de forma precisa, a geometria de cada janela ou vão.

Além das avaliações relativas aos problemas de iluminação e aquecimento, o sistema permite a elaboração de orçamentos, a avaliação dos gastos com energia elétrica, a definição do sistema de elevadores, bem como a produção de desenhos, como plantas, cortes, elevações e perspectivas.

O sistema CEDAR3 encontra-se em uso até os dias de hoje, constando da relação de programas de (24).

Descrições do sistema original CEDAR2 podem ser encontradas nas referências (14), (23) e (111). Já o sistema CEDAR3 aparece descrito de forma detalhada em (255) e (256), sendo também citado em (14).

SPACES 1 A 3 - Escócia - 1972

O SPACES não é propriamente um SI, pois é composto por três programas com funções bem definidas que, apesar de trabalharem de forma integrada, podem também ser utilizados separadamente.

Foi desenvolvido pelo ABACUS, e destina-se ao projeto de escolas, até sua fase de anteprojeto.

- SPACES 1

Aplicado na fase de estudos preliminares, permite a determinação das áreas necessárias para abrigar as diversas atividades desenvolvidas na escola em projeto, facilitando a elaboração do seu programa.

São dados de entrada as disciplinas a serem oferecidas, sua carga horária e as áreas necessárias a cada uma, bem como o número total de turmas.

O programa fornece ainda a porcentagem média de utilização de cada uma das salas de aula programadas.

- SPACES 2

Utilizado na definição do projeto esquemático, partindo das necessidades de áreas obtidas no SPACES 1 e de informações

adicionais, como orientações, e as traduzidas por meio de uma matriz de interações.

Com esses dados, o programa gera uma solução com o emprego da técnica de escalamento multidimensional (ver item 6.3.3), ou seja, fazendo com que a distância entre cada par de ambientes seja inversamente proporcional aos valores contidos na matriz de interações.

Essa solução é apresentada sob a forma de um diagrama de bolhas, que podem ser deslocadas pelo projetista. Para cada deslocamento, o programa avalia quão próxima a nova solução se encontra da solução inicial, orientando assim a obtenção de um arranjo tecnicamente satisfatório e que seja viável na prática (ver item 6.4.2).

Uma vez definida uma solução, as bolhas podem ser transformadas em retângulos, aos quais pode-se aplicar o mesmo procedimento.

O programa informa também as dez adjacências que estão sendo mais bem atendidas e as dez que estão com pior localização, além de indicar se os ambientes previstos como contíguos e como não-contíguos estão assim dispostos.

Em qualquer momento do seu uso, pode-se retornar ao diagrama de bolhas, para se tentarem novas configurações.

- SPACES 3

Utilizado para a avaliação da solução definida por meio do SPACES 2. Para tanto, deve armazenar as características construtivas empregadas no projeto, sendo que as referentes a alguns métodos industrializados de construção já se encontram previamente armazenadas.

Além das relações entre os diversos ambientes e da técnica construtiva empregada, são necessários outros, como os climáticos e os de custos.

Com ele são feitas avaliações geométricas: relação área de paredes/área de pisos e capacidade volumétrica; avaliações funcionais semelhantes às do SPACES 2; avaliações ambientais: identifica as dez piores paredes com relação às trocas térmicas; e avaliações de custo: de iluminação, de aquecimento e de conservação.

Permite ainda um detalhamento dos custos de construção a nível de cada subsistema do edifício, e o traçado de perspectivas cilíndricas oblíquas.

Os custos são sempre indicados em valores absolutos e em relação à unidade de área e ao número previsto de alunos.

O SPACES 3 permite ainda que se façam, a qualquer momento, alterações na geometria da solução em estudo.

Os programas SPACES 1 a 3 são operados interativamente através de estação de trabalho ligada a um computador UNIVAC 1106 ou 1108.

Todos eles constam da referência (24), apesar de apenas o SPACES 2 estar incluído na relação de programas do ABACUS (140), com o custo, a valores de 1985, de 5.500 libras, ou cerca de Cz\$110.000.

Como informação adicional, Cross(23) apresenta os custos de execução de cada programa, a preços de 1974, como sendo respectivamente de 4, 15 e 6 libras (aproximadamente Cz\$80, Cz\$300 e Cz\$120).

Descrições detalhadas dos programas são feitas por Cross(23) e Th'ng(257) sendo eles também citados em (10), (44), (111), (135), (140) e (204).

CARBS - Computer-Aided Rationalized Building System - Inglaterra - 1973

É um sistema que se originou de uma técnica automatizada para produção de desenhos e de quantificações, empregada pela indústria química inglesa ICI Ltd. entre 1959 e 1970, tendo sido desenvolvido pelo Centro de PAC da Universidade de Liverpool para o Departamento de Arquitetura do Conselho do Condado de Clwyd ("Clwyd County Council Architect's Department"), em 1973.

Tem, portanto, uma origem fora da área do edifício, que confere a ele características distintas dos demais sistemas, principalmente a de poder ser utilizado tanto de forma interativa quanto não-interativa (74).

Possui uma linguagem específica para o tratamento das informações geométricas no modo não-interativo, chamada de M&BDL ("Mechanical and Building Design Language"), que simplifica de forma bastante grande o fornecimento de dados.

Essa linguagem permite também o agrupamento de diversos elementos e componentes presentes num projeto, sendo cada um identificado por um código próprio, de modo a produzir desenhos - plantas, elevações e cortes - e planilhas diversas.

Ela oferece ainda uma série de recursos que fazem com que os dados presentes no CARBS possam ser utilizados em programas específicos, na concepção estrutural, cálculo de concreto armado, fundações, drenagens, etc.

O sistema possui ainda um programa para avaliações ambientais, que é pouco caracterizado nas referências disponíveis.

Uma melhor descrição do sistema é feita por Reynolds(74) e por Daniel(258), sendo ele também citado em (14), (243) e (257).

Outros

São feitas algumas referências a outros SI, dentre os quais se pode destacar os sistemas MICROBE, MIDAS, SYSTEM 72 e CP 110.

O MICROBE ("Micro-based Interactive Component Relationship Optimiser for the Built Environment") foi desenvolvido na Inglaterra, em 1982, pela "Manchester Polytechnic" para ser processado em microcomputadores.

Não é interativo, e basicamente permite a obtenção de um diagrama de bolhas a partir de uma matriz de interações, que pode então ser transformado num projeto esquemático.

Por fim, pode-se traçar uma perspectiva do arranjo final obtido.

É citado apenas na referência (10).

O MIDAS ("Management Information and Integrated Design Architectural System") foi desenvolvido pelo escritório norte-americano de projetos Ellerbe Associates.

Era subdividido em duas partes: a primeira, voltada para a área de gerenciamento, o chamado "Management Information System", que realizava operações relativas à área financeira, comercial, contabilidade, controle de estoques, locação de pessoal, etc.

A segunda parte estava voltada para a área do edifício, e incluía aspectos como projeto arquitetônico, controle de custos,

especificações, etc, e programas específicos de projeto para a área de engenharia elétrica, mecânica e de estruturas. Era chamada de "Integrated Design System".

O desenvolvimento do sistema foi programado para ser feito em dois períodos de cinco anos, o primeiro deles iniciando-se em 1969.

A única referência encontrada sobre o sistema (259) traz apenas informações sobre o que foi realizado nos quatro primeiros anos do primeiro período, quando foram desenvolvidas as partes que tratavam dos aspectos:

- cálculos de cargas térmicas;
- estimativa de custos de projeto;
- análise da matriz de adjacências;
- cálculo de iluminação;
- alocação de espaços e visão 3D;
- cálculo de concreto.

O SYSTEM 72 é um sistema interativo desenvolvido para o governo francês, entre 1972 e 1974.

Foi concebido como um conjunto de programas especializados, cujas saídas iam sendo combinadas sucessivamente.

Esses programas e suas funções eram:

- PRODUV : formulava o programa do edifício;
- MODUV : transformava o programa num arranjo de ambientes obedecendo à uma determinada modulação;
- AGIR : a partir de um conjunto de elementos construtivos previamente definidos, transformava o arranjo numa solução construtivamente viável;
- SYM0D 2: especificava e calculava os elementos

construtivos que compunham a solução final.

Além desses programas, existiam "interfaces" entre a solução gerada pelo SYMOD 2 e o arquivo detalhado de componente do método construtivo em uso, que permitiam o traçado de desenhos, a produção de orçamentos estimativos, o cálculo de perdas térmicas e o cálculo das instalações em geral.

O sistema é descrito apenas na referência (260). Até a publicação desse trabalho, só os programas PRODUV e SYMOD 2 estavam prontos, e os programas MODUV e AGIR já tinham, respectivamente, 80% e 50% de seus trabalhos acabados.

O sistema CP 110 aparece apenas na referência (24). Trata-se de um SI desenvolvido pela empresa inglesa "Building Computer Services Ltd" para computadores DEC, cujas características fornecidas são reproduzidas integralmente:

"Esse é um sistema para projeto e avaliação compreendendo uma base de dados e uma série de programas aplicativos, controlados por uma linguagem totalmente em inglês.

A estrutura é definida pelo engenheiro, sendo armazenada na base de dados, de forma que detalhes especificados e avaliações possam subsequentemente ser extraídas".

Outros trabalhos que devem ainda ser citados são os de Willey & Toller (261) e Grodzki & Winiarski (262).

O primeiro descreve as características de um sistema o SPA ("Space Planner for Architecture"), aplicado a projetos de banheiros, que pode ser considerado um mini SI. O segundo trata do sistema SNOB, um pequeno sistema voltado ao projeto de edifícios com paredes estruturais.

1.2 - Comentários

Como visto, a maioria dos sistemas apresentados foi organizada de forma semelhante ao esquema da Figura 5.16. Uma discussão mais completa sobre a organização dos sistemas de PAC é feita por Encarnação & Schelechtendahl(1).

ANEXO II - CONSIDERAÇÕES ADICIONAIS

II.1 - Introdução

Nos capítulos anteriores, procurou-se dar uma visão geral de como os computadores podem ser uma ferramenta no desenvolvimento do projeto de edifícios, até a Fase de Anteprojeto, objetivo maior desse trabalho.

No entanto, o estudo do PEAC envolve outros aspectos além dos considerados, mas que, conforme justificado no Capítulo 1, não foram discutidos devido à longa extensão do tema.

Porém, como também são objetivos desse trabalho suprir a falta de informação na área e, sobretudo, servir de apoio a novas pesquisas, é fundamental que os assuntos não considerados sejam ao menos identificados, bem como que seja apresentada a correspondente bibliografia consultada.

Assim, nesse Anexo serão relacionados os principais aspectos e bibliografias referentes a:

- aplicações na Fase de Projeto Executivo;
- aplicações nas áreas de apoio ao projeto;
- problemática da implantação dos computadores nos escritórios de projeto;
- o ensino do PEAC.

As bibliografias citadas serão numeradas sequencialmente, a partir da última referência do Anexo I.

II.2 - Aplicações na Fase de Projeto Executivo

A Fase de Projeto Executivo é aquela onde a precisão e o detalhamento das informações contidas no projeto encontram-se no mais alto grau de desenvolvimento.

Assim, ela pressupõe uma estruturação de dados bastante elaborada. E nela, também, que devem ser desenvolvidos os chamados projetos complementares, como os de estrutura e fundação, instalações eletromecânicas e instalações hidráulico-sanitárias.

II.2.1 - Estruturação de dados

O problema da estruturação de dados já foi, de certa forma, discutido no item 5.4.4, quando se falou dos SI.

As principais referências de interesse são as de Encarnação & Schelechtendahl(1), Brandon & Moore(12), Mitchell(14), Reynolds(74), Campion(263)(264), Myer(265), Carter(266), Birgeron(267), Buchmann(268), Eastman(269), Agger(270), Heerena(271), Steenbergen & Heerema(272), Backx(273) e Fraser(274).

II.2.2 - Projetos complementares - estruturas e fundações

Como já foi comentado, a área de estruturas e fundações é considerada independente do PEAC, possuindo publicações específicas, cujo conteúdo vai além do delimitado nos objetivos desse trabalho.

Merece destaque o programa STRUDL do sistema ICES, já apresentado no Anexo I, que é descrito por Logcher(275) e por Ryder(276).

Em linhas gerais, existem programas para o cálculo de esforços - inclusive pelo método dos elementos finitos -, para o detalhamento de estruturas de concreto armado e de aço, para o dimensionamento de fundações, etc.

