André Luiz Prado de Oliveira

A Eficiência Ambiental nas Edificações

Fundamentos e estratégias para a elaboração do projeto arquitetônico
a partir do uso racional de energia elétrica e água

Dissertação apresentada no Curso de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção de título de Mestre em Arquitetura.
Área de concentração: Teoria e prática do projeto arquitetônico.
Orientador: Professora Doutora Maria Lúcia Malard

Belo Horizonte
Escola de Arquitetura da UFMG
2005

Aos meus pais, Celina e Carlos Alberto

Agradecimentos

À Fernanda, em especial, pelo apoio e incentivo constantes.

À professora Maria Lúcia Mallard, pelas orientações atenciosas e pelo exemplo de correção e dedicação à pesquisa acadêmica.

Ao Danilo Matoso, pelo encorajamento inicial e pelas discussões que motivaram essa pesquisa, além da constante troca de informações, mesmo que à distância.

Ao Alexandre Brasil, Bruno Santa Cecília e Carlos Alberto Maciel, pela convivência profissional diária que proporciona discussão e prática de arquitetura constante ao longo de quase dez anos, e pela preciosa biblioteca compartilhada. Ao Bruno, em especial, pela ajuda valiosa com a revisão do texto.

Aos alunos da disciplina optativa ofertada como estudo de caso da pesquisa, pelo seu interesse e dedicação. Espero que as discussões e experimentações práticas proporcionadas pelo contato tenham sido tão úteis para eles quanto foram para mim.

Ao professor José Cabral Filho, pela ajuda com a metodologia de pesquisa e pela atenção dispensada nas discussões sobre sua disciplina.

À Ana Paula Baltazar, pela contribuição valiosa na avaliação intermediária e pela ajuda posterior durante a pesquisa.

Ao professor Carlos Antônio Leite Brandão, diretor do Núcleo de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, pelo auxílio dado à montagem da exposição dos trabalhos da disciplina optativa na Escola de Arquitetura.

Ao Bruno Berg, pela ajuda com as imagens.

Aos engenheiros Carlos Alberto Oliveira, Hivanildo Espanhol, Sebastião Virgílio Figueiredo, Sandra Silva e Thomaz Avelar, pela disponibilidade e pela ajuda com informações e dados técnicos de engenharia que enriqueceram a pesquisa.

Por fim, aos colegas do mestrado, pela ajuda mútua e pela amizade criada ao longo do curso.

Sumário

Lista de Figuras

Lista de Abreviaturas e Siglas

Resumo

Abstract

1 . Apresentação da Dissertação 16

1.1 . Caracterização da situação-problema e de sua relevância 17

1.2 . Propostas para o equacionamento da situação-problema..... 19

1.3 . Definição da metodologia..... 21

1.4 . Desenvolvimento da dissertação..... 22

2 . Arquitetura e Meio-Ambiente: Revisão Histórica..... 24

2.1 . A gênese do *brise-soleil*: A adaptação da arquitetura Moderna ao Brasil..... 27

2.2 . Fundamentalismo Verde: O Surgimento do Paradigma Ecológico na Arquitetura..... 52

3 . Eficiência Ambiental nas Edificações: Revisão Tecnológica..... 76

3.1 . Eficiência na Iluminação Artificial..... 79

3.2 . Eficiência na Climatização Artificial..... 89

3.3 . Fontes alternativas e Geração Autônoma de Energia..... 97

3.4 . Edifícios Inteligentes e Automação Predial..... 119

3.5 . Reuso de Água nas Edificações..... 131

4 . Fundamentos e estratégias para a elaboração de projeto arquitetônico a partir do uso racional de energia elétrica e água..... 150

4.1 . Considerações do Lugar..... 161

4.2 . Considerações de Uso..... 197

4.3 . Considerações dos Materiais e da Construção..... 211

4.4 . Estratégias de Projeto – Considerações da Forma..... 236

5 . Estudo de Caso: Disciplina Ofertada no Curso de Graduação de Arquitetura e Urbanismo da EAUFMG..... 264

5.1 . Metodologia Utilizada..... 265

5.2 . Objetivos da disciplina..... 273
5.3 . Resumo das Aulas..... 273
5.4 . Análise dos trabalhos finais da disciplina..... 281
5.5 . Considerações finais sobre a disciplina optativa. 300

6 . Conclusões da Dissertação..... 302

Referências Bibliográficas..... 306

Glossário de Termos Técnicos e Científicos..... 311

Anexos 316
Anexo 1 . Trabalho Final Grupo 1..... 317
Anexo 2 . Trabalho Final Grupo 2..... 332
Anexo 3 . Trabalho Final Grupo 3..... 343
Anexo 4 . Trabalho Final Grupo 4..... 353
Anexo 5 . Trabalho Final Grupo 5..... 364
Anexo 6 . Trabalho Final Grupo 6..... 377

Lista de figuras

Figuras do Capítulo 2

Figura 2.1.1a – Configurações distintas de arquiteturas vernaculares para condições climáticas semelhantes..... 30

Figura 2.1.1b – Configurações distintas de arquiteturas vernaculares para condições climáticas semelhantes..... 30

Figura 2.1.2a – Configurações distintas de arquiteturas vernaculares utilizando materiais e sistemas construtivos semelhantes..... 30

Figura 2.1.2b – Configurações distintas de arquiteturas vernaculares utilizando materiais e sistemas construtivos semelhantes..... 30

Figura 2.1.3a – Fábrica de turbinas AEG, Peter Behrens, 1908..... 32

Figura 2.1.3b – Fábrica Fagus, Walter Gropius e Adolf Meyer, 1911..... 32

Figura 2.1.3c – Fábrica Fagus, Walter Gropius e Adolf Meyer, 1911..... 32

Figura 2.1.4a – Casa Schröder, G. Rietveld, 1914..... 32

Figura 2.1.4b – Escola Bauhaus, Walter Gropius, 1926..... 32

Figura 2.1.4c – Vila Vaucresson, Le Corbusier, 1922..... 32

Figura 2.1.4d – Vila Stein, Le Corbusier, 1927..... 32

Figura 2.1.5a – Vila Savoye, Le Corbusier, 1928..... 33

Figura 2.1.5b – Variações da síntese dos 5 pontos..... 33

Figura 2.1.6a – Apartamento para o pintor Ozenfant, Le Corbusier, 1922..... 33

Figura 2.1.6b – Apartamento Le Corbusier na rua Nungesser-et-Coli, 1933..... 33

Figura 2.1.7a – Vila Baizeau, Le Corbusier, 1928: primeira versão do projeto..... 35

Figura 2.1.7b – Vila Baizeau, Le Corbusier, 1928: segunda versão do projeto..... 35

Figura 2.1.8 – Maison Clarté, Le Corbusier, 1930..... 35

Figura 2.1.9a – Residências em Barcelona, Le Corbusier, 1933: croquis..... 38

Figura 2.1.9b – Residências em Barcelona, Le Corbusier, 1933: corte transversal..... 38

Figura 2.1.9c – Croquis do texto *Le Problem de l'ensoleilement,* Le Corbusier..... 38

Figura 2.1.9d – Croquis dos princípios do *brise soleil*..... 38

Figura 2.1.10 – Edifício para alugar em Argel, Le Corbusier, 1933..... 38

Figura 2.1.11a – Primeira versão do MESP, Lúcio Costa e equipe, 1935..... 42

Figura 2.1.11b – Primeira versão do MESP, Lúcio Costa e equipe, 1935..... 42

Figura 2.1.12 – Obra do Berço, Oscar Niemeyer, 1937.....