As principais bibliografias de interesse são a de Schrefler, Lewis & Odorizzi (277), as de Adey (278) (279) (280), a CAD76 (20), a de Vine-Lott (281) e a de Ryder (276).

Também em (24) são apresentadas as características de inúmeros programas para a área, num total de mais de 300 aplicativos.

II.2.3 - Projetos complementares - instalações eletro-mecânicas

a) Elevadores

O projeto de sistemas de circulação vertical por meio de elevadores é uma área onde existem algumas aplicações desenvolvidas, principalmente na Austrália, através dos trabalhos de Gero, Forwood e Marmot, que constam das referências (109), (136), (137), (138), (282) e (283).

Também Campion (16) e Laterza & Cardoso (26) desenvolvem aplicações, assim como em (24) é descrita uma série de programas para a área.

b) Condicionamento de ar

Aplicações que auxiliem no projeto de instalações de ar condicionado são citadas nas referências (74), (136), (137), (284) e (285), bem como na publicação (24).

c) Iluminação artificial

Essa também é uma área para a qual existem diversas aplicações, desenvolvidas em países como EUA, Escócia, Inglaterra e Brasil, tanto para microcomputadores, como para equipamentos de grande porte.

A referência (24) traz a descrição simplificada de um bom número delas (39 programas), sendo outras relacionadas por Dixon(284).

Outras importantes referências são os trabalhos de Forwood(136)(137), de Gero & Radford(286), de Carter(287)(288) e de Laterza & Cardoso(25), bem como as conclusões do simpósio promovido pelo IES, em 1971 (289).

II.2.4 - Projetos complementares - instalações hidráulico-sanitárias

Uma série de programas aplicativos para a área é relacionada na referência (24).

Outros trabalhos que devem ser citados são os de Hakkila(290) e de Nonimo(291), bem como as referências (192), (210), (276) e (284).

II.2.5 - "Edifícios conscientes"

Um outro aspecto a se comentar, apesar de não fazer parte do projeto propriamente dito, são os chamados "edifícios conscientes", os quais têm suas instalações e serviços controlados por computador. Assim, os sistemas de elevadores, condicionamento de ar, aquecimento de água, iluminação e outros, são controlados por meio de sensores ligados a um computador, que

possui diversos programas que os operam de maneira adequada a cada situação.

Essa é uma área onde existem perspectivas de desenvolvimento de tecnologia bastante grandes para os próximos anos.

Referências a ela são encontradas em (292), (293) e (294).

II.2.6 - Comentários

Programas para serem aplicados nas atividades discutidas nesse item já se encontram disponíveis, inclusive no Brasil.

Alguns deles são relacionados, por exemplo, nas referências (295) e (296).

II.3 - Aplicações nas Áreas de Apoio ao Projeto

O projeto do edifício só se completa com a elaboração dos respectivos orçamentos, cronogramas e especificações técnicas. Além disso, o computador pode ser empregado nos sistemas administrativos das empresas de projeto.

Esses aspectos serão vistos a seguir.

II.3.1 - Orçamentos

A produção de orçamentos a nível de anteprojeto já foi comentada no item 7.4.5. Outras possíveis referências são o trabalho de Ryder(276) e de Gibson et alii(297).

Normalmente, os programas para orçamentos a nível de execução da obra são bastante completos, envolvendo inclusive o controle de custos.

II.3.2 - Cronogramas

A elaboração de cronogramas físicos de execução das obras em projeto é também passível de ser feita com o auxílio de computadores.

Nesses casos, é mais comum a existência de programas que englobem inclusive a produção de orçamentos e controle de custos, bem como aspectos como cronogramas financeiros, planos de compras e fluxo de caixa, alocação de recursos e controles diversos, enfim, que se relacionem com a programação e o controle de obras civis.

II.3.3 - Especificações Técnicas

A produção de memoriais e especificações técnicas pode ser grandemente agilizada pelo uso de programas do tipo "processadores de texto", que permitem uma grande flexibilidade em aspectos como:

- diagramação de textos;
- facilidade de correções;
- facilidade de inserções ou retiradas de partes do texto;
- facilidade de reorganização de textos;
- possibilidade de arquivar e resgatar textos padrões;
- combinação de diferentes textos;
- etc.

Um trabalho bastante completo nessa área foi desenvolvido por Gero(298).

II.3.4 - Sistemas Administrativos

Nessa área, o computador pode atuar em tarefas relacionadas ou não diretamente com o projeto.

Assim, existem programas para o planejamento e controle de projetos, como alocação de pessoal, redes de controle do tipo PERT ou CPM (299) (300) (301), controles de mão de obra por projeto e por funcionário, controle de custos de projeto, etc.

São também importantes aplicações mais gerais ligadas à automação de escritórios, como os processadores de textos, já mencionados, e programas como folha de pagamento, contabilidade, contas a pagar e receber, etc.

II.3.5 - Comentários

Vários programas dessa área de apoio já foram desenvolvidos no Brasil, sendo alguns deles relacionados nas referências (295) e (296).

Um livro no qual são apresentadas e discutidas aplicações específicas dessa área é o de Peters (302).

II.4 - Aspectos da Implantação dos Computadores nos Escritórios de Projeto

II.4.1 - Impactos na prática profissional

A discussão das influências da implantação dos computadores na atividade profissional dos projetistas é muito rica, e insere-se dentro de uma análise mais ampla, que considera as implicações da computação na sociedade como um todo.

Assim, existem questões semelhantes àquelas que estão enfrentando os operários em relação à automação industrial, como a discussão sobre se ela causa ou não desemprego ou apenas um aumento da produtividade; se a informatização deve ser aplicada somente às tarefas entediantes ou perigosas de serem realizadas pelo homem; o risco de obsolescência de se evitar uma modernização, sendo suplantado pelos concorrentes; etc.

Outra decorrência da informatização é uma descentralização, que se reflete numa liberdade de se escolher onde trabalhar e até quando trabalhar. Isso será possível no momento em que o trabalho se desenvolver através de computadores, ou de terminais, ligados a um computador central, através dos quais cada funcionário pode ir executando suas tarefas remotamente e de maneira independente dos demais.

Mesmo a curto prazo, a implantação dos computadores pode trazer efeitos imediatos no trabalho dos projetistas e na organização dos projetos.

Como coloca Cross(23)(303)(304), os efeitos principais nos projetistas são:

- maior ritmo de trabalho;
- ocorrência de "stress";
- obrigatoriedade de realizar tarefas diferentes das habituais.

Quanto ao processo de projeto, os efeitos decorrentes são:

- alteração no tempo dispendido em cada uma das fases do projeto, como ilustra a Figura II.1;
- alteração na estrutura organizacional dos escritórios, eliminando os postos intermediários dos setores técnicos;

Figura II.1 - Alteração no tempo dispendido pelo homem nas diferentes fases do projeto (14) (23).

- aumento da participação do cliente no desenvolvimento dos projetos, já que este pode se dar de maneira interativa, sendo feito através do uso de modelos dinâmicos e preditivos;
- integração da equipe de projeto e dos consultores num único sistema (ver Figura 5.16), melhorando o seu controle.

Essas e outras questões são tratadas nas referências citadas e em (10), (14), (16), (18), (107), (203), (218), (294), (305), (306) e (307).

II.4.2 - Definição e escolha do sistema

A opção pela automação de um escritório de projeto é uma questão que envolve uma série de considerações, e deve ser tomada com base em estudos bem fundamentados que mostrem a sua conveniência.

Antes de mais nada, é preciso identificar as necessidades, avaliando-se inclusive os ganhos de produtividade decorrentes de uma informatização.

Assim, é interessante apresentar os valores que são fornecidos por Llewelyn(308) e por Machover(309) que, respectivamente, constam das Tabelas II.1 e II.2. Como pode ser observado, eles são bastante discrepantes, sendo mais confiáveis os de Machover, para os quais é citada a fonte de origem (ver também Tabela 1.1).

São diversas as referências que apresentam roteiros para se identificarem as necessidades passíveis de serem feitas com o computador e para avaliar as características dos sistemas existentes no mercado, com destaque para os trabalhos de Groover & Zimmers(3), Brandon & Moore(12), Cockle(68), Fort(210), Peters(302), Coates(310), Black(311), Plunkett(312) e James(313), bem como as referências (10), (19), (314) e (315).

Area de Projeto	Economia de tempo
Projeto de caixas de câmbio	80 : 1
Vigas de concreto protendido	1600 : 1
Arranjo físico industrial	20 : 1
Detalhamento e perspectiva de tubulações	2 : 1
Projeto de vasos de pressão	10 : 1
Projeto térmico de trocadores de calor	10 : 1
Projeto de mancais hidráulicos	120 : 1
Sistemas de controle de laminadores de aço	300 : 1
Projeto de componentes de ferramentas	30 : 1
Projeto de motores	20 : 1

Tabela II.1 - Compressão no tempo de projeto obtida com um sistema de PAC (308).

Outro aspecto importante a se analisar são os relatos de experiências de implantação de sistemas em escritórios de projeto, como a dos italianos Scardellato et alii(144); a de Dawson & Hashmi, da Ellerbe Associates - St. Paul - Minnesota - EUA(259); a de Focke, da Caudill Rowlett Scott - Houston - EUA(316); a de Stewart, da Clifford Douglas Stewart Associates - Boston - EUA(317); a de Sides, quando de sua atuação na Skidmore, Owings & Merrill - Chicago - EUA(13); a de Teague, quando de sua atuação na Skidmore, Owings & Merrill - Chicago EUA(318).

Por fim, uma questão também básica é a definição pela compra ou desenvolvimento dos programas, que é tratada por Ryder(276).

Áreas	Fator de aumento de produtividade	
	medio	faixa
Circuitos integrados	18.4	100.0 - 10.0
Análises de sistemas	6.0	20.0 - 1.5
Gabaritos	5.8	6.0 - 3.0
Aplicações de controle numérico	5.6	10.0 - 1.5
Mapeamento	5.1	30.0 - 0.5
Diagramas	4.7	10.0 - 2.0
Detalhamento estrutural	4.7	25.0 - 1.0
Instalações elétricas	4.5	16.0 - 2.0
Publicações	4.4	10.0 - 2.0
Estudos de projeto	4.3	20.0 - 2.0
Esquemas	4.2	20.0 - 1.0
Corte e desenvolvimento de chapas	3.8	20.0 - 1.5
Arranjos físico industrial	3.4	10.0 - 1.0
Circuitos impressos	3.3	6.0 - 2.0
Tubulações	3.2	10.0 - 1.0
Modelamento estrutural	3.1	5.0 - 1.0
Civil	3.0	20.0 - 1.5
Montagens mecânicas	2.7	5.5 - 0.75
Detalhamento mecânico	2.4	8.0 - 1.0

Tabela II.2 - Melhoria na produtividade de diversas atividades com o uso de sistemas de PAC, em comparação com os métodos manuais tradicionais (309).

II.4.3 - Definição e escolha do equipamento

A definição e escolha do equipamento necessário também é uma questão fundamental.

O primeiro aspecto a se avaliar é uma opção pela compra ou uso de equipamento de terceiros.

A compra de equipamento próprio permite um uso interativo, mas também obriga à compra de programas e, via de regra, à contratação de pessoal.

O uso de "bureau", ou centros de computação, apesar de implicar num menor investimento leva, quase sempre, a um processamento em lotes dos programas já disponíveis.

Outra opção é a locação de um terminal ligado a um centro, pelo qual se consegue uma maior flexibilidade no uso dos aplicativos.

Essa questão é analisada em diversas referências como as de Schijf & Maver(10), Mitchell(14), Raynolds(74), Gero(105), Port(210), Ryder(276), Dixon(284), Smethurst(319), Morris(320), Stothard(321) e Maxwell(322).

Outro aspecto básico é a definição do porte dos equipamentos, ou da necessidade computacional. É sabido que a capacidade dos computadores varia desde a disponível em calculadoras programáveis até a dos de grande porte, ou "mainframes".

Evidentemente, essa maior capacidade varia em função do preço.

As características de cada uma dessas faixas são descritas em (3), (74), (112), (276), (323), (324), (325) e (326).

Uma possibilidade que atualmente está sendo muito empregada é a ligação de diversos equipamentos numa rede, permitindo a comunicação entre eles, bem como o compartilhamento de equipamentos periféricos, como impressoras e traçadoras gráficas. Esse assunto é tratado em (10), (210), (327), (328) e (329).