Figura 2.1.13 – MESP, Lúcio Costa e equipe, 1936..... 42

Figura 2.1.14a – ABI, MM Roberto, 1935..... 42

Figura 2.1.14b – ABI, MM Roberto, 1935..... 42

Figura 2.1.15 – Museu das Missões, 1937, Lúcio Costa..... 48
Figura 2.1.16a – Unité d'Habitacion de Marselha, Le Corbusier, 1947..... 48
Figura 2.1.16b – Associação do proprietários rurais, Le Corbusier, 1951..... 48
Figura 2.1.16c – Maison Shodhan, Le Corbusier, 1951..... 48
Figura 2.1.16d – Carpenter Center, Le Corbusier, 1960..... 48
Figura 2.2.1a – Prédio do IPSEMG, Rafel Hardy Filho, 1964..... 58
Figura 2.2.1b – Prédio do IPSEMG, Rafel Hardy Filho, 1964..... 58
Figura 2.2.2a – Les Arcades du Lac, Ricardo Boffil, 19??..... 58
Figura 2.2.2b – Städtiches Museun Abteiberg, Hans Hollein, 1976..... 58
Figura 2.2.2c – AT&T Building, Philip Johnson, 1978..... 58
Figura 2.2.2d – The Portland, Michael Graves, 1980..... 58
Figura 2.2.3a – Condomínio Edifício Officenter, Éolo Maia, 1989..... 60
Figura 2.2.3b – Condomínio Edifício Officenter, Éolo Maia, 1989..... 60
Figura 2.2.3a – Condomínio Edifício Officenter, Éolo Maia, 1989: croquis..... 60
Figura 2.2.3d – Centro Empresarial Raja Gabáglia, Éolo Maia, 1989-93..... 60
Figura 2.2.3e – Centro Empresarial Raja Gabáglia, Éolo Maia, 1989-93..... 60
Figura 2.2.4 – Prairie House, Herb Greene, 1961..... 62
Figura 2.2.5a – Portable Architecture, Cohos Evamy Partners, 1967..... 62
Figura 2.2.5b – Walking City, Archigram, 1964..... 62
Figura 2.2.6a – Australian House of the Future, Kimberly Ackert e Robert Dawson-Browne, 1992..... 67
Figura 2.2.6b – Laredo Demonstration Blueprint Farm, CMPBS, 1987..... 67
Figura 2.2.6c – The Advanced Green Builder Demonstration, CMPBS, 1994-97..... 67
Figura 2.2.6d – The Advanced Green Builder Demonstration, CMPBS, 1994-97..... 67
Figura 2.2.6e – Medium GmbH, LOG ID, 1991..... 67
Figura 2.2.6f – Casa Malaparte, Adalberto Libera, 1938..... 67
Figura 2.2.7a – Soft and Hairy House, Uhida-Findlay Partnership, 1994..... 68
Figura 2.2.7b – Soft and Hairy House, Ushida-Findlay Partnership, 1994: planta..... 68
Figura 2.2.7c – Truss Wall House, Ushida-Findlay Partnership, 1991-93..... 68
Figura 2.2.7d – Truss Wall House, Ushida-Findlay Partnership, 1991-93..... 68
Figura2.2.7e – Nine Houses, Peter Vetsch, 1993..... 68
Figura2.2.7f – Nine Houses, Peter Vetsch, 1993..... 68
Figura 2.2.7g – Casa de convidados de Akira Kusumi, Kota Kawasaki, 1995..... 68
Figura 2.2.7h – Casa de convidados de Akira Kusumi, Kota Kawasaki, 1995..... 68
Figura 2.2.7i – Casa de convidados de Akira Kusumi, Kota Kawasaki, 1995..... 68
Figura 2.2.8a – Biblioteca e Centro Cultural, Dieter Schempp, 1994..... 70

Figura 2.2.8b – Biblioteca e Centro Cultural, Dieter Schempp, 1994..... 70
Figura 2.2.8c – Academia Yasuda, Nihon Sekkei Inc., 1994..... 70
Figura 2.2.8d – Academia Yasuda, Nihon Sekkei Inc., 1994..... 70
Figura 2.2.8e – Sede Central do Commerzbank, Foster & Partners, 1997..... 70
Figura 2.2.8f – Sede Central do Commerzbank, Foster & Partners, 1997..... 70
Figura 2.2.8g – Sede Central do Commerzbank, Foster & Partners, 1997..... 70
Figura 2.2.8h – Sede Central do Commerzbank, Foster & Partners, 1997..... 70
Figura 2.2.9a – Instituto de Investigação, Behnisch, Behnisch & Partner, 1993-98..... 73
Figura 2.2.9b – Instituto de Investigação, Behnisch, Behnisch & Partner, 1993-98..... 73
Figura 2.2.9c – Instituto de Investigação, Behnisch, Behnisch & Partner, 1993-98..... 73
Figura 2.2.9d – Liceo Leonardo da Vinci, Isabelle Colas e Fernand Soupey, 1995-98..... 73
Figura 2.2.9e – Liceo Leonardo da Vinci, Isabelle Colas e Fernand Soupey, 1995-98..... 73

Figuras do Capítulo 3

Figura 3.1.1 – Lâmpadas de filamento..... 81
Figura 3.1.2 – Lâmpadas de descarga..... 81
Figura 3.1.3a – Tabela comparativa da Eficiência das Lâmpadas..... 82
Figura 3.1.3b – Tabela comparativa da Eficiência das Lâmpadas..... 83
Figura 3.1.4 – Lâmpada de microondas..... 86
Figura 3.1.5 – Iluminação de tarefas..... 86
Figura 3.1.6 – Influência da altura da fonte de luz na iluminação de tarefa..... 86
Figura 3.1.7 – Influência das superfícies nos níveis de iluminância..... 86
Figura 3.1.9a – Led 3mm 86
Figura 3.1.9b – Led 10mm..... 86
Figura 3.1.9c – Led luxeon star emitter LXHL MWEC..... 86
Figura 3.1.9d – Superflux led 2000mcd..... 86
Figura 3.2.1a – Exaustores..... 92
Figura 3.2.1b – Ventiladores..... 92
Figura 3.2.2a – Aparelho de parede..... 92
Figura 3.2.2b – Exemplo de edifício com elementos para ar condicionado: Omni Center, João Diniz, 1994..... 92
Figura 3.2.2c – Aparelho portátil com ligação externa flexível..... 92
Figura 3.2.3 – Minicentrais..... 94
Figura 3.2.4 – Multisplit..... 94
Figura 3.2.5 – Modelos de Self Contained..... 94
Figura 3.2.6 – Chiller / Fan-coil..... 94

Figura 3.3.1a – Relação entre a Matriz Energética em Minas Gerais e a demanda de energia por setor (1999)..... 99
Figura 3.3.1b – Relação entre a Matriz Energética em Minas Gerais e a demanda de energia por setor (1999)..... 99
Figura 3.3.2 – Gráfico de crescimento da oferta de energia em Minas Gerais (1999)..... 103
Figura 3.3.3a – Roda com alcatruzes de cima..... 103
Figura 3.3.3b – Roda com alcatruzes de baixo..... 103
Figura 3.3.4a – Turbina Pelton..... 103
Figura 3.3.4b – Turbina Michel-Banki..... 103
Figura 3.3.5 – Usina a fio de água..... 106
Figura 3.3.6 – Funcionamento de um aerogerador..... 106
Figura 3.3.7a – Catavento Flettner, Alemanha, 1925..... 106
Figura 3.3.7b – Catavento Savonius, Helsinki, 1924..... 106
Figura 3.3.7c – Catavento Dinamarquês, 1957..... 106
Figura 3.3.7d – Parque eólico offshore na Alemanha, 2002..... 106
Figura 3.3.8 – TARP..... 106
Figura 3.3.9 – WARP..... 110
Figura 3.3.10a – Casa “Solar One”..... 110
Figura 3.3.10b – Casa “Solar One”: corte esquemático..... 110
Figura 3.3.10c - Funcionamento do sistema solar fotovoltaico..... 110
Figura 3.3.11a – Foto sistema de aquecimento solar água..... 110
Figura 3.3.11b – Esquema sistema de aquecimento solar água..... 110
Figura 3.3.12 – Tabela de consumo de água quente não-residencial anual..... 112
Figura 3.3.13a – Calha parabólica..... 115
Figura 3.3.13b – Calha parabólica..... 115
Figura 3.3.13c – Torre de energia..... 115
Figura 3.3.13d – Torre de energia..... 115
Figura 3.3.14 – Biodigestor Indiano..... 115
Figura 3.3.15a – Diagrama de uma célula de combustível..... 115
Figura 3.3.15b – Diagrama Microcentral a célula de combustível tratado..... 115
Figura 3.3.15c – Célula CEMIG..... 134
Figura 3.5.1 – Ciclo Hidrológico..... 140
Figura 3.5.2 – Exemplo de Reservatório de Descarga..... 140
Figura 3.5.3 – Exemplo de Reservatório de Descarga..... 140
Figura 3.5.4 – Exemplo de Reservatório de Descarga..... 140
Figura 3.5.5 – Exemplo de Reservatório de Descarga..... 140

Figura 3.5.6a – Tanque de metal..... 143
Figura 3.5.6b – Tanque de ferro concreto..... 143
Figura 3.5.6c – Tanque de madeira..... 143
Figura 3.5.6d – Tanque de fibra de vidro..... 143
Figura 3.5.6e – Tanque de poliestileno..... 143

Figuras do Capítulo 4

Figura 4.1.1 – Carta Bioclimática para o Brasil..... 165
Figura 4.1.2a – Carta Bioclimática de Porto Alegre..... 166
Figura 4.1.2b – Carta Bioclimática de São Paulo..... 166
Figura 4.1.2c – Carta Bioclimática do Rio de Janeiro..... 166
Figura 4.1.2d – Carta Bioclimática de Belém..... 166
Figura 4.1.3 – Espectro da radiação solar..... 168
Figura 4.1.4 – Azimute e altura solar..... 170
Figura 4.1.5a – Trajetória solar..... 170
Figura 4.1.5b – Carta solar..... 170
Figura 4.1.5c – Carta solar para a latitude 20ºS (lat. aproximada de Belo Horizonte)..... 170
Figura 4.1.6 – Plano da eclíptica..... 174
Figura 4.1.7 – Definição dos trópicos a partir da eclíptica..... 175
Figura 4.1.8 – Lei do co-seno..... 175
Figura 4.1.9 – Influência da espessura da atmosfera..... 175
Figura 4.1.10 – Gráfico da variação diária de temperatura..... 177
Figura 4.1.11 – Cinturões terrestres de pressão..... 180
Figura 4.1.12 – Tabela de Beaufort..... 181
Figura 4.1.13 – Croqui incidência solar em duas encostas de lados opostos..... 187
Figura 4.1.14 – Máscara produzida por obstáculos externos à abertura..... 196
Figura 4.2.1 – Tabela de calor gerado pelo homem (W)..... 204
Figura 4.2.2 – Tabela de calor gerado por equipamentos..... 206
Figura 4.2.3 – Tabela com valores de iluminância por atividade..... 207
Figura 4.2.4 – Tabela com geração de calor por luminária..... 209
Figura 4.3.1 – Tabela de materiais – condutibilidade térmica..... 216
Figura 4.3.2 – Tabela de materiais - absortividade e emissividade..... 219
Figura 4.3.3 – Tabela de translúcidos – transmissividade..... 221
Figura 4.3.4 – Tabela de materiais – peso específico e calor específico..... 222
Figura 4.3.5 – Tabela de materiais – transmitância térmica..... 224
Figura 4.3.6 – Comparação de parede com e sem inércia..... 226

Figura 4.3.7a – Tabela de materiais - custo energético..... 229
Figura 4.3.7b – Tabela de materiais - custo energético..... 230
Figura 4.4.1 – Gráfico de ganho térmico por orientação..... 239
Figura 4.4.2 – Incidência de sol nas fachadas em Belo Horizonte latitude aprox. 20ºS..... 251
Figura 4.4.2a – Brise horizontal..... 253
Figura 4.4.2b – Brise vertical..... 253
Figura 4.4.2c – Brise horizontal + vertical..... 254
Figura 4.4.4 – Variações nas dimensões dos brises mantendo o mesmo ângulo..... 254

Figuras do Capítulo 5

Figura 5.0.1a – Programa do curso (página 01)..... 266
Figura 5.0.1b – Programa do curso (página 02)..... 268
Figura 5.0.1c – Programa do curso (página 03)..... 268
Figura 5.0.2a – Vista lateral do terreno..... 270
Figura 5.0.2b – Vista frontal do terreno..... 270
Figura 5.0.2c – Situação do lote..... 271
Figura 5.0.2d – Planta do lote..... 272

Anexos

Figura A.1.1 – Prancha 01 Grupo 1..... 318
Figura A.1.2 – Prancha 02 Grupo 1..... 319
Figura A.1.3 – Prancha 03 Grupo 1..... 320
Figura A.1.4 – Prancha 04 Grupo 1..... 321
Figura A.1.5 – Prancha 05 Grupo 1..... 322
Figura A.1.6 – Prancha 06 Grupo 1..... 323
Figura A.1.7 – Prancha 07 Grupo 1..... 324
Figura A.1.8 – Prancha 08 Grupo 1..... 325
Figura A.1.9 – Prancha 09 Grupo 1..... 326
Figura A.1.10 – Prancha 10 Grupo 1..... 327
Figura A.1.11 – Prancha 11 Grupo 1..... 328
Figura A.1.12 – Prancha 12 Grupo 1..... 329
Figura A.1.13 – Prancha 12 Grupo 1..... 330
Figura A.1.14 – Prancha 13 Grupo 1..... 331
Figura A.2.1 – Prancha 01 Grupo 2..... 333
Figura A.2.2 – Prancha 02 Grupo 2..... 334
Figura A.2.3 – Prancha 03 Grupo 2..... 335

Figura A.2.4 – Prancha 04 Grupo 2..... 336
Figura A.2.5 – Prancha 05 Grupo 2..... 337
Figura A.2.6 – Prancha 06 Grupo 2..... 338
Figura A.2.7 – Prancha 07 Grupo 2..... 339
Figura A.2.8 – Prancha 08 Grupo 2..... 340
Figura A.2.9 – Prancha 09 Grupo 2..... 341
Figura A.2.10 – Prancha 10 Grupo 2..... 342
Figura A.3.1 – Croquis Grupo 3..... 344
Figura A.3.2 – Prancha 01 Grupo 3..... 345
Figura A.3.3 – Prancha 02 Grupo 3..... 346
Figura A.3.4 – Prancha 03 Grupo 3..... 347
Figura A.3.5 – Prancha 04 Grupo 3..... 348
Figura A.3.6 – Prancha 05 Grupo 3..... 349
Figura A.3.7 – Prancha 06 Grupo 3..... 350
Figura A.3.8 – Prancha 07 Grupo 3..... 351
Figura A.3.9 – Prancha 08 Grupo 3..... 352
Figura A.4.1 – Prancha 01 Grupo 4..... 354
Figura A.4.2 – Prancha 01 Grupo 4..... 355
Figura A.4.3 – Prancha 01 Grupo 4..... 356
Figura A.4.4 – Prancha 01 Grupo 4..... 357
Figura A.4.5 – Prancha 02 Grupo 4..... 358
Figura A.4.6 – Prancha 02 Grupo 4..... 359
Figura A.4.7 – Prancha 02 Grupo 4..... 360
Figura A.4.8 – Prancha 02 Grupo 4..... 361
Figura A.4.9 – Prancha 02 Grupo 4..... 362
Figura A.4.10 – Prancha 02 Grupo 4..... 363
Figura A.5.1 – Prancha 01 Grupo 5..... 365
Figura A.5.2 – Prancha 02 Grupo 5..... 366
Figura A.5.3 – Prancha 03 Grupo 5..... 367
Figura A.5.4 – Prancha 04 Grupo 5..... 368
Figura A.5.5 – Prancha 05 Grupo 5..... 369
Figura A.5.6 – Prancha 06 Grupo 5..... 370
Figura A.5.7 – Prancha 07 Grupo 5..... 371
Figura A.5.8 – Prancha 08 Grupo 5..... 372
Figura A.5.9 – Prancha 09 Grupo 5..... 373
Figura A.5.10 – Prancha 10 Grupo 5..... 374