Por fim, algumas referências trazem roteiros para a avaliação dos equipamentos a serem adquiridos: (3), (210), (276), (302) e (323).

II.4.4 - Estratégia de implantação

Uma vez definida a obtenção dos programas e dos equipamentos, é preciso analisar de que maneira a equipe de projeto deve ir com eles tomando contato, de forma a tornar o relacionamento homem e máquina o menos traumático e o mais natural possível.

Uma primeira alternativa é se começar de forma gradativa, através, por exemplo, do uso de um centro de computação ("bureau"), para depois se alugar um terminal e, por fim, se comprar o equipamento.

Com a redução drástica dos custos e com o aumento da capacidade dos equipamentos ocorridos nos últimos anos, essa estratégia deixou de ser a melhor, pois agora é muito "fácil" comprar uma configuração que atenda às necessidades iniciais e que, com o tempo, possa ser expandida.

Assim, a melhor opção é graduar o uso, iniciando-o através de aplicações discretas e da automatização de atividades administrativas e de gerenciamento do escritório de projeto, deixando os programas mais complexos e os sistemas integrados para uma segunda etapa.

Em termos organizacionais, outros aspectos que devem ser levados em conta são:

- definição e contratação da equipe de trabalho;
- treinamento do pessoal não especializado;
- organização da operação e gerenciamento do sistema;

- suporte e manutenção dos programas;
- suporte e manutenção dos equipamentos;
- planejamento da evolução do sistema e previsão de obsolescência do mesmo.

Todos esses aspectos são analisados nas referências (14), (210), (218) e (276), bem como nos trabalhos de Evans(330), Cockle(331), Campion(332) e Mazzotta & Beaty(333).

II.5 - O Ensino do PEAC

Sem dúvida, a difusão do uso dos computadores na atividade de projeto passa pelas escolas que formam os técnicos da área, sobretudo nos cursos de Arquitetura e de Engenharia Civil.

Além disso, é fundamental o ensino aos profissionais já atuantes, quer a nível de pós-graduação, quer a nível de especialização ou extensão universitária.

Diversos trabalhos tratam desses aspectos, como os das referências (16), (44), (109) e (294).

Merecem destaque os trabalhos de David, Zanelli & Z'graggen(334), de Jorgenson(335), de Gero(336)(337) e de Llewelyn(338). O primeiro relata a experiência de ensino do PEAC, desenvolvida na Escola de Arquitetura de Grenoble - Suíça, com o uso do sistema SIGMA-ARCHI. Jorgenson descreve o trabalho levado a cabo na Universidade de Dakota do Norte - EUA, na área de estruturas, a nível de graduação em Engenharia Civil. Gero discute características de cursos para Arquitetura, promovidos pela Universidade de Sydney - Austrália, tanto a nível de graduação como de extensão. Llewelyn faz colocações sobretudo na área da indústria, tratando de aspectos da manufatura e do projeto auxiliado por computador.

No entanto, o trabalho mais interessante sobre a área ao qual se teve acesso foi o de Schijf & Maver(10).

Eles relatam o resultado de uma pesquisa feita pela Universidade de Delft - Alemanha, com os 50 principais escritórios de arquitetura alemães. As perguntas e os resultados das 33 respostas obtidas foram:

P- Que tipo de uso interno do computador você faz (mais de uma resposta possível)?

*R- 42% - Administrativo.
36% - Processamento de textos.
12% - Cálculos estruturais.
33% - Aplicações não-gráficas no projeto
(custos, energia, especificações).
6% - Produção de desenhos.
27% - Uso de computador externo.
45% - Nenhum.*

P- Se você tem computador próprio, qual sua faixa de preço?

*R- 3 % - Mais de 200.000 Libras (40.000 OTN).
6 % - 40.000 a 200.000 Libras (8.000 a 40.000 OTN).
15 % - 10.000 a 40.000 Libras (2.000 a 8.000 OTN).
21 % - 2.000 a 10.000 Libras (400 a 2.000 OTN).
9 % - Resposta dada: "Computador do escritório".*

P- Você acha que existe um interesse crescente pelos computadores por parte dos arquitetos?

*R- 52% - Sim, claramente.
42% - Sim, algum.
6% - Não, aparentemente não.
0% - Não, absolutamente não.*

P- De que maneira você organizaria o ensino do uso dos computadores para os arquitetos, levando em conta que a carga horária dos estudantes já é considerável, deixando pouco tempo para cursos optativos e que novos cursos obrigatórios só são possíveis se forem sacrificados os já existentes?

R- 6 % - Não organizaria.

33% - Como uma aula introdutória obrigatória, ressaltando os prós e contras do uso dos computadores pelos arquitetos.

24% - Idem, mas opcional.

9% - Como uma aula sobre as possibilidades do uso do computador.

24% - Como um exercício obrigatório, em particular para se adquirir algum contato com uma estação de trabalho.

30% - Idem, mas opcional.

6% - Outros tipos de exercícios.

27% - Desenvolvimento de projetos utilizando o computador como ferramenta.

3% - Outros (custos).

P- Alguns estudantes acreditam que ao adquirirem experiência em computação aumentam suas chances de encontrar emprego.

R- 52% - Sim, particularmente no nosso escritório.

15% - Sim, mas não no nosso escritório.

12% - Não, aparentemente não.

0% - Não, absolutamente não".

Além disso, Schijf & Maver apresentam um levantamento do ensino do PEAC no Reino Unido, Estados Unidos e Austrália.

Alguns resultados desse levantamento são:

- 84% das escolas de Arquitetura do Reino Unido ministram cursos na área ;
- 90% das escolas de Arquitetura do Reino Unido têm acesso a terminais interativos, 50% a terminais gráficos e 75% desenvolvem seus próprios programas;
- as principais escolas do Reino Unido são a de Strathclyde (graduação e pós-graduação) e de Sheffield;
- as principais escolas dos EUA são a de Carnegie - Mellon (Pittsburgh), a nível de extensão; Harvard (Massachusetts), a nível de graduação e pós-graduação; MIT (Massachusetts), a nível de graduação e pós-graduação; Universidade do Arizona;
- a Universidade de Sydney é uma das mais tradicionais na área, a nível de graduação, pós-graduação e extensão.

Outra contribuição do trabalho de Schijf & Maver é a discussão dos atributos que os futuros profissionais da área necessitarão, sugerindo assim programas de estudos a serem aplicados nas escolas de projeto.

Com relação à realidade brasileira, existem cursos de extensão universitária voltados para a área desde o início da década de 80, como, por exemplo, os ministrados em organismos como: FDTE-EPUSP-IPT, FAU-USP, IAB e Sindicatos dos Arquitetos.

A nível de graduação, é oferecida, como matéria optativa, uma disciplina para o curso de Engenharia Civil da EPUSP, que trata de assuntos específicos da área.

A nível de pós-graduação, já existem disciplinas dispersas na EPUSP, sobretudo nos Departamentos de Engenharia de Construção Civil e de Engenharia de Eletricidade.

Outro aspecto importante que se relaciona com o ensino do PEAC é a questão da bibliografia mínima para a área. Assim, alguns livros tradicionais trazem extensas relações de temas tratados, com destaque para os trabalhos de Mitchell(14), Cross(23), Reynolds(74), Negro Ponte(98), Gero & Brown(339), Forwood(340) e Bunselmeier(341)(342).

Por fim, trazem ainda subsídios à conceituação do tema (Capítulos 2 a 5) as referências adicionais (343) a (387); quanto às aplicações (Capítulos 6 e 7), podem também ser citadas as referências (388) a (394).

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

- (1) - ENCARNACAO, J. & SCHLECHTENDAHL, E.G. Computer aided design - fundamentals and systems architectures. Germany, Springer-Verlag, 1983.
- (2) - VLIETSTRA, J. & WIELINGA, R.F., ed. Computer-aided design. Proceedings of the IFIP Work Conference on Principles of Computer-Aided Design. Netherlands, North-Holland, 1973.
- (3) - GROOVER, M.P. & ZIMMERS JR., E.W. CAD/CAM: computer-aided design and manufacturing. New Jersey, Prentice/Hall, 1984.
- (4) - COONS, S.A. Computer-aided design. Design Quarterly. Minneapolis, 1966(66/67):7-12.
- (5) - _____. Reflections beyond the SKETCHPAD. In: NEGROPONTE, N., ed. Computer aids to design and architecture. New York, Petrocelli/Charter, 1975. Chap.2, p.27-29.
- (6) - BARNETT, J. Will computer change the practice of architecture? Architectural Record, New Jersey, 137(1):143-150, jan. 1965.
- (7) - _____. Computer-aided design and automated working drawings. Architectural Record, New Jersey, 138(4):85-98, oct. 1965.
- (8) - GOTT, B. The scope of computer-aided design. In: VLIETSTRA, J. & WIELINGA, R.F., ed. Computer-aided design. Netherlands, North-Holland, 1973. p.1-25.

- (9) - LUCENA, R. O avanço do CAD/CAM no Brasil. Dados e Idéias, São Paulo, 9(79):6-14, dez. 1984.
- (10) - SCHIJF, R. & MAVER, T.W. Computer aided architectural design. Strathclyde, eCAADe, 1984.
- (11) - GERD, J.S. Computer-aided architectural design - past, present and future. Architectural Science Review, Sydney, 26(1):2-5, mar. 1983.
- (12) - BRANDON, P.S. & MOORE, R.G. Microcomputers in building appraisal. Great Britain, Granada, 1984.
- (13) - SIDES, D. Notes on computers and architecture. In: NEGROPONTE, N., ed. Computer aids to design and architecture. New York, Petrocelli/Charter, 1975. Chap.13, p.124-135.
- (14) - MITCHELL, W.J. Computer-aided architectural design. New York, Petrocelli/Charter, 1977.
- (15) - GERD, J.S. & JAMES, I. An experiment in computer aided design of home units buildings. Computer Report CR12. Sydney, Dept. of Architectural Science, 1971.
- (16) - CAMPION, D. Computers in architectural design. London, Elsevier, 1968.
- (17) - NEGROPONTE, N. The architecture machine. Cambridge, MIT Press, 1970.
- (18) - BAZJANAC, V. The promises and disappointments of computer-aided design. In: NEGROPONTE, N., ed. Computer aids to design and architecture. New York, Petrocelli/Charter, 1975. Chap.1, p.17-26.

- (19) - THE ARCHITECT'S JOURNAL. Computers simplified. London, 175(4):55-59, 27 jan. 1982.
- (20) - COMPUTER-AIDED DESIGN. Second International Conference on Computers in Engineering and Building Design - CAD76. Imperial College, London, IPC, 23/25 mar. 1976.
- (21) - EASTMAN, C.M., ed. Spatial synthesis in computer-aided building design. London, Applied Science, 1975.
- (22) - GERD, J.S., ed. Computer applications in architecture. London, Applied Science, 1977.
- (23) - CROSS, N. The automated architect. London, Pion, 1977.
- (24) - HUTTON, G. & ROSTRON, M. Computer programs for the building industry. 3rd.ed. Great Britain, E&FN Spon, 1984.
- (25) - LATERZA, L.B.M. & CARDOSO, F.F. Programação e aplicações de microcomputadores no projeto arquitetônico do edifício. Apostila. São Paulo, FDTE, 1983.
- (26) - _____. Programação e aplicações de microcomputadores no projeto arquitetônico do edifício. 2 ed. Apostila. São Paulo, FDTE, 1985.
- (27) - _____. Aplicações práticas do microcomputador na arquitetura. Apostila. São Paulo, IAB, 1984.
- (28) - MARQUES, G.A.C. O projeto na engenharia civil. Sistemas e procedimentos para sua condução. Dissertação de mestrado. São Paulo, EPUSP, 1979.