Figura A.5.11 – Prancha 11 Grupo 5..... 375
Figura A.5.12 – Prancha 12 Grupo 5..... 376
Figura A.6.1 – Prancha 01 Grupo 6..... 378
Figura A.6.2 – Prancha 02 Grupo 6..... 379
Figura A.6.3 – Prancha 03 Grupo 6..... 380
Figura A.6.4 – Prancha 04 Grupo 6..... 387
Figura A.6.5 – Prancha 07 Grupo 6..... 382
Figura A.6.6 – Prancha 08 Grupo 6..... 383
Figura A.6.7 – Prancha 09 Grupo 6..... 384
Figura A.6.8 – Prancha 10 Grupo 6..... 385
Figura A.6.9 – Prancha 11 Grupo 6..... 386

Lista de Abreviaturas e Siglas

CEF	Caixa Econômica Federal
CEMIG	Centrais Elétricas de Minas Gerais
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (Governo do Estado de São Paulo)
COHAB	Companhia de Habitação
CIRRA	Centro Internacional de Referência para Reuso de Água (Poli-USP)
EAUFMG	Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais
IPSEMG	Instituto de Previdência dos Servidores do Estado de Minas Gerais
IRC	Índice de Reprodução de Cor
MESP	Ministério da Educação e Saúde Pública
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia

Resumo

Este trabalho tem por objetivo, discutir questões relativas ao uso de energia elétrica e água nas edificações nos dias de hoje, dada a crescente escassez de recursos naturais. São abordadas possibilidades de introduzir de forma natural tais preocupações no processo de elaboração do projeto arquitetônico, contribuindo assim para estabelecer de forma ampla um uso mais racional desses recursos.

O cerne da pesquisa está na criação de um roteiro metodológico de projeto que procura criar uma base de fundamentos técnicos e científicos e estratégias de projeto que possam ser consideradas no processo de elaboração arquitetônica. Também faz parte da pesquisa, uma breve revisão histórica sobre a introdução das preocupações ambientais na arquitetura brasileira, no período da chegada do modernismo ao país, e uma revisão do estado da arte das tecnologias prediais ligadas à eficiência ambiental. Completa o trabalho, um estudo de caso: uma disciplina optativa ofertada no curso de graduação da EAUFMG, que serviu de base para o estabelecimento do roteiro metodológico.

.

Abstract

This work, aims to discuss questions related to the use of electric energy and water on buildings nowadays, considering the increasing scarcity of natural resources. Possibilities of naturally introducing these questions during the architectural project elaboration process are discussed along the text, contributing, therefore, to establish a more rational use of these resources.

The core of the research is the creation of a methodological guide that creates a basis of scientific and technical fundaments as well as project strategies that can be considered in the architectural elaboration process. It is also part of this research, a brief historical revision about the introduction of environmental concernments in the Brazilian architecture, during the period that modernism reached the country, and a revision of the state of art of engineering technologies related to the building environmental efficiency. A case study completes this research: an environmental efficiency building project course, give in the EAUFMG graduation course, which worked as a basis for the methodological guide.

1 . Apresentação da Dissertação

1.1 . Caracterização da situação-problema e de sua relevância

Atualmente, confrontamo-nos com uma situação de progressiva escassez de alguns recursos como água e energia elétrica, com os quais nossas sociedades se desenvolveram ao longo do tempo e sem os quais seria praticamente impossível a vida cotidiana da maneira como a concebemos hoje. Ao mesmo tempo em que esses recursos nos são cada vez mais preciosos, assistimos a um aumento assustador em sua demanda, na medida em que crescem em ritmo acelerado as populações em todo o mundo.

A história da evolução do homem após a revolução industrial mostra o quão dependentes são hoje as sociedades humanas em relação às fontes de energia não renováveis. Como estes recursos, principalmente os combustíveis fósseis, têm sua extinção cada vez mais próxima, resta tentar adaptar as sociedades para uma maior utilização de fontes renováveis de energia e recursos naturais para o seu funcionamento. Não porque esses recursos venham a se extinguir, provavelmente nunca desaparecerão por completo. O que ocorrerá, de acordo com as leis de mercado da economia moderna, é que eles tendem a ser cada vez mais valiosos, inviabilizando seu uso em larga escala. Mas, mesmo as fontes renováveis de recursos exigem prudência em sua utilização, pois podem se deteriorar através do tempo com o mau uso, o que também as tornaria cada vez mais valiosas e menos acessíveis à maioria da população. Assim, o quadro que se desenha para o século que inicia é de que, nos próximos anos, a civilização humana terá obrigatoriamente que aprender a utilizar os recursos naturais de maneira inteligente, sob pena de vê-los se tornarem tão preciosos que não poderá mais utilizá-los como hoje.

Durante a segunda metade do século XX, na medida em que o desenvolvimento industrial atingia seu ápice, surgiram em vários locais ao redor do mundo discussões sobre as possibilidades de uma utilização mais parcimoniosa desses recursos naturais e energéticos. Tais discussões encontraram rebatimentos em vários campos do conhecimento e foram tratadas a partir de diferentes pontos de vista. A idéia de uma utilização racional desses recursos chegou ao processo de elaboração das edificações e se tornou uma preocupação para os arquitetos e engenheiros que passaram a buscar, há pelo menos trinta anos e através de novas tecnologias e estratégias construtivas, soluções para aumentar o aproveitamento desses recursos. Na arquitetura, a preocupação ambiental se foca principalmente no uso racional de energia elétrica e água, pois são exatamente nas edificações que esses recursos são em grande parte consumidos.

Apesar da escassez crescente de recursos naturais no Brasil e no mundo, a grande maioria das edificações construídas hoje não apresenta preocupações no sentido de possibilitar sua utilização mais racional, principalmente no caso de energia elétrica e água. Mesmo com toda a discussão sobre esse tema levada a cabo nos últimos anos, não há no Brasil, até o momento, nenhuma perspectiva da construção em larga escala de edificações que apresentem essas características. A racionalização de recursos naturais, por sua vez, deve ser entendida como uma série de medidas para reduzir seu consumo, sem que haja nenhuma perda de comodidade dos usuários. Apesar dos esforços no campo teórico e de algumas experiências práticas isoladas, até hoje, a necessidade de se construir edificações ambientalmente eficientes não foi assimilada de forma generalizada em nossa sociedade. Na maioria dos casos, as preocupações ambientais não estão presentes nas construções porque simplesmente não são consideradas pelos arquitetos responsáveis pela concepção dos projetos durante o processo de elaboração de um edifício. A nossa pressuposição é a de que falta, à grande maioria deles, um maior domínio teórico sobre esse assunto, capaz de fazer com que projetem e construam edificações corretas do ponto de vista ambiental.

A presente dissertação desenvolve uma discussão crítica sobre a relação entre a arquitetura e o meio ambiente com o foco no problema da racionalização de recursos energéticos e água, e propõe algumas estratégias capazes de incorporar os conceitos de eficiência energética no processo de criação arquitetônica, no Brasil. A relevância da proposta repousa, em um primeiro momento, na necessidade de reverter o quadro de aparente indiferença da construção de edificações no Brasil face à escassez progressiva de energia elétrica e água. A discussão com relação a essas preocupações ambientais vem acontecendo em larga escala no mundo inteiro e precisa ser trazida para o país com o cuidado de respeitar suas especificidades sociais, econômicas e culturais. A importação de soluções arquitetônicas dos países mais ricos do mundo não contribuirá para que as preocupações ambientais se insiram na construção civil brasileira de forma ampla. Essa estratégia proporcionará a construção de uns poucos exemplares de arquiteturas ambientalmente eficientes, mas inadequadas para nossa realidade.

As crises no abastecimento de energia elétrica e água que vieram a tona no último decênio serviram para alertar a sociedade brasileira com relação à importância de se buscar soluções para esses problemas. Serviram também para mostrar que essas soluções encontram-se muito mais na redução do consumo desses bens do que no aumento da sua oferta. Cada vez se torna mais difícil para os governantes proporcionar um aumento na oferta de geração de energia elétrica e do fornecimento de água potável na mesma taxa em que cresce a sociedade

de forma geral. É preciso, portanto, fornecer bases para a redução do consumo de recursos, de forma a afastar a perspectiva de colapso no funcionamento das cidades. A redução do consumo de energia elétrica e água passa obrigatoriamente pela reformulação dos conceitos que criam as edificações construídas hoje, onde a maior parte desses recursos é consumida.

1.2. Propostas para o equacionamento da situação-problema

A nossa principal hipótese é a de que a falta de uma fundamentação teórica mais consistente, por parte dos arquitetos, sobre formas de reduzir o uso de energia elétrica e água nas edificações é decorrente do fato de que os poucos recursos técnicos pensados para possibilitar uma racionalização ambiental e energética não são por eles considerados no início do processo de projeto. Com isso, o que se vê nas raras edificações que possuem alguma preocupação ambiental são soluções pontuais, normalmente pensadas em etapas posteriores à elaboração arquitetônica inicial. Desta forma, mesmo as poucas estratégias de redução do consumo de energia elétrica e água utilizadas hoje se mostram desarticuladas em relação ao todo, desvinculadas uma das outras e das demais soluções que fazem parte do projeto de arquitetura. O exemplo mais comum e mais significativo dessa constatação é a forma como são alocados os sistemas de aquecimento solar de água em grande parte dos edifícios atuais, através de um sistema de engenharia adicionado ao objeto arquitetônico como um elemento postiço. Se existe a possibilidade de que um sistema como esse venha a ser utilizado na edificação para reduzir o consumo de energia elétrica, isso deveria ser considerado pelo arquiteto desde o princípio do processo de projeto, para que essa solução técnica pudesse ser introduzida de forma mais coerente na edificação. Nesse caso, a coerência deve ser entendida do ponto de vista arquitetônico e não da eficiência energética em si, pela possibilidade de que um elemento dessa natureza seja introduzido no objeto arquitetônico de forma que não comprometa seus aspectos essenciais, seus valores formais, técnicos e funcionais. Para que isso seja possível, é necessário que o arquiteto conheça minimamente o funcionamento do sistema de aquecimento solar de água, no caso do exemplo dado, para que possa operar de forma mais consistente seu aditamento ao edifício do início ao final do projeto.

Se as edificações precisam ser mais eficientes na utilização de recursos e uma vez que, cabe ao arquiteto o controle do processo de elaboração de uma edificação no momento inicial, cabe também a ele o conhecimento sobre os recursos que podem torná-la mais eficiente na utilização de energia elétrica e água, quer sejam obtidos através de elementos da própria arquitetura ou através de sistemas de engenharia. O domínio dessas estratégias de

racionalização do uso de recursos naturais nas edificações é crucial para o arquiteto nas fases iniciais do projeto, quando as soluções podem ser alteradas com maior facilidade dentro da proposta. A incorporação dessas preocupações já no início do processo de elaboração arquitetônica contribui para que possam estar presentes no objeto construído, cumprindo seu dever primeiro de reduzir o consumo de bens naturais, mas sem, contudo, comprometer sua qualidade arquitetônica. Mais do que isso, torna a eficiência ambiental um mérito também da arquitetura e não somente da engenharia, na medida em que essa preocupação se faz presente desde os momentos em que a edificação começa a ser concebida. Nos próximos anos, a presença de preocupações ambientais em um edifício pode passar a ser um importante indicador de valor arquitetônico.

O conhecimento por parte do arquiteto a esse respeito contribui também para a materialização de preocupações ambientais no projeto durante suas etapas mais desenvolvidas. Isso porque o arquiteto normalmente é o responsável pela compatibilização dos projetos técnicos nas fases mais avançadas da concepção do edifício e o domínio de ferramentas de racionalização energética e ambiental contribui para decisões de projeto arquitetônico que conciliam todos projetos em torno de objetivos comuns.

Contudo, quando a realidade social e econômica do país é considerada, torna-se clara a necessidade de recursos de projeto adequados a esse contexto. Nos últimos anos, vários edifícios foram construídos nos países desenvolvidos, trazendo uma série de preocupações na utilização mínima de energia elétrica e água, mas adequados à realidade econômica daqueles países. No Brasil, a construção em maior escala de arquiteturas eficientes no consumo de energia e água deve passar também pela eficiência econômica, sob pena de reduzir todos os esforços a experimentos isolados. A necessidade de soluções de projeto que consigam atender às demandas colocadas pela escassez de recursos naturais e energéticos e, ao mesmo tempo, serem economicamente viáveis corrobora com as justificativas já colocadas para uma discussão que objetive uma instrumentação teórica e técnica para o arquiteto nesse campo. O conhecimento de fundamentos científicos pode ajudar na elaboração de edificações ambientalmente eficientes que sejam também aplicáveis à realidade brasileira.

Alguns trabalhos recentes, realizados no campo teórico, têm se debruçado sobre essa questão, chamada em vários casos de “eficiência energética” na arquitetura. Como se pretende abordar não só as questões relativas ao consumo de energia elétrica na utilização da edificação, mas também questões relacionadas ao consumo de água, além de outros aspectos ambientais anteriores e posteriores ao uso da edificação, será adotado neste estudo o termo “eficiência ambiental”, de forma a englobar os aspectos citados. Assim, toda vez em que esse termo –

eficiência ambiental – for usado, significará uma utilização racional ou mínima de energia elétrica e água numa determinada edificação, não só durante sua utilização, mas também na sua construção e após sua vida útil.

1.3 . Definição da metodologia

O cerne desta dissertação é o estabelecimento de um roteiro metodológico para a elaboração de projetos de arquitetura com eficiência ambiental, constituído de uma série de fundamentos a serem considerados pelo arquiteto na elaboração projetual. Assim, pretende-se fornecer bases para uma elaboração arquitetônica que considere - desde suas fases iniciais até suas etapas mais avançadas -questões que irão possibilitar a racionalização de energia elétrica e água na edificação. Como a racionalização está entendida como uma diminuição do consumo sem perda de comodidade, a edificação a ser projetada a partir desse roteiro deverá ser mais eficiente, consumindo menos recursos e proporcionando as mesmas condições de uma edificação comum.

Assim sendo, foram estabelecidos os seguintes passos metodológicos:

I - Elaborar uma revisão da literatura pertinente, objetivando sistematizar e discutir os conceitos e princípios elementares de outras áreas do conhecimento fora da arquitetura, e que fundamentam estratégias de projetos que contribuem para a construção de edificações mais eficientes ambientalmente. Essa discussão poderia oferecer uma alternativa aos manuais de arquitetura bioclimática que vêm sendo largamente divulgados nos últimos anos, mas que em grande parte se atêm à utilização de soluções prontas para a constituição de um projeto ambientalmente eficiente. Dessa forma, o trabalho com base na introdução de preocupações ambientais na construção, baseada em princípios científicos tem maior chance de se fundir às demandas normais do projeto do que se fossem consideradas isoladamente como um conjunto de soluções já formalizadas

II - Com base na discussão conceitual, elaborar um conjunto de ferramentas de projeto mais consistentes do que a mero fornecimento de soluções prontas baseadas nesses princípios. As estratégias definidas apenas em nível conceitual são capazes de instigar a criatividade do arquiteto para que as preocupações ambientais estejam presentes no projeto, mas formalizadas dentro da lógica do projeto, sem diminuir suas qualidades.

III - Testar essas ferramentas no processo de projeto. Para a realização dos testes optou-se por oferecer uma Disciplina Optativa de Projeto, na qual os estudantes deveriam elaborar projetos com eficiência ambiental.