- (29) - JONES, J.C. Design methods. London, John Wiley, 1970.
- (30) - GUPTA, V. & MURTHY, P.N. An introduction to engineering design method. New Delhi, McGraw-Hill, 1980.
- (31) - BADRA JR., M. Notas à teoria da arquitetura. São Paulo, Anhembi, 1959.
- (32) - ALENCAR, L.F.S. Subsídios a uma metodologia de planejamento arquitetônico. Dissertação de mestrado. São Carlos, EESC, 1975.
- (33) - RAPOPORT, A. Origens culturais da arquitetura. In: SNYDER, J. & CATANESE, A., ed. Introdução à arquitetura. Rio de Janeiro, Campus, 1984. Cap.1, p.26-42.
- (34) - ALEXANDER, C. Ensayo sobre la síntesis de la forma. Buenos Aires, Ediciones Infinito, 1969.
- (35) - ARCHER, L.B. Systematic method for designers. Apostila. São Paulo, FAU-USF, 1973.
- (36) - BROADBENT, G. Design in architecture. Surrey, John Wiley, 1975.
- (37) - BROADBENT, G. & WARD, A., ed. Design methods in architecture. London, Lund Humphries, 1969.
- (38) - MOORE, G.T., ed. Emerging methods in environmental design and planning. Proceedings of the Design Methods Group First International Conference. Cambridge, MIT Press, 1970.

- (39) - SANOFF, H. & COHN, S., ed. Proceedings of the First Annual Environmental Design Research Association Conference - EDRA1. Stroudsburg, DH&R, 1970.
- (40) - ARCHEA, J. & EASTMAN, C.M., ed. Proceedings of the Second Annual Environmental Design Research Association Conference - EDRA2. Stroudsburg, DH&R, 1970.
- (41) - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-5677 - Estudos de pré-viabilidade de serviços e obras de engenharia e arquitetura. Rio de Janeiro, 1977.
- (42) - _____. NBR-5678 - Estudos de viabilidade de serviços e obras de engenharia e arquitetura. Rio de Janeiro, 1977.
- (43) - _____. NBR-5679 - Elaboração de projetos de obras de engenharia e arquitetura. Rio de Janeiro, 1977.
- (44) - MAVER, T.W. The impact of computer-based models on design decision-making. In: DERRICOTT, P. & CHISSICK, S.S., ed. Rebuild. London, John Wiley, 1982. Cap.7, p.95-141.
- (45) - _____. Building appraisal. In: GERO, J.S., ed. Computer applications in architecture. London, Applied Science, 1977. Chap.4, p.63-94.
- (46) - FERREIRA, Aurélio B.H. Novo dicionário da língua portuguesa. Rio de Janeiro, Nova Fronteira. s.dt.
- (47) - THE ENGLISH-LANGUAGE INSTITUTE OF AMERICA. The Brazilian living Webster encyclopedic dictionary ... Chicago, 1973.

- (48) - LUCKMAN, J. An approach to the management of design. In: BROADBENT, G. & WARD, A., ed. Design methods in architecture. London, Lund Humphries, 1969. p.128-137.
- (49) - MCGINTY, T. Projeto e processo de projeto. In: SNYDER, J. & CATANESE, A., ed. Introdução à arquitetura. Rio de Janeiro, Campus, 1984. Cap.7, p.160-194.
- (50) - BUILDING PERFORMANCE RESEARCH UNIT. Building performance. London, Applied Science, 1972.
- (51) - SWINSON, P.S.G. Logic programming: a computing tool for the architect of the future. Computer-Aided Design, Surrey, 14(2):97-104, mar. 1982.
- (52) - LANSDOWN, J. & MAVER, T.W. CAD in architecture and building. Computer-Aided Design, Surrey, 16(3):148-154, may 1984.
- (53) - ROONEY, M.F. & SMITH, S.E. Artificial intelligence in engineering design. Computer & Structures, Great Britain, 16(1-4):279-288, 1983.
- (54) - MILNE, M. Whatever became of design methodology? In: NEGROPONTE, N., ed. Computer aids to design and architecture. New York, Petrocelli/Charter, 1975. Chap.3, p.30-36.
- (55) - RADFORD, A.D. & GERD, J.S. On optimization in computer aided architectural design. Building and Environment, Great Britain, 15(2):73-80, 1980.
- (56) - MILHOMEM NETO, A. & YANASE, H.H. Modelos e método científico. Dissertação de mestrado. S.J.dos Campos, INPE, 1977.

- (57) - ACKOFF, R.L. & SASIENE, M.W. Pesquisa operacional. Rio de Janeiro, LTC/EDUSP, 1971.
- (58) - SIMMONS, D.M. Linear programming for operation research. Cambridge, Holden-Day, 1972.
- (59) - EHRLICH, P.J. Pesquisa operacional. São Paulo, Atlas, 1976.
- (60) - SARQUIS, J. & MARQUES, E. Análisis de las metodologías del diseño. Madrid, Ministerio de la Vivienda, 1969.
- (61) - GERO, J. Ethics in computer aided design: a polemic. In: SPILLER, W.R., ed. Basic questions of design theory. Netherlands, North-Holland, 1974. Part 6, p.485-491.
- (62) - SIMON, H.A. Style in design. In: EASTMAN, C.M., ed. Spatial synthesis in computer-aided building design. London, Applied Science, 1975. Chap.9, p.287-309.
- (63) - GERO, J.S. A system for computer-aided design in architecture. In: VLIETSTRA, J. & WIELINGA, R.F., ed. Computer-aided design. Netherlands, North-Holland, 1973. p.309-326.
- (64) - _____. Computers and design in a constrained environment. Computer Report CR11. Sydney, Dept. of Architectural Science, 1970.
- (65) - COUTTS, N.; GREIG, J.; LANSDOWN, J. Low cost computing. The Architect's Journal, London, 177(4):58-65, 26 jan. 1983.
- (66) - THE ARCHITECT'S JOURNAL. Computer draughting. London, 175(8):79-83, 24 feb. 1982.

- (67) - TORI, R. Um sistema automatizado para desenhos. Revista Politécnica, São Paulo, 1986(191):12-15, março.
- (68) - COCKLE, R. Choosing a CAD system. The Architect's Journal, London, 178(45):73-81, 9 nov. 1983.
- (69) - LANDI, F.R. et alii. Desenho. v.3. Apostila. São Paulo, EFUSP, 1985.
- (70) - GOETSCH, D.L. Computer-aided drafting. New Jersey, Prentice-Hall, 1985.
- (71) - PHILLIPS, D.T.; RAVIDRAN, A.; SOLEBERG, J.J. Operations research: principles and practice. New York, John Wiley, 1976.
- (72) - SHIMIZU, T. Simulação em computador digital. São Paulo, E.Blucher/EDUSP, 1975.
- (73) - NAYLOR, T.H. et alii. Técnicas de simulação em computadores. Petrópolis, Vozes/EDUSP, 1971.
- (74) - RAYNOLDS, R.A. Computer methods for architects. England, Butterworth, 1980.
- (75) - GERD, J.S. The application of operations research to engineering design - Computer Report CRZ. Sydney, Dept. of Architectural Science, 1970.
- (76) - _____. The application of operations research to architecture - a review. Computer Report CR21. Sydney, Dept. of Architectural Science, 1973.
- (77) - BEVERIDGE, G.S.G. & SCHECHTER, R.S. Optimization: theory and practice. Tokyo, McGraw-Hill, 1970.

- (78) - CONVERSE, A.D. Otimização. São Paulo, EDART/EDUSP, 1977.
- (79) - NOVAES, A.G. Métodos de otimização: aplicação aos transportes. São Paulo, E.Blucher, 1978.
- (80) - RUSSELL, A.D. & ARLANI, G. Objective functions for optimal building design. Computer-Aided Design, Surrey, 13(6):327-337, nov. 1981.
- (81) - MINIEKA, E. Optimization algorithms for network and graphs. New York, Marcel Dekker, 1978.
- (82) - BONDY, J.A. & MURTY, V.S.R. Graph theory with applications. Ontário, Univ. of Waterloo, s.dt.
- (83) - EASTMAN, C.M. Mini-space planner: a set of FORTRAN routines for building space-planning programs. In: _____, ed. Spatial synthesis in computer-aided building design. London, Applied Science, 1972. Chap. 8, p.230-286.
- (84) - HOSKINS, E.M. Computer aids in system building. In: VLIETSTRA, J. & WIELINGA, R.F., ed. Computer-aided design. Netherlands, North-Holland, 1973. p.127-156.
- (85) - GERO, J.S. Expert systems in CAD. Computer-Aided Design, Surrey, 17(9):396-398, nov. 1985.
- (86) - SABBATINI, R.M.E. O que faz um sistema especialista. O Estado de São Paulo, São Paulo, 6 maio 1986, p.3.
- (87) - ROSENMAN, M.A. & GERO, J.S. Design codes as expert systems. Computer-Aided Design, Surrey, 17(9):399-409, nov. 1985.

- (88) - FURUTA, H. et alii. Structural engineering applications of expert systems. Computer-Aided Design, Surrey, 17(9):410-419, nov. 1985.
- (89) - MAHER, M.L. HI-RISE and beyond: directions of expert systems in design. Computer-Aided Design, Surrey, 17(9):420-427, nov. 1985.
- (90) - RADFORD, A.D. & GERO, J.S. Towards generative expert systems for architectural detailing. Computer-Aided Design, Surrey, 17(9):428-435, nov. 1985.
- (91) - BROWN, D.C. Failure handling in design expert systems. Computer-Aided Design, Surrey, 17(9):436-442, nov. 1985.
- (92) - REHAK, D.R. & HOWARD, H.G. Interfacing expert systems with design database in integrated CAD systems. Computer-Aided Design, Surrey, 17(9):443-454, nov. 1985.
- (93) - HART, A. Knowledge elicitation: issues and methods. Computer-Aided Design, Surrey, 17(9):455-462, nov. 1985.
- (94) - GERO, J.S. Bibliography of books on artificial intelligence with particular reference to expert systems and knowledge engineering. Computer-Aided Design, Surrey, 17(9):463-464, nov. 1985.
- (95) - COWAN, D. Artificial intelligence at Edinburgh University. Computer-Aided Design, Surrey, 17(9):465-468, nov. 1985.
- (96) - NEGROPONTE, N. & GROISSER, L. URBAN5: a machine that discusses urban design. In: MOORE, G., ed. Emerging methods in environmental design and planning. Cambridge, MIT Press, 1970. Chap.10, p.105-114.

- (97) - NEGROPONTE, N. URBAN5: an on-line urban design partner. Ekistics, Athens, 24(142):289-290, sept. 1967.
- (98) - NEGROPONTE, N., ed. Computer aids to desing and architecture. New York, Petrocelli/Charter, 1975.
- (99) - COURTIEUX, G. Récents développements dans les applications des ordinateurs à la construction civile, à l'architecture et à l'urbanisme. Techniques & Architecture, Paris, 33(4):44-48, mai 1971.
- (100) - MASUDA, Y.; SUGIHARA, K.; SUTO, F. Graphics. In: GERO, J.S., ed. Computer applications in architecture. London, Applied Science, 1977. Chap.8, p.251-311.
- (101) - NEGROPONTE, N. Toward a theory of architecture machines. AIA Journal, Washington, 51(3):71-74, mar. 1969.
- (102) - NEGROPONTE, N. & GROISSER, L. The semantics of architectures machines. Forum, oct. 1970, p.38-41.
- (103) - TAGGART, J. Sketching, an informal dialogue between designer and computer. In: NEGROPONTE, N., ed. Computer aids to design and architecture. New York, Petrocelli/Charter, 1975. Chap.15, p.147-161.
- (104) - INGLIS, S. et alii. A comparison of models for using CAD. Computer-Aided Design, Surrey, 17(5):230-234, june 1985.
- (105) - GERO, J.S. Computer applications in architecture. In: _____, ed. Computer applications in architecture. London, Applied Science, 1977. Chap.1, p.1-12.

- (106) - SPILLERS, W. Some thoughts on automated design. In: NEGROPONTE, N., ed. Computer aids to design and architecture. New York, Petrocelli/Charter, 1975. Chap.6, p.61-72.
- (107) - TAYLOR, M. Towards computer-aided building design. RIBA Journal, London, 75(4):151-152, apr. 1968.
- (108) - TEICHOLZ, E. D. Architecture and the computer. Architectural Forum, New York, 129(2):58-61, sept. 1968.
- (109) - GERD, J.S. Computer in architectural science. Computer Report CR6. Sydney, Dept. of Architectural Science, 1970.
- (110) - PROGRESSIVE ARCHITECTURE. So you want to computerize?, EUA, 52(7):74-75, july 1971.
- (111) - CARTER, J. Computers and the architect. The Architect's Journal, London, 158(40):815-819, 3 oct. 1973. 158(41):865-870, 10 oct. 1973. 158(43): 1003-1011, 24 oct. 1973. 158(44):1053-1060, 31 oct. 1973.
- (112) - THE ARCHITECT'S JOURNAL. Microcomputing for architects. London, 175(6):67-71, 10 feb. 1982.
- (113) - THE ARCHITECT'S JOURNAL. Microcomputer case study. London, 175(12):71-74, 24 mar. 1982. 175(21):71-74, 26 may 1982.
- (114) - CIVIL ENGINEERING ASCE. From CADD to reality. New York, 55(10):46-73, oct. 1985. Special Issue.