IV - Criticar os resultados e o roteiro preliminar. Verificar se as estratégias de projeto baseadas em conceitos elementares e voltadas para a criação de uma edificação dotada de eficiência ambiental, permitem um maior domínio desses objetivos por parte do arquiteto durante todo o processo. Verificar, também, se a disposição de estratégias de projeto baseada em princípios científicos e ordenadas a partir da consideração das demandas que são próprias do projeto de arquitetura, permite que as preocupações ambientais estejam presentes em um maior número de edificações desde a raiz de sua elaboração arquitetônica.

V. A partir das conclusões dessa crítica, elaborar os "Fundamentos e estratégias para a elaboração de projetos ambientalmente eficientes"

VI. Fazer a redação final da Dissertação.

As questões relativas à fabricação de materiais de construção, seu transporte até a obra, o processo de construção em si e ainda os processos de demolição e desmonte são abordados na pesquisa como intervenientes no processo de projeto. As questões levantadas com relação à eficiência ambiental nos projetos complementares foram avaliadas com o objetivo de trazer informações importantes para o projeto de arquitetura. A fixação do projeto de arquitetura como limite claro da pesquisa tem por objetivo não torná-la demasiadamente extensa e principalmente dar-lhe consistência. nesse sentido, foi ofertada uma disciplina optativa de projeto no curso de graduação de arquitetura e urbanismo da UFMG, que constituiu o marco inicial da pesquisa.

1.4 . Desenvolvimento da dissertação

O Capítulo 2 e o Capítulo 3 trazem, respectivamente, uma revisão histórica sobre a relação entre a arquitetura e o meio ambiente e uma leitura do estado da arte da eficiência ambiental nas edificações através de sistemas e conhecimentos das engenharias. Esses aspectos, têm por objetivo uma contextualização maior do problema do consumo de energia elétrica e água nas edificações, de forma a dar maior consistência às propostas inseridas no núcleo da pesquisa. Por isso essa revisão do tema da eficiência ambiental nas edificações se dá tanto na perspectiva crítica da história da arquitetura como na perspectiva técnica e científica da engenharia da construção.

O Capítulo 4 se constitui nos fundamentos e estratégias que balizam o processo de projeto, a saber: considerações do lugar, considerações de uso, considerações técnicas e construtivas e considerações da forma.

O Capítulo 5 descreve o Estudo de Caso, isto é, o teste realizado numa disciplina de projeto na qual os alunos foram induzidos a elaborar um projeto para um edifício vertical de caráter comercial, levando em conta a preocupação com a eficiência ambiental.

O Capítulo 6 traz as conclusões da Dissertação.

2 . Arquitetura e Meio-Ambiente: Revisão Histórica

Às vezes, a reflexão sobre o passado mostra-se necessária, não simplesmente para criar conjecturas sobre o que foi, mas para ajudar a construir o que está por vir. Na utilização do passado como fonte para a reflexão sobre o futuro, reside a maior importância da história, entendida como conhecimento prospectivo e não meramente retrospectivo. E é nesse sentido, que se propõe uma breve revisão histórica da relação entre a Arquitetura e o ambiente físico em que se insere a fim de encontrar princípios que nortearão a elaboração de estratégias de projeto e que serão enunciados mais adiante.

Esta revisão será colocada de maneira bastante pontual e objetiva uma vez que a construção de uma reflexão historiográfica não é o propósito desse estudo, como já foi descrito na apresentação da pesquisa. Seu foco estará direcionado sobre a relação entre as edificações e os locais em que se inserem, mais especificamente em relação ao meio ambiente e os recursos naturais. Interessa olhar sobre as formas como foram resolvidas ao longo do tempo questões que fizeram com que as edificações tivessem ou não uma boa relação com o meio ambiente. Rever essas estratégias na história pode ser útil no presente para a elaboração de projetos arquitetônicos capazes de fazer um uso mais adequado dos recursos naturais e energéticos, estabelecendo ligações entre a elaboração arquitetônica de épocas passadas e a de hoje. Cumpre esclarecer que através dessa revisão, tentaremos extrair, não soluções prontas, as quais certamente se mostrariam inadequadas para a realidade de hoje, mas uma leitura dos princípios utilizados e que geraram a seu tempo determinadas soluções conhecidas da história da Arquitetura

Esta análise se dará em dois momentos históricos distintos mas relativamente próximos da realidade atual: a arquitetura moderna da primeira metade do século XX e a arquitetura pós-moderna com enfoque ecológico surgida nas últimas décadas. A escolha desses momentos específicos se deu pela identificação de abordagens distintas no que diz respeito à elaboração arquitetural com relação ao contexto natural, principalmente com relação à adequação ao clima e às condições físicas naturais.

Serão analisados na arquitetura moderna os processos de adaptação sofridos quando da sua difusão para fora do continente europeu, mais especificamente abordando sua chegada ao Brasil. Durante esse período, alguns elementos arquitetônicos são introduzidos como forma de melhorar sua relação com o meio físico dos lugares em que aportava, bastante diferentes das condições climáticas da Europa. Esses novos elementos são introduzidos de forma a não ferir os princípios formais já estabelecidos nos anos anteriores pelos primeiros arquitetos modernistas e surgem na forma de um saber individualizado, através de reflexões e interpretações autônomas, ao contrário do conhecimento coletivo presente na arquitetura vernacular. No entanto essas

repostas modernistas ao problema da adaptação climática tentam recuperar valores presentes na arquitetura primitiva e por isso será analisada também a interpretação feita das tradições construtivas vernaculares pelos arquitetos modernos.

Na segunda parte do capítulo, será discutido o período recente da chamada arquitetura pós-moderna, mais especificamente em sua vertente ambientalista. Nesse passado recente, com a efervescência da idéia de ecologia, as preocupações de cunho ambientalista passam a fazer parte da agenda em vários campos do conhecimento, inclusive na arquitetura. O foco desta análise recairá sobre a chamada arquitetura ecológica, surgida dentro do contexto amplo de críticas aos processos de industrialização massiva empreendidos na primeira metade do século XX e dos quais a arquitetura moderna era sectária.

2.1 . A gênese do *brise-soleil*: A adaptação da arquitetura Moderna ao Brasil

O Brasil já tinha a tradição de realçar a superfície de suas fachadas, tão submetidas à pressão do clima tropical, por meio do tratamento estrutural das superfícies planas. Os arquitetos contemporâneos reelaboraram essa tradição, incluindo em seus projetos painéis externos vazados, cobogós, azulejos utilizados de maneira inovadora, e o *brise-soleil*.

(Siegfried Giedion)

Neste capítulo, propõe-se uma discussão sobre a origem do *brise-soleil* como elemento arquitetônico e através dele, analisar a forma pela qual a consideração ambiental foi assimilada dentro do ideário modernista nos anos trinta do século passado. O enfoque será dado aos aspectos que caracterizaram a adaptação da arquitetura moderna européia a um país tropical como o Brasil durante esse período. Será mostrado como os problemas climáticos foram interpretados por alguns arquitetos modernos, principalmente através de sua leitura particular da arquitetura vernacular, a qual já trazia uma série de soluções sedimentadas para os problemas que eles pretendiam resolver.