- (115) - LIMA JR., J.R. Formação de modelos para análises econômico-financeiras na construção civil. Tese de Doutorado. São Paulo, EPU SP, 1985.
- (116) - GERO, J.S. An interactive site feasibility study. Computer Report CR16. Sydney, Dept. of Architectural Science, 1972. Computer-aided site feasibility studies. Computer Report CR18. 1973.
- (117) - _____. Economic feasibility studies for building development. In: _____, ed. Computer applications in architecture. London, Applied Science, 1977. Chap.2, p.13-28.
- (118) - GUELPA, D.F. Aplicações da pesquisa operacional na engenharia civil. Revista de Engenharia Mackenzie, São Paulo, (162):39-47, s.dt.
- (119) - AGUILAR, R. J. & HAND, J.E. A generalized linear model for optimization of architectural planning. In: AFIPS. Conference Proceedings 1968 Spring Joint Computer Conference. Washington, Thompson, 1968. Vol 32, p.81-88.
- (120) - GERO, J.S. Dynamic programming in the CAD of buildings. In: CAD 76. London, IPC, 1976. p.31-37.
- (121) - _____. The application of sequential decision-making in optimization problems in architecture. Computer Report CR23. Sydney, Dept. of Architectural Science, 1973.
- (122) - _____. Dynamic programming in architecture. Computer Report CR26. Sydney, Dept. of Architectural Science, 1975.

- (123) - BERNHOLTZ, A. & BIERSTONE, E. Computer-augmented design. Design Quarterly, Minneapolis, 1966(66/67):41-51.
- (124) - DAVIS, C.F. & KENNEDY, M.D. EPS: a computer program for the evaluation of problem structure. In: MOORE, G.T., ed. Emerging methods in environmental design and planning. Cambridge, MIT Press, 1970. Chap.12, p.121-125.
- (125) - OWEN, C. L. DCMPOS: an algorithm for decomposition of nondirected graphs. In: MOORE, G.T., ed. Emerging methods in environmental design and planning. Cambridge, MIT Press, 1970. Chap.14, p.133-146.
- (126) - MILLER, W. et alii. Matrix method for grouping an interrelated set of elements. In: SANDOFF, H. & COHN, S., ed. EDRA 1. Pennsylvania, DH&R, 1970. p.304-317.
- (127) - HANSON, K. Design from linked requirements in a housing problem. In: BROADBENT, G. & WARD, A., ed. Design methods in architecture. London, Lund Humphries, 1969. p.37-44
- (128) - MILNE, M. CLUSTER: a structure - finding algorithm. In: MOORE, G.T., ed. Emerging methods in environmental design and planning. Cambridge, MIT Press, 1970. Chap.13, p. 126-132.
- (129) - KERNDHAN, D. et alii. Relationship models: analytical techniques for design problem-solving. Architectural Design, London, 43(5):275-278, may 1973.

- (130) - KLASTORIN, T.D. An alternative method for hospital partition determination using hierarchical cluster analysis. Operations Research, Baltimore, 30(6):1134-1147, dec. 1982.
- (131) - MITCHELL, W.J. A computer-aided approach to complex building layout problems. In: ARCHEA, J. & EASTMAN, C.M., ed. EDRA 2. Stroudsburg, DH&R, 1970. p.391-397.
- (132) - LADANY, S.P. & TURBAN, E. A simulation of emergency rooms. Computer & Operation Research. Great Britain, 5(2):89-100, 1978.
- (133) - BAZJANAC, V. Computer simulation: a realistic assessment. Progressive Architecture, EUA, 52(7):80-82, july 1971.
- (134) - CAMPION, D. Design simulation by computer. Architectural Review, London, 140(838):460-464, dec. 1966.
- (135) - MAVER, T.W. Computers in design. The work of ABACUS. Architectural Design, London, 45(2):118-122, feb. 1975.
- (136) - FORWOOD, B.S. The development of a computer-aided building environment and services simulation model. Computer Report CR13. Sydney, Dept. of Architectural Science, 1971.
- (137) - _____. Environmental design and building services. In: GERO, J.S., ed. Computer applications in architecture. London, Applied Science, 1977. Chap.5, p.95-133.

- (138) - FORWOOD, B.S. & GERO, J.S. Computer simulated lift design-analysis. Computer Report CR9. Sydney, Dept. of Architectural Science, 1970.
- (139) - COLKER, A. & LEIB, J. A comprehensive approach to vocational education facility planning. In: MOORE, G. T., ed. Emerging methods in environmental design and planning. Cambridge, MIT Press, 1970. Chap. 20, p.182-189.
- (140) - ABACUS. General Information. Strathclyde, 1985
- (141) - CINTRA, J.P. Contribuições ao estudo de representação de superfícies com o auxílio do computador. Tese de doutorado. São Paulo, EPUSP, 1985.
- (142) - MILNE, P.H. BASIC programs for land surveying. London, E&FN Spon, 1984.
- (143) - MEYERS, D.A. Review of objectives of computer aided design. In: VINE-LOTT, K.M., ed. Computers in civil engineering design. Manchester, NCC, 1972. p.75-89.
- (144) - SCARDELLATO, E. et alii. The automation of the civil engineering office: an application. In: SCHREFLER, B.A.; LEWIS, R.W.; ODORIZZI, S.A., ed. Engineering software for microcomputers. U.K., Pineridge, 1984. Section 7, Chap.4, p.657-672.
- (145) - ARMOUR, G.C. & BUFFA, E.S. A heuristic algorithm and simulation approach to relative location of facilities. Management Sciences, EUA, 9(2):294-309, jan. 1963.

- (146) - BUFFA, E.S.; ARMOUR, G.C.; VOLLMANN, T.E. Allocating facilities with CRAFT. Harvard Business Review, Boston, 2(42):136-158, 1964.
- (147) - RITZMAN, L.P. The efficiency of computer algorithms for plan layout. Management Science, EUA, 18(5):240-248, jan. 1972.
- (148) - LIGGETT, R.S. & MITCHELL, W.J. Optimal space planning in practice. Computer-Aided Design, Surrey, 13(5):277-288, sept. 1981.
- (149) - TEAGUE JR., L.C. Network models of configurations of rectangular parallelepipeds. In: MOORE, G.T., ed. Emerging methods in environmental design and planning. Cambridge, MIT Press, 1970. Chap.17, p.162-169.
- (150) - GRASON, J. A dual linear graph representation for space-filling location problems of the floor plan type. In: MOORE, G.T., ed. Emerging methods in environmental design and planning. Cambridge, MIT Press, 1970. Chap. 18, p.170-178.
- (151) - RITTEL, H. Theories of cell configurations. In: MOORE, G., ed. Emerging methods in environmental design and planning. Cambridge, MIT Press, 1970. Chap.18, p.179-181.
- (152) - GRASON, J. Fundamental description of a floor plan design program. In: SANOFF, H. & COHN, S., ed. EDRA 1. Pennsylvania, DH&R, 1970. p.175-180.
- (153) - SEPPANEN, J. & MOORE, J.M. Facilities planning with graph theory. Management Science, EUA, 17(4):B242-B253, dec. 1970.

- (154) - HASHIMSHONY, R.; SHAVIV, E.; WACHMAN, A. Transforming an adjacency matrix into a planar graph. Building and Environment, Great Britain, 15(4):205-217, 1980.
- (155) - ROTH, J.; HASHIMSHONY, R.; WACHMAN, A. Turning a graph into a rectangular floor plan. Building and Environment, Great Britain, 17(3):163-173, 1982.
- (156) - JACOBI, P. The computer and architectural design. Denmark, Polyteknisk Forlag, 1973.
- (157) - SEEHOF, J.M. & EVANS, W.D. Automated layout design program. The Journal of Industrial Engineering, New York, 10(12):690-695, dec. 1967.
- (158) - CINAR, U. Facilities planning: a systems analysis and space allocation approach. In: EASTMAN, C.M., ed. Spatial synthesis in computer-aided building design. London, Applied Science, 1972. Chap. 2, p.19-40.
- (159) - MITCHELL, W.J. & HAMER, J.M. Space planning. In: GERO, J.S., ed. Computer applications in architecture. London, Applied Science, 1977. Chap. 3, p. 29-62.
- (160) - BUFFA, E.S. & TAUBERT, W.H. Production-inventory systems - planning and control. Ontario, Richard Irwin, 1972.
- (161) - VOLLMANN, T.E. & BUFFA, E.S. The facilities layout problem in perspective. Management Science, EUA, 12(10):B450-B468, june 1966.

- (162) - LEW, I.P. & BROWN, P.H. Evaluation and modification of CRAFT for an architectural methodology. In: MOORE, G., ed. Emerging methods in environmental design and planning. Cambridge, MIT Press, 1970. Chap.16, p. 155-161.
- (163) - VOLLMANN, T.E.; NUGENT, C.E.; ZARTLER, R.L. A computerized model for office layout. The Journal of Industrial Engineering, New York, 19(7):321-327, july 1968.
- (164) - PACK, L.; KIEHNE, R.; REINERMANN, H. Space allocation and lay-out. Management International Review, Wiesbaden, 1966(5):24-35.
- (165) - LEE, R.C. & MOORE, J.M. CORELAP - Computerized RELationship LAYout Planning. The Journal of Industrial Engineering, New York, 18(3):195-200, mar. 1967.
- (166) - MAROY, J.P. Application de l'analyse des données a l'architecture des batiments hospitaliers. Techniques & Architecture, Paris, 33(4):49-51, mai 1971.
- (167) - WILLOUGHBY, T. A generative approach to computer-aided planning. In: ARCHEA, J. & EASTMAN, C.M., ed. EDRA 2. Stroudsburg, DH&R, 1970. p.398-399.
- (168) - _____. Computer-aided design of a university campus. The Architect's Journal, London, 151(12):753-758, 25 mar. 1970.
- (169) - BERNHOLTZ, A. Computer-aided design - an extension of man. In: VLIETSTRA, J. & WIELINGA, R.F., ed. Computer-aided design. Netherlands, North-Holland, 1973. p.157-180.

- (170) - EASTMAN, C.M. Heuristic algorithms for automated space planning. In: THE BRITISH COMPUTER SOCIETY. Second International Joint Conference on Artificial Intelligence. London, Imperial College, 1971. Section 2, p.27-39.
- (171) - DOUBRERIE, J. & PIETRI, P. Un outil informatique d'aide a la conception. Techniques & Architecture, Paris, 33(4):74-77, mai 1971.
- (172) - PFEFFERKORN, C.E. The design problem solver: a system for designing equipment or furniture layouts. In: EASTMAN, C.M., ed. Spatial synthesis in computer-aided building design. London, Applied Science, 1972. Chap. 5, p.98-146.
- (173) - LIGGETT, R.S. & MITCHELL, W.J. Interactive graphic floor plan layout method. Computer-Aided Design, Surrey, 13(5):289-298, sept. 1981.
- (174) - BUCHANAN, J.T. Generalized allocation problem in building design - part 1: formulation. Computer-Aided Design, Surrey, 13(4):211-220, july 1981.
- (175) - D'CRUZ, N.; RADFORD, A.D.; GERO, J.S. A Pareto optimization problem formulation for building performance and design. Engineering Optimization, Great Britain, 7(1):17-33, 1983.
- (176) - BALACHANDRAN, M. & GERO, J.S. A comparison of three methods for generating the Pareto optimal set. Engineering Optimization, Great Britain, 7(4):319-336, 1984.