Primeiramente cabe avaliar a arquitetura vernacular como um aspecto presente na gênese da cultura humana. As primeiras construções surgem pela necessidade de proteção em relação ao ambiente natural – intempéries, predadores – e para ajudar a solucionar as primeiras questões sociais entre os grupos humanos. A elaboração destas construções não trazia pretensões teóricas ou estéticas. Mas principalmente estas construções expressavam uma relação de respeito em relação ao seu contexto. Nesses primeiros agrupamentos humanos, cada edificação faz parte de um todo coeso. A leitura das condições naturais para integração das edificações com o meio natural, se dá através da tradição cultural, do conhecimento compartilhado. Era através do respeito ao *éthos*, à tradição cultural que eram expressas na arquitetura vernacular outras considerações como o clima, as técnicas construtivas e os materiais disponíveis em uma determinada região. Estes elementos de certa forma são os definidores formais dessas construções através do enraizamento cultural que continham. A posição determinista de considerar, por exemplo, o clima isoladamente como fator definidor da configuração física das construções primitivas mostra-se limitada, pois edificações primitivas em locais diferentes, mas sujeitas a climas semelhantes quase sempre apresentam soluções arquitetônicas diferentes. (Fig. 2.1.1) O mesmo ocorre com a abordagem determinista em relação aos materiais, pois da mesma maneira, construções antigas erguidas em locais diferentes, mas com a disponibilidade de materiais semelhantes respondem com soluções formais diferentes. (Fig. 2.1.2) De fato, não são isoladamente os fatores climáticos, nem as tecnologias construtivas, nem tão pouco os materiais disponíveis que determinam a lógica por trás da elaboração dessas construções, mas sim a tradição cultural transmitida através das gerações, que de certa forma traz todos esses fatores decantados, como mostra Rapoport:

> Todas estas soluções primitivas e vernáculas mostram uma grande variedade de desenhos relacionados com as condições que rodeiam a um grupo de pessoas que vivem em uma área, assim como com as interpretações simbólicas e culturais dessas condições por parte do grupo e sua definição de conforto. Estas casas não são soluções individuais, mas soluções de grupo representativas de uma cultura e sua resposta às características de uma região – seu clima

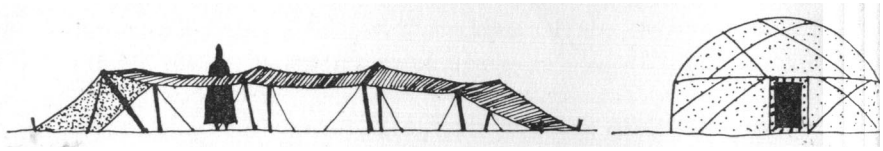


Figura 2.1.1a – Configurações distintas de arquiteturas vernaculares para condições climáticas semelhantes: tenda árabe e yurt mongol, ambos em madeira e tecido, e feitos para locais de clima semi-desértico
Fonte: (RAPOPORT, 1972)

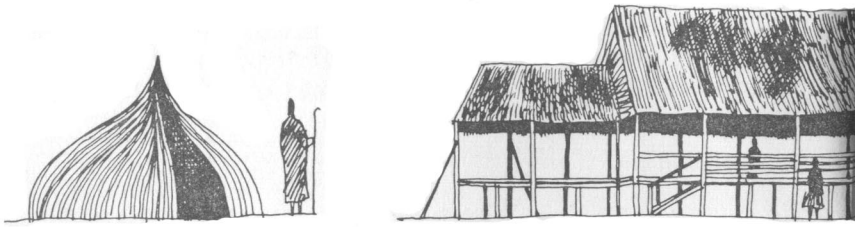


Figura 2.1.1a – Configurações distintas de arquiteturas vernaculares para condições climáticas semelhantes: casa massai africana e casa yagua amazônica, ambas em madeira e palha, e feitas para locais de clima equatorial.
Fonte: (RAPOPORT, 1972)

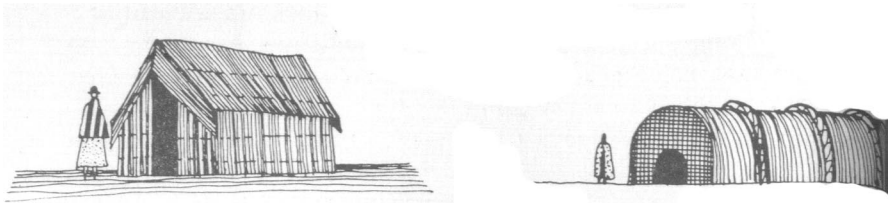


Figura 2.1.2a – Configurações distintas de arquiteturas vernaculares utilizando materiais e sistemas construtivos semelhantes: casa peruana e casa iraniana feitas com o mesmo material (juncos)
Fonte: (RAPOPORT, 1972)

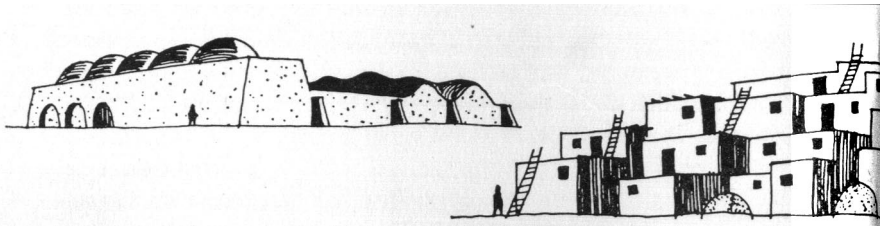


Figura 2.1.2a – Configurações distintas de arquiteturas vernaculares utilizando materiais e sistemas construtivos semelhantes: casa iraniana e publos americanos feitos com o mesmo material (barro)
Fonte: (RAPOPORT, 1972)

> geral, seu micro-clima, seus materiais típicos e sua topografia -. A interação de todos estes fatores explica a semelhança das soluções separadas por milhares de anos e quilômetros e as diferenças entre as soluções, aparentemente, em áreas e condições parecidas. [tradução nossa] [1]

Já alguns outros autores, como Olgyay acreditam na influência direta do clima sobre a construção das edificações primitivas e que "o objetivo principal dos construtores sempre foi a busca de condições ótimas de conforto térmico".[2] A consideração de Rapoport parece no entanto mais abrangente e por isso mesmo mais consistente.

As construções vernaculares são o resultado de uma demonstração de talento para adaptação ao meio. O produto de um conhecimento acumulado através de várias gerações e transmitido de forma direta, não-acadêmica. No caso da Arquitetura, esse conhecimento coletivo era sedimentado através de uma tradição construtiva. Essa tradição gerava um modelo, um vocabulário dentro do qual os indivíduos de uma sociedade podiam construir suas edificações sem correr riscos. As edificações erguidas dentro desses parâmetros compartilhados seriam sólidas; não seriam dispendiosas, pois utilizariam materiais e mão-de-obra locais; estariam bem inseridas no seu contexto edificado e seriam adequadas para as condições climáticas do local. É o que mostra Rapoport:

> O modelo é o resultado da colaboração de muitas pessoas durante muitas gerações, assim, como a colaboração entre os que constroem e os que utilizam os edifícios, que é o que significa o termo 'tradicional'. Como todos conhecem o modelo, não há necessidade de desenhistas. (...) A tradição tem a força de uma lei respeitada por todos com o consenso coletivo. Desse modo, se aceita e se obedece porque o respeito à tradição dá lugar a um controle coletivo que atua como uma disciplina. [tradução nossa] [3]

A elaboração das construções vernaculares não se assenta portanto, sobre um conhecimento individual, centrado na figura de um arquiteto, mas sim no empreendimento coletivo, apoiado na utilização de um modelo repetido através de várias gerações. Essa repetição do vocabulário construtivo através do tempo só é possível quando ele se mostra

---

[1] *Todas estas soluciones primitivas y vernáculas muestran una gran variedad de diseños relacionados con las condiciones que rodean a un grupo de personas que viven en un área, así como con las interpretaciones simbólicas y culturales de esas condiciones por parte del grupo y su definición del confort. Estas viviendas no son soluciones individuales, sino soluciones de grupo representativas de una cultura y su respuesta a las características de un región – su clima general y su micro-clima, sus materiales típicos y su topografía -. La interacción de todos estos factores explica la similitud de las soluciones separadas por miles de años y kilómetros y las diferencias entre soluciones, aparentemente, en áreas y condiciones parecidas.* RAPOPORT (1972: 116).

[2] OLGYAY (2002: 06).

[3] *El modelo es el resultado de la colaboración de muchas personas durante muchas generaciones, así como de la colaboración entre los que construyen y los que utilizan los edificios, que es los que significa el término 'tradicional'. Como todos conocen el modelo, no hay necesidad de diseñadores. (...) La tradición tiene la fuerza de una ley respetada por todos con el consenso colectivo. De este modo se acepta y se obedece porque el respeto a la tradición da lugar a un control colectivo que actúa como disciplina.* RAPOPORT (1972: 16).

adequado sob os mais diversos pontos de vista, inclusive climático. A repetição da construção de um modelo adequado ao lugar e compartilhado por uma comunidade funda uma tradição construtiva. O olhar sobre a tradição construtiva forneceu aos arquitetos modernos mais capacitados, a chave para adaptação de seu vocabulário aos lugares mais quentes.