- (177) - SEKHON, G.S. Dynamic programming interpretation of construction-type plant layout algorithms and some results. Computer-Aided Design, Surrey, 14(3):141-144, may 1982.
- (178) - GERO, J.S.; JULIAN, W.; HOLMES, W.N. The development of a system for heuristic optimization of topological layouts using high level interaction. Computer Report CR22. Sydney, Dept. of Architectural Science, 1973.
- (179) - YESSIOS, C.I. Formal languages for site planning. In: EASTMAN, C.M., ed. Spatial synthesis in computer-aided building design. London, Applied Science, 1972. Chap. 6, p.147-183.
- (180) - AMKREUTZ, J.H.A.E. & DINJENS, P.J.M. User aspects of SAR70, an interactive system for the generation of alternative dwelling layouts. In: CAD76. London, IPC, 1976, p.80-86.
- (181) - SHARPE, R. et alii. An interactive model for the layout of buildings. Applied Mathematical Modelling, U.K., 9(3):207-214, june 1985.
- (182) - WEINZAPFEL, G. & HANDEL, S. IMAGE: computer assistant for architectural design. In: EASTMAN, C.M., ed. Spatial synthesis in computer-aided building design. London, Applied Science, 1972. Chap. 4, p. 61-97.
- (183) - _____. Following the yellow brick road. In: NEGROPONTE, N., ed. Computer aids to design and architecture. New York, Petrocelli/Charter, 1975. Chap. 9, p. 91-102.

- (184) - MOSCHINI, F.S. The role of computers in reducing total building costs. Architectural Science Review, Sydney, 26(3/4):144-149, sept./dec. 1983.
- (185) - AKUTSU, M. Aplicação do método dos fatores de resposta para a determinação da resposta térmica de edificações. Dissertação de mestrado. São Paulo, EPUSP, 1984.
- (186) - SATO, N.M.N. Modelos para o cálculo de temperaturas e fluxos de calor em coberturas. Dissertação de mestrado. São Paulo, EPUSP, 1984.
- (187) - OGURA, M.K. Adequação do modelo computacional do National Bureau of Standards para cálculo da carga térmica em edifícios. Dissertação de mestrado. São Paulo, EPUSP, 1984.
- (188) - DAY, B. Computation of the dynamic thermal performance of buildings. Computer-Aided Design, Surrey, 14(1):49-54, jan. 1982.
- (189) - ATHIENITIS, A.K.; CHANDRASHEKAR, M.; SULLIVAN, H.F. Modelling and analysis of thermal networks through subnetworks for multizone passive solar buildings. Applied Mathematical Modelling, U.K., 9(2):109-116, apr. 1985.
- (190) - LORENZ, F. Building analysis system - BAS. Computer-Aided Design, Surrey, 14(1):19-21, jan. 1982.
- (191) - BURBERRY, P. Microcomputer aids - energy primer. The Architect's Journal, London, 175(26):59-68, 30 june 1982.

- (192) - COUTTS, N.; GREIG, J.; LANSDOWN, J. Available software. The Architect's Journal, London, 117(19):75-87, 11 may 1983.
- (193) - IRVING, S.J. Energy program validation: conclusions of the IEA Annex 1. Computer-Aided Design, Surrey, 14(1):33-38, jan. 1982.
- (194) - WOOLDRIDGE, M.J. & MOLLER, S.K. Work in progress: estimation of building energy use. Computer-Aided Design, Surrey, 14(1):23-25, jan. 1982.
- (195) - PECKHAM, R.J. Shading evaluations with general three-dimensional models. Computer-Aided Design, Surrey, 17(7):305-310, sept. 1985.
- (196) - HANSON, T. et alii. Computer simulation of wind flow around buildings. Computer-Aided Design, Surrey, 14(1):27-31, jan. 1982.
- (197) - SLUCE, A.J.A. Designer's requirements of a building design appraisal program using EPS as an example. Computer-Aided Design, Surrey, 14(1):45-48, jan. 1982.
- (198) - GILLETTE, G. A daylighting model for building energy simulation. NBS Building Science Series 152. Washington, NBS, mar. 1983.
- (199) - IANNIELLO, C.; MAFFEI, L. A computer-aided procedure for selecting the optimal corrective absorption in rooms. Applied Acoustics, Great Britain, 16(6):455-461, 1983.
- (200) - KULOWSKI, A. Algorithmic representation of ray tracing technique. Applied Acoustics, Great Britain, 18(6):449-469, 1985.

- (201) - POLLALIS, S.N.; GEORGES, M.K.; WERDEN, S.K. Computer-aided design of concrete buildings. In: SCHREFLER, B.A., ed. Engineering software for microcomputers. U.K., Pineridge, 1984. Section 10, Chap.6, p. 885-896.
- (202) - GRODSKI, Z. & WINIARSKI, M. Development aspects of a small C.A.D. system. In: ADEY, R.A., ed. Engineering Software III. Proceedings of the 3rd International Conference. Southampton, Springer-Verlag, 1983. p.759-770.
- (203) - MYER, T.H. & KRAUS, R.I. Architectural practice and computer revolution. Architectural Design, London, 37(4):193-194, apr. 1967.
- (204) - BRIDGES, A.H. The inter-relationship of design and performance variables. In: CAD76. London, IPC, 1976. p.22-30.
- (205) - NOBLE, J. & TURNER, J. Evaluating housing layouts by computer. The Architect's Journal, London, 153(6):315-318, 10 feb. 1971.
- (206) - BARNETT, J. Computerized cost estimating. Architectural Record, New Jersey, 141(3):163-166, mar. 1967.
- (207) - TABELAS de composição de preços para orçamentos-ICPO. 7. ed. São Paulo, PINI, 1984.
- (208) - CHAPMAN, A. & CHEE, J. A computerized building code searching system. DMI-Journal of the DMG, Berkeley, 15(1):3-11, 1981.

- (209) - STAHL, F.I. et alii. Expressing standards for computer-aided building design. Computer-Aided Design, Surrey, 15(6):329-334, nov. 1983.
- (210) - PORT, S. Computer-aided design for construction. Cambridge, Granada, 1984.
- (211) - LEVASSEUR, C. Approches théoriques sur l'utilisation de perspectives sur ordinateurs en architecture. Techniques & Architecture, Paris, 33(4):82-83, mai 1971.
- (212) - SUTHERLAND, I. Structure in drawings and hidden-surface problem. In: NEGROPONTE, N., ed. Computer aids to design and architecture. New York, Petrocelli/Charter, 1975. Chap.7, p.73-85.
- (213) - PARADIS, A. Computer graphics: yesterday's toy becomes today's tool. In: NEGROPONTE, N., ed. Computer aids to design and architecture. New York, Petrocelli/Charter, 1975. Chap.12, p.120-123.
- (214) - EASTMAN, C.M. The use of computers instead of drawings in building design. AIA Journal, Washington, 74(3):46-50, mar. 1985.
- (215) - SELTZ-PETRASH, A. Computer-aided design and drafting for small engineering firms. Civil Engineering-ASCE, EUA, 50(2):56-61, feb. 1980.
- (216) - GERRETT, M.F. Computer-aided drafting in civil engineering. Civil Engineering-ASCE, EUA, 52(5):72-78, may 1982.
- (217) - STASIDOWSKI, F.A. T square of tomorrow. Progressive Architecture, EUA, 63(5):183-187, may 1982.

- (218) - MILLIKEN, B. Le défi de la conception assistée par ordinateur. L'Architecture D'Aujourd'hui, Paris, 1982(223):6-9, oct.
- (219) - SANGAKKARA, S.R.; WEST, D.J.; HASLETT, T.G. Developments of CAD in civil engineering reviewed. Computer-Aided Design, Surrey, 16(3):141-147, may 1984.
- (220) - ROBERTSON, J.K. A graphics system for building design in Canadian Government. CAD76. London, IPC, 1976. p.58-62.
- (221) - CAMPION, D. Fluent draughting. The Architect's Journal, London, 170(49):1228-1229, 5 dec. 1979.
- (222) - THE ARCHITECT'S JOURNAL. Know your building. London, 175(25):81-84, 23 june 1982.
- (223) - THE ARCHITECT'S JOURNAL. Draughting and design. London, 177(3):69-75, 19 jan. 1983.
- (224) - KAMNITZER, P. Computer aid to design. Architectural Design, London, 39(9):507-508, sept. 1969.
- (225) - GREENBERG, D.P. Computer graphics in architecture. Scientific American, New York, 230(5):98-106, 1974.
- (226) - D'ABRUZZO, N.L.S. Sistema CAD: a prancheta eletrônica. A Construção São Paulo, São Paulo, 1995(1957):18-19, 12 agosto.
- (227) - FORWOOD, B.S. The development of a data handling facility for a computer model of thermal environment in buildings. Computer Report CR24. Sydney, Dept. of Architectural Science, 1974.

- (228) - MAVER, T.W. Democracy in design decision-making. CADZ6, London, IPC, 1976. p.313-318.
- (229) - _____. PACE1: computer aided building appraisal. The Architect's Journal, London, 154(30):207-214, 28 july 1971.
- (230) - AISH, R.A. et alii. Integrated CAD development for building services engineering. Computer-Aided Design, Surrey, 17(4):179-190, may 1985.
- (231) - BELL, W.T. The role of microcomputers in civil and structural engineering. In: ADEY, R.A., ed. Engineering Software II. Proceedings of the 2nd International Conference. Southampton, CML, 1981. p.852-861.
- (232) - PERRONE, N. An assessment of current and future needs/trends in engineering software. In: ADEY, R.A., ed. Engineering Software II. Proceedings of the 2nd International Conference. Southampton, CML, 1981. p.1105-1113.
- (233) - MARKUSZ, Z. Design in logic. Computer-Aided Design, Surrey, 14(6):335-343, nov. 1982.
- (234) - BELL, W.T. & PLANK, R.J. Civil engineering design programs for microcomputers. In: ADEY, R.A., ed. Engineering Software III. Proceedings of the 3rd International Conference. Southampton, CML, 1983. p.337-346.
- (235) - PREISS, K. Future CAD systems. Computer-Aided Design, Surrey, 15(4):223-227, july 1983.

- (236) - SWINSON, P.S.G. Prolog: a prelude to a new generation of CAAD. Computer-Aided Design, Surrey, 15(6):335-343, nov. 1983.
- (237) - KALAY, Y.K. Redefining the role of computers in architecture: from drafting/modelling tools to knowledge-based design assistants. Computer-Aided Design, Surrey, 17(7):319-328, sept. 1985.
- (238) - THE ARCHITECT'S JOURNAL. Intelligent building blocks. London, 181(5):47-54, 30 jan. 1985.

BIBLIOGRAFIA - ANEXO I

- (239) - JACKS, E.L. Design augmented by computers. Design Quarterly, Minneapolis, 1966(66/67):25-30.
- (240) - CHASEN, S.H. Applications of man-computer graphics. In: GREEN, R.E & PARSLOW, R.D., ed. Computer graphics in management. London, Gower, 1970. Chap.4, p.41-67.
- (241) - TEAGUE JR., L.C. & HERSHDORFER, A.M. BUILD - an integrated system for building design. Journal of Structural Division-ASCE, EUA, 94(4):983-994, apr. 1968.
- (242) - RAY-JONES, A. Computer development in West Sussex: 1. The Architect's Journal, London, 148(8):421-426, 21 feb. 1968.
- (243) - PURCELL, P. United Kingdom. In: NEGROPONTE, N., ed. Computer aids to design and architecture. New York, Petrocelli/Charter, 1975. Chap.21, p.207-223.
- (244) - WALTER, P.E. The computer as an aid for architect. In: GREEN, R.E. & PARSLOW, R.D., ed. Computer graphics in management. London, Gower, 1970. Chap.16, p.206-214.
- (245) - RAY-JONES, A. Computer development in West Sessex: 2. The Architect's Journal, London, 147(9):489-493, 28 feb. 1968.
- (246) - PATERSON, J. Using the computer for design. RIBA Journal, London, 75(12):564-565, dec. 1968.

- (247) - MEAGER, M.A. The application of computer aids to hospital building. In: VLIETSTRA, J. & WIELINGA, R.F., ed. Computer-aided design. Netherlands, North-Holland, 1973. p.423-456.
- (248) - TEICHOLZ, E. Computer-aided architecture in retrospect. In: NEGROPONTE, N., ed. Computer aids to design and architecture. New York, Petrocelli/Charter, 1975. Chap.8, p.86-90.
- (249) - LEE, K. The ARK-2 system. In: GERO, J.S., ed. Computer applications in architecture. London, Applied Science, 1977. Chap.9, p.312-342.
- (250) - STEWART, C.D. & LEE, K. Can an 54-year-old architectural firm find romance and happiness with an interactive computer system? Progressive Architecture, EUA, 52(7):64-73, july 1971.
- (251) - HOSKINS, E.M. The OXSYS system. In: GERO, J.S., ed. Computer applications in architecture. London, Applied Science, 1977. Chap.10, p.343-391.
- (252) - RICHENS, P. New developments in the OXSYS system. CAD76. London, IPC, 1976. p.44-50.
- (253) - COLLINS, E.B. Co-ordinated drawings. The Architect's Journal, London, 170(49):1230-1231, 5 dec. 1979.
- (254) - THOMPSON, B.G.J. & HUGHES, J. An experimental investigation of the performance of a computer-aided building design system. In: ROSENFELD, J.L., ed. Information Processing 74. London, North-Holland, 1974. p.773-777.

- (255) - CHARLESWORTH, D. & WEBSTER, G. CEDAR3: basic software for computer-aided design. CAD76. London, IPC, 1976. p.38-43.
- (256) - CANNON, J. & YOUNG, J. Sketch design appraisal. The Architect's Journal, London, 170(49):1232-1233, 5 dec. 1979.
- (257) - TH'NG, R. Computer aids for a department of architecture in local government. CAD76. London, IPC, 1976. p.51-57.
- (258) - DANIEL, P.T. A plant and building draughting and scheduling system. In: VLIETSTRA, J. & WIELINGA, R.F., ed. Computer-aided design. Netherlands, North-Holland, 1973. p.393-421.
- (259) - DAWSON, J.W. & HASHMI, G.N. At Helerbe Associates. In: NEGROPONTE, N., ed. Computer aids to design and architecture. New York, Petrocelli/Charter, 1975. Chap.10, p.105-113.
- (260) - QUINDRAND, P. France. In: NEGROPONTE, N., ed. Computer aids to design and architecture. New York, Petrocelli/Charter, 1975. Chap.22, p.224-238.
- (261) - WILLEY, D.S. & TOLLER, D.R. SPA: automating bathroom design. Computer-Aided Design, Surrey, 13(3):137-144, may 1981.
- (262) - GRODZKI, Z. & WINIARSKI, M. Development study of a small, specialized CAD system. Computer-Aided Design, Surrey, 14(5):275-278, sept. 1982.

BIBLIOGRAFIA - ANEXO II

- (263) - CAMPION, D. Data handling and manipulation. In: GERO, J.S., ed. Computer applications in architecture. London, Applied Science, 1977. Chap.7, p.173-250.
- (264) - _____. Computer-aided handling of briefing and design information of building projects. CAD76. London, IPC, 1976. p.11-20.
- (265) - MYER, T.H. An information system for component building. In: EASTMAN, C.M., ed. Spatial synthesis in computer-aided building design. London, Applied Science, 1972. Chap.3, p.41-60.
- (266) - CARTER, J. The RIBA, computers, and CBC. RIBA Journal, London, 73(10):481-482, oct. 1966.
- (267) - BIRGERSON, B. CBC/BDC as a national system. RIBA Journal, London, 74(9):394-399, sept. 1967.
- (268) - BUCHMANN, A.F. Current trends in CAD database. Computer-Aided Design, Surrey, 16(3):123-126, may 1984.
- (269) - EASTMAN, C.M. Databases for physical system design: a survey of US efforts. CAD76. London, IPC, 1976. p.1-10.
- (270) - AGGER, K. Data-structures for function and geometrical description of buildings. CAD76. London, IPC, 1976. p.87-95.

- (271) - HEERENA, F.J. An engineering data management system for computer aided design. In: ADEY, R.A., ed. Engineering Software III. Proceedings of the 3rd International Conference. Southampton, Springer-Verlag, 1983. p.863-884.
- (272) - STEENBERGEN, H. & HEERENA, F.J. Database administrator facilities for engineering data management. In: ADEY, R.A., ed. Engineering Software IV. Proceedings of the 4th International Conference. Southampton, Springer-Verlag, 1985. p.17.31-17.49.
- (273) - BACKX, E. A data base manager for engineering computations. In: ADEY, R.A., ed. Engineering Software IV. Proceedings of the 4th International Conference. Southampton, Springer-Verlag, 1985. p.17.51-17.55.
- (274) - FRASER, S.M. Engineering database - weights and centres. In: ADEY, R.A., ed. Engineering Software IV. Proceedings of the 4th International Conference. Southampton, Springer-Verlag, 1985. p.17.57-17.63.
- (275) - LOGCHER, R.D. ICES STRUDL: an integrated approach to a computer system for structural engineering. In: MOORE, G., ed. Emerging methods in environmental design and planning. Cambridge, MIT Press, 1970. Chap.8, p.79-91.
- (276) - RYDER, A. The engineer's computer handbook. London, Thomas Telford, 1980.
- (277) - SCHREFLER, B.A.; LEWS, R.W.; ODORIZZI, S.A., ed. Engineering software for microcomputers. U.K., Fineridge, 1984.

- (278) - ADEY, R.A., ed. Engineering Software II. Proceedings of the 2nd International Conference. Southampton, CML, 1981.
- (279) - _____. Engineering Software III. Proceedings of the 3rd International Conference. Southampton, Springer-Verlag, 1983.
- (280) - _____. Engineering Software IV. Proceedings of the 4th International Conference. Southampton, Springer-Verlag, 1985.
- (281) - VINE-LOTT, K.W., ed. Computers in civil engineering design. Manchester, NCC, 1972.
- (282) - GERO, J.S. & FORWOOD, B.S. Interactive lift design-analysis. Computer Report CR10. Sydney, Dept. of Architectural Science, 1970.
- (283) - MARMOT, A. & GERO, J.S. Towards the development of an empirical model for elevator lobbies. Computer Report CR17. Sydney, Dept. of Architectural Science, 1972.
- (284) - DIXON, D.J. The in-house computer. In: VINE-LOTT, K.M., ed. Computers in civil engineering design. Manchester, NCC, 1972. p.45-60.
- (285) - NONIMO, C. Duct sizing for ventilation and air conditioning systems. In: SCHREFLER, B.A.; LEWS, R.W.; ODORIZZI, S.A., ed. Engineering software for microcomputers. U.K., Pineridge, 1984. Section 9, Chap.6, p.773-781.

- (286) - GERD, J.S. & RADFORD, A.D. A dynamic programming approach to the optimum lighting problem. Computer Report CR28. Sydney, Dept. of Architectural Science, 1976.
- (287) - CARTER, D.J. Multiple criterion lighting design by computer. Computer-Aided Design, Surrey, 14(3):145-151, may 1982.
- (288) - _____. Computer aided design of interior artificial lighting of buildings. In: ADEY, R.A., ed. Engineering Software III. Proceedings of the 3rd International Conference. Southampton, Springer-Verlag, 1983. p.717-730.
- (289) - LIGHT AND LIGHTING AND ENVIRONMENTAL DESIGN. The use of computers in lighting, Great Britain, 64(6):172-173, june 1971.
- (290) - HAKKILA, M. Experience of the use of computer programs in the design of the heating, water supply and air conditioning of a public office building. CADZ6. London, IPC, 1976. p.63-70.
- (291) - NONIMO, C. Pipe sizing for hot-water heating. In: SCHREFLER, B.A.; LEWS, R.W.; ODDORIZZI, S.A., ed. Engineering software for microcomputers. U.K., Fineridge, 1984. Section 9, Chap.6, p.783-793.
- (292) - DOERING, R.D. & LIN, B.W. Optimum operation of a total energy plant. Computer & Operation Research, Great Britain, 6(1):33-38, 1979.
- (293) - CLARKE, J.A. Editorial. Computer-Aided Design, Surrey, 14(1):3-9, jan. 1982.

- (294) - COUTTS, N. Impacts. The Architect's Journal, London, 177(23):73-84, 8 june 1983.
- (295) - REVISTA DE ENGENHARIA MACKENZIE. Caderno especial de software para engenharia civil e administração. São Paulo, 1984(168):25-47, abril/junho 1984.
- (296) - ITAUTEC. Catálogo de software Itautec para microcomputadores da família I-7000. 3 ed. São Paulo, set. 1984.
- (297) - GIBSON, J.J. et alii. Bills of quantities at a stroke. In: ADEY, R.A., ed. Engineering Software III. Proceedings of the 3rd International Conference. Southampton, Springer-Verlag, 1983. p.375-386.
- (298) - GERO, J.S. Specifications. In: _____, ed. Computer application in architecture. London, Applied Science, 1977. Chap.6, p.134-172.
- (299) - COLEMON, M.A. Network planning: management tool for architects. Architectural Record, New Jersey, 141(2):93-94, feb. 1967. 141(3):93-94, mar. 1967.
- (300) - PINNELL, S.S. Critical path scheduling: an overview and a practical alternative. Civil Engineering-ASCE, EUA, 50(7):66-70, july 1980.
- (301) - WHITEHOUSE, G.E. Critical path program for a micro-computer. Civil Engineering-ASCE, EUA, 51(5)54-56, may 1981.
- (302) - PETERS, G. Construction project management using small computers. Great Britain, Architectural Press, 1984.

- (303) - CROSS, N. & MAVER, T.W. Computer aids for design participation. Architectural Design, London, 43(5):274, may 1973.
- (304) - CROSS, N. Impact of computers on the architectural design process. The Architect's Journal, London, 155(12):623-628, 22 mar. 1972.
- (305) - FRIEDMAN, Y. The Flatwriter: choice by computer. Progressive Architecture, EUA, 52(3):98-101, mar. 1971.
- (306) - RORICK, H. The Frank Lloyd Wrighter. In: NEGROPONTE, N., ed. Computer aids to design and architecture. New York, Petrocelli/Charter, 1975. Chap.5, p.49-60.
- (307) - HATVANY, J. The engineer's creative activity in a CAD environment. In: VLIETSTRA, J. & WIELINGA, R.F., ed. Computer-aided design. Netherlands, North-Holland, 1973. p.113-125.
- (308) - LLEWELYN, A.L. The computer in design. In: VINE-LOTT, K.M., ed. Computers in civil engineering design. Manchester, NCC, 1972. p.11-25.
- (309) - MACHOVER, C. Computer graphics: future outlook and impact on industry. In: BSCE/ASCE. Computer-aided design & drafting. Computer Group Lecture Series, 1984. s.l. p.67-72.
- (310) - COATES, P.J. Software availability - including Genesys. In: VINE-LOTT, K.M., ed. Computers in civil engineering design. Manchester, NCC, 1972. p.103-123.

- (311) - BLACK, W.W. Considerations in the choice of a computergraphics system. In: BSCE/ASCE. Computer-aided design & drafting. Computer Group Lecture Series, 1984. s.1. p.309-331.
- (312) - PLUNKETT, D.A. The criteria for selecting an application package. In: ADEY, R.A., ed. Engineering Software III. Proceedings of the 3rd International Conference. Southampton, Springer-Verlag, 1983. p.13-18.
- (313) - JAMES, A.J. Specification and evaluation of computer aided engineering (CAE) systems. In: ADEY, R.A., ed. Engineering Software IV. Proceedings of the 4th International Conference. Southampton, Springer-Verlag, 1985. p.1.25-1.37.
- (314) - COUTTS, N. Analysing your requirements. The Architect's Journal, London, 177(5):53-61, 2 feb. 1983.
- (315) - THE ARCHITECT'S JOURNAL. Computer draughting systems: difficult to choose, easier to use. London, 172(51):1209-1213, 17 dec. 1980.
- (316) - FOCKE, J. At Caudill Rowlett Scott. In: NEGROPONTE, N., ed. Computer aids to design and architecture. New York, Petrocelli/Charter, 1975. Chap.11, p.114-119.
- (317) - STEWART, C.D. At Clifford Douglas Stewart Associates. In: NEGROPONTE, N., ed. Computer aids to design and architecture. New York, Petrocelli/Charter, 1975. Chap.14, p.136-146.

- (318) - TEAGUE, L. A decade of discovery and development. In: NEGROPONTE, N., ed. Computer aids to design and architecture. New York, Petrocelli/Charter, 1975. Chap.16, p.163-174.
- (319) - SMETHURST, B. Currently available methods of using computers. In: VINE-LOTT, K.M., ed. Computers in civil engineering design. Manchester, NCC, 1972. p.27-36.
- (320) - MORRIS, C.J.E. The terminal. In: VINE-LOTT, K.M., ed. Computers in civil engineering design. Manchester, NCC, 1972. p.37-44.
- (321) - STOTHARD, J. The consortium. In: VINE-LOTT, K.M., ed. Computers in civil engineering design. Manchester, NCC, 1972. p.61-67.
- (322) - MAXWELL, T.ON. The computer bureau. In: VINE-LOTT, K.M., ed. Computers in civil engineering design. Manchester, NCC, 1972. p.69-74.
- (323) - CHALMERS, J. Guide to hardware. The Architect's Journal, London, 175(19):71-83, 12 may 1982.
- (324) - GREIG, J. Choosing hardware. The Architect's Journal, London, 177(8):71-78, 23 feb. 1983.
- (325) - _____. Microcomputers. The Architect's Journal, London, 177(17):57-62, 27 apr. 1983.
- (326) - _____. Computer peripherals. The Architect's Journal, London, 177(18):79-89, 4 may 1983.

- (327) - DAVIES, D.W. Future development in hardware. In: VINE-
LOTT, K.M., ed. Computers in civil engineering design.
Manchester, NCC, 1972. p.91-102.
- (328) - COUTTS, N. Networks and communications. The Architect's
Journal, London, 179(15):81-84, 11 apr. 1984.
- (329) - THE ARCHITECT'S JOURNAL. Networks case study. London,
181(4):71-73, 23 jan. 1985.
- (330) - EVANS, B. Implementation. The Architect's Journal,
London, 177(10):53-63, 9 mar. 1983.
- (331) - COCKLE, R. Installing a CAD system The Architect's
Journal, London, 178(46):105-109, 16 nov. 1983.
- (332) - CAMPION, D. Managing a draughting system. The
Architect's Journal, London, 179(17):73-75, 25 apr. 1984.
179(18):71-74, 2 may 1984.
- (333) - MAZZOTTA, S.G. & BEATY, J.M. Implementing a computer-
aided design and drafting system. In: BSCE/ASCE.
Computer-aided design and drafting. Computer Group
Lecture Series, 1984. s.l. p.333-336.
- (334) - DAVID, B.; ZANELLI, F.; Z'GRAGGEN, F-J. Teaching CAD in
an architectural school with the SIGMA-ARCHI system.
Computer & Graphics, Great Britain, 4(nn):193-199, 1979.
- (335) - JORGENSEN, J.L. Teaching civil engineers to write CADD
software. In: ADEY, R.A., ed. Engineering Software IV.
Proceedings of the 4th International Conference.
Southampton, Springer-Verlag, 1985. p.1.3-1.11.

- (336) - GERO, J.S. Australia. In: NEGROPONTE, N., ed. Computer aids to design and architecture. New York, Petrocelli/Charter, 1975. Chap.20, p.201-206.
- (337) - _____. The use of computers in architecture practice. Computer Report CR8. Sydney, Dept. of Architectural Science, 1970.
- (338) - LLEWELYN, A. CAD/CAM education and training. Computer-Aided Design, Surrey, 16(3):172-176, may 1984.
- (339) - GERO, J.S. & BROWN, M. A selective bibliography of computers in architecture. Computer Report CR5. Sydney, Dept. of Architectural Science, 1970.
- (340) - FORWOOD, B. A selective bibliography of computer-aided design and analysis of building environment and service systems. Computer Report CR20. Sydney, Dept. of Architectural Science, 1973.
- (341) - BUNSELMEIER, E. Computer location-allocation. Illinois, Council of Planning Librarians, 1973.
- (342) - _____. References and bibliography on computer aids to architecture. In: EASTMAN, C.M., ed. Spatial synthesis in computer-aided building design. London, Applied Science, 1972. Chap.10, p.310-336.
- (343) - JONES, J.C. The state-of-art in design methods. In: BROADBENT, G. & WARD, A., ed. Design methods in architecture. London, Lund Humphries, 1969. p.193-196.

- (344) - BAZJANAC, V. Architectural design theory: models of the design process. In: SPILLERS, W.R., ed. Basic questions of design theory. Netherlands, North-Holland, 1974. Part 1, p.3-19.
- (345) - DIXON, J.R. Diseño en ingeniería. Mexico, Limusa-Wiley, 1970.
- (346) - LATERZA, L.B.M. Pesquisa operacional aplicada ao projeto. Seminário. São Paulo, EPUSP, 1983.
- (347) - HATVANY, J., ed. World survey of CAM. Great Britain, Butterworth, 1984.
- (348) - _____. Computer-aided manufacture. Computer-Aided Design, Surrey, 16(3):161-165, may 1984.
- (349) - KLAUS, R.L. New concepts in interactive computing and their relationship to computer-aided desing. In: VLIETSTRA, J. & WIELINGA, R.F., ed. Computer-aided design. Netherlands, North-Holland, 1973. p.79-111.
- (350) - MOTARD, R.L. & DONAGHEY, C.E. Program and information structures in computer aided design. In: VLIETSTRA, J. & WIELINGA, R.F., ed. Computer-aided design. Netherlands, North-Holland, 1973. p.225-242.
- (351) - PIRKTL, E. Lifetime and evolutionary properties of applications software. In: VLIETSTRA, J. & WIELINGA, R.F., ed. Computer-aided design. Netherlands, North-Holland, 1973. p.243-259.
- (352) - ARMIT, A.P. & ELLIOTT, W.S. The design of interactive systems for CAD. In: CAD76. London, IPC, 1976. p.265-269.

- (353) - WHITE, P.R. & GARRETT, R.E. A generalized interactive three dimensional input system. In: CAD76. London, IPC, 1976. p.275-282.
- (354) - WILSON, J.L. Criteria for interactive techniques in computer-aided design. In: CAD76. London, IPC, 1976. p.283.
- (355) - SCOTT, J.E. Introduction to interactive computer graphics. New York, John Wiley, 1982.
- (356) - GARDAN, Y. & LUCAS, M. Interactive graphics in CAD. London, Kogan, 1984.
- (357) - GIANGRANDE, A. & MORTOLA, E. Il Computer: un aiuto nel processo creativo del progettista. In: ZEVI, M., ed. Architettura & Computer. Roma, Bulzoni, 1971. p.67-83.
- (358) - MANHEIM, M.L. Problem-solving processes in planning and design. Design Quarterly, Minneapolis, 1966(66/67):31-40.
- (359) - JONES, J.C. & THORNLEY, D.G. La metodologia del progettare. Padova, Marsilio Editori, 1967.
- (360) - RIBA JOURNAL. Computers: the implications for architects. London, 74(2):53-54, feb. 1967.
- (361) - BERKELEY, E.P. Computers for design and a design for the computer. Architectural Forum, New York, 128(2):60-65, mar. 1968.
- (362) - BROADBENT, G. La creatividad en el diseño arquitectonico y otros ensayos. Cordoba, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, 1969.

- (363) - CROSS, N. Design participation. Proceedings of the Design Research Society's Conference. Manchester, Academy Editions, 1971.
- (364) - BELTRAMI, A. et alii. Standard edilizi. In: ZEVI, M., ed. Architettura & Computer. Roma, Bulzoni, 1971. p.91-109.
- (365) - RAVIKAR, E. & KMET, A. Esquisse d'une théorie de la projection. NEUE, ,yy(30):94-128, mars/avril 1971.
- (366) - INSTITUT DE L'ENVIRONNEMENT. Notes méthodologiques en architecture. Paris, 1973.
- (367) - NEVILL, G.E. & CROWE, R.A. Computer augmented conceptual design. In: SPILLERS, W.R., ed. Basic questions of design theory. Netherlands, North-Holland, 1974. Part 6, p.493-506.
- (368) - GREGOTTI, V. Território da arquitetura. São Paulo, Perspectiva/EDUSP, 1975.
- (369) - BELDERRAIN, M.C.R. Introdução à metodologia de projeto. Seminário de área. São Paulo, EPUSP, 1981.
- (370) - ATTOE, W.O. Teoria, crítica e história da arquitetura. In: SNYDER, J. & CATANESE, A., ed. Introdução à arquitetura. Rio de Janeiro, Campus, 1984. Cap.2, p.42-64.
- (371) - MAHFUZ, E.C. Nada provém do nada. A produção da arquitetura vista como transformação do conhecimento. Revista Projeto, São Paulo, 1984(69):89-95, nov.

- (372) - PURCELL, P.A.; MALLIN, G.L.; GOUMAIN, P.G.R. A strategy for design research. In: SPILLERS, W.R., ed. Basic questions of design theory. Netherlands, North-Holland, 1974. Part 1, p.75-93.
- (373) - QUARONI, L. Il computer, mito e speranza dell'architetto. In: ZEVI, M., ed. Architettura & computer. Roma, Bulzoni, 1971. p.207-212.
- (374) - ROISECCO, G. Il "computer" questo sconosciuto. In: ZEVI, M., ed. Architettura & computer. Roma, Bulzoni, 1971. p.213-216.
- (375) - SEVERATI, C. Il computer e il ruolo del designer. In: ZEVI, M., ed. Architettura & computer. Roma, Bulzoni, 1971. p.217-219.
- (376) - FAIRWEATHER, L. Computers: where now? The Architect's Journal, London, 156(49):1319-1324, 6 dec. 1972.
- (377) - ALLAN III, J.J. Foundations of the many manifestations of computer augmented design. In: VLIETSTRA, J. & WIELINGA, R.F., ed. Computer-aided design. Netherlands, North-Holland, 1973. p.27-58.
- (378) - POWERS, G.J. Non-numerical problem solving methods in computer-aided design. In: VLIETSTRA, J. & WIELINGA, R.F., ed. Computer-aided design. Netherlands, North-Holland, 1973. p.327-354.
- (379) - SALVADORI, M.G. Is automated architectural design possible? In: SPILLERS, W.R., ed. Basic questions of design theory. Netherlands, North-Holland, 1974. Part 1, p.95-102.

- (380) - GERO, J.S. & JULIAN, W.B. Interaction in the planning of buildings. In: EASTMAN, C.M., ed. Spatial synthesis in computer-aided building design. London, Applied Science, 1972. Chap.7, p.184-229.
- (381) - ABEN, H. Soviet Union. In: NEGROPONTE, N., ed. Computer aids to design and architecture. New York, Petrocelli/Charter, 1975. Chap.18, p.185-189.
- (382) - BLASI, C. & BLASI, G.F. Italy. In: NEGROPONTE, N., ed. Computer aids to design and architecture. New York, Petrocelli/Charter, 1975. Chap.19, p.190-200.
- (383) - SASADA, T. Japan. In: NEGROPONTE, N., ed. Computer aids to design and architecture. New York, Petrocelli/Charter, 1975. Chap.23, p.240-252.
- (384) - De la RIVA, J.S. Spain. In: NEGROPONTE, N., ed. Computer aids to design and architecture. New York, Petrocelli/Charter, 1975. Chap.24, p.253-255.
- (385) - WEBER, J. Denmark, Holland, Germany. In: NEGROPONTE, N., ed. Computer aids to design and architecture. New York, Petrocelli/Charter, 1975. Chap.25, p.256-270.
- (386) - GREENWALD-KATZ, G. Computer in architecture. In: WINKLER, S. & HAMMER, C., ed. AFIPS Conference Proceedings. 1976 National Computer Conference. New York, AFIPS Press, 1976. p.315-320.
- (387) - COURTIEUX, G. & GUIBERT, D. Using a conversational translator writing system for generating computer aided design system in architecture. In: GILCHRIST, B., ed. Information Processing 77. Proceedings of the IFIP Congress 77. Toronto, North-Holland, 1977. p.383-387.

- (388) - PROGRESSIVE ARCHITECTURE. Designer's utopia?. EUA, 52(7):84-87, july 1971.
- (389) - MAVER, T.W. Appraisal in the building design process. In: MODRE, G., ed. Emerging methods in environmental design and planning. Cambridge, MIT Press, 1970. Chap.22, p.195-202.
- (390) - FORSSTROM, J.P. & LUND, P.D. Optimization of operating strategies in a community solar heating system. Applied Mathematical Modelling, UK, 9(2):117-124, apr. 1985.
- (391) - GERO, J.S. Computer and the architecture student. Computer Report CR4. Sydney, Dept. of Architectural Science, 1970.
- (392) - LANG, C.A. Achievements in computer-aided design. In: ROSENFELD, J.L., ed. Information Processing 74. London, North-Holland, 1974. p.758-767.
- (393) - LAWRENCE, D.J. & SHEFFARD, D.J. Computer aided design education - the more the education, the less the use. Computer & Graphics, Great Britain, 4(nn):189-192.
- (394) - THE ARCHITECT'S JOURNAL. Computing products and services. London, 175(9):53-58, 30 june 1982. 176(39):75-77, 29 sept. 1982.