A arquitetura moderna surge a partir de mudanças significativas ocorridas na sociedade européia ao longo do século XIX que modificaram a história mundial. Nos primeiros anos do século XX, algumas manifestações isoladas já demonstram as possibilidades de uma arquitetura baseada numa linguagem mais pura e geometrizada, comum às vanguardas artísticas desse período. (Fig. 2.1.3) A partir do final da Primeira Grande Guerra, esses movimentos da vanguarda arquitetônica ganham força na Europa e começam a ser erguidas várias edificações dentro da nova linguagem artística modernista que surgia. Ao longo dos anos vinte, enquanto as principais nações européias se reconstruíam, surgem várias oportunidades de aplicação prática daqueles ideais que já estavam sendo colocados teoricamente nos anos anteriores. Essas primeiras construções surgem na Alemanha, França e Holanda e apesar das diferenças culturais, há um vocabulário formal comum que é compartilhado entre elas. (Fig. 2.1.4) Benévolo comenta que, "pela primeira vez depois de mais de um século, as experiências de vanguarda da cultura arquitetônica em toda a Europa movem-se de modo convergente, e não divergente."[4]

Entre os que se destacam nos anos vinte, coloca-se na linha de frente o arquiteto franco-suiço Le Corbusier.[5] Ele, além de publicar vários textos nesse período, consegue realizar alguns projetos importantes, todos dentro de uma linguagem moderna, limpa e geométrica, que viria ser chamada de linguagem da 'era da máquina'. Dentre estas construções, destaca-se a *Villa Savoye*, de 1928, uma síntese do pensamento do arquiteto nessa época [6]. (Fig. 2.1.5) No entanto, após as primeiras experiências edificadas utilizando alguns elementos arquitetônicos modernistas que tentavam explicitar as conquistas permitidas pelo concreto armado, como o 'pano de vidro', Le Corbusier percebe a necessidade de rever sua linguagem, baseado em uma preocupação ambiental. A solução da caixa de vidro adotada em seus primeiros projetos apresentava alguns problemas climáticos, mesmo para a Europa. (Fig. 2.1.6) É o que mostra Baker:

---

[4] BENEVOLO (1989:448).

[5] Nascido Charles-Edouard Jeanneret, em 1887 em La-Chaux-de-Fonds, Suiça. Fixa-se em Paris a partir de 1916. Em 1920 adota para si o pseudônimo 'Le Corbusier'. Em 1930 adquire também a cidadania francesa.

[6] A *Villa Savoye* de certa forma sintetiza principalmente cinco princípios da arquitetura de Le Corbusier ligados aos avanços tecnológicos: a possibilidade de adoção de pilotis, plantas livres, fachadas livres, janelas em fita e terraços-jardim. Eles ficariam conhecidos como 'os cinco pontos para uma nova arquitetura'.



Figura 2.1.3a – Fábrica de turbinas AEG, Berlim, 1908
Arquiteto: Peter Behrens
Fonte: (FRAMPTON, 2000)

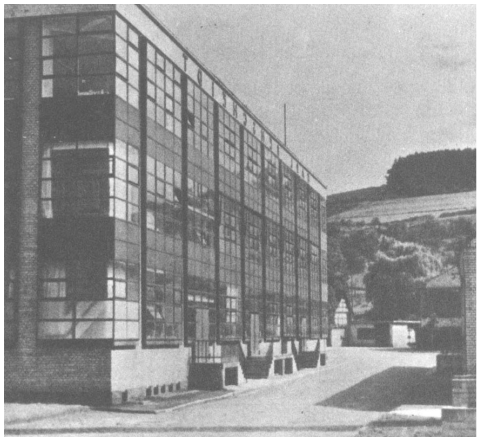


Figura 2.1.3b – Fábrica Fagus, Alfeld, 1911
Arquitetos: Walter Gropius e Adolf Meyer
Fonte: (BENEVOLO, 1989)

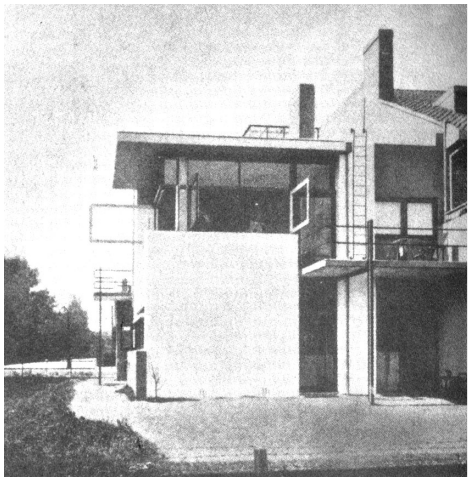


Figura 2.1.4a – Casa Schröder, Utrecht, 1914
Arquiteto: G. Rietveld
Fonte: (BENEVOLO, 1989)

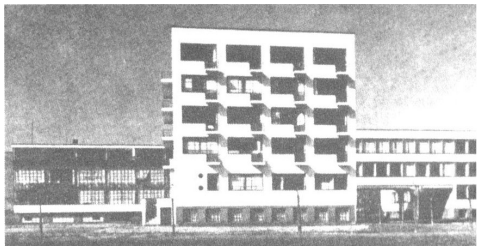


Figura 2.1.4b – Escola Bauhaus, Dessau, 1926
Arquiteto: Walter Gropius
Fonte: (BENEVOLO, 1989)

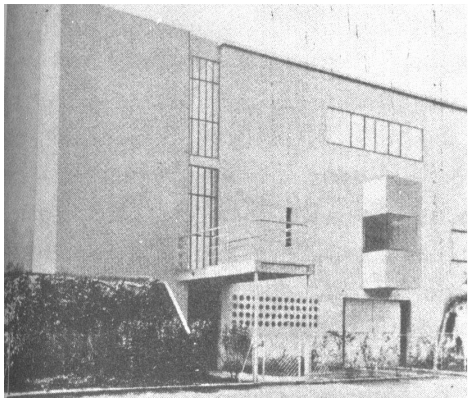


Figura 2.1.4a – Vila Vaucresson, 1922
Arquiteto: Le Corbusier
Fonte: (BENEVOLO, 1989)

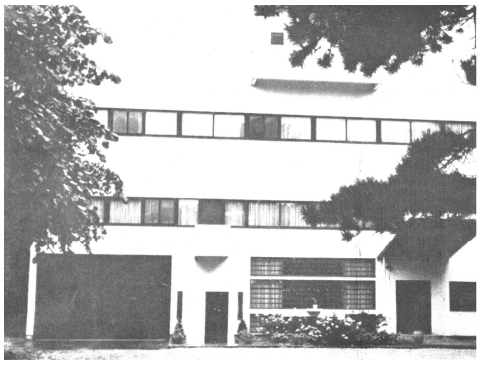


Figura 2.1.4b – Vila Stein, Garches, 1927
Arquiteto: Le Corbusier
Fonte: (BENEVOLO, 1989)

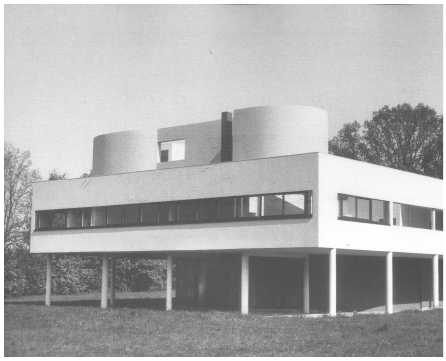


Figura 2.1.5a – Vila Savoye, Poissy, 1928. O projeto é considerado um síntese dos 'cinco pontos'.
Arquiteto: Le Corbusier
Fonte: (CURTIS, 1986)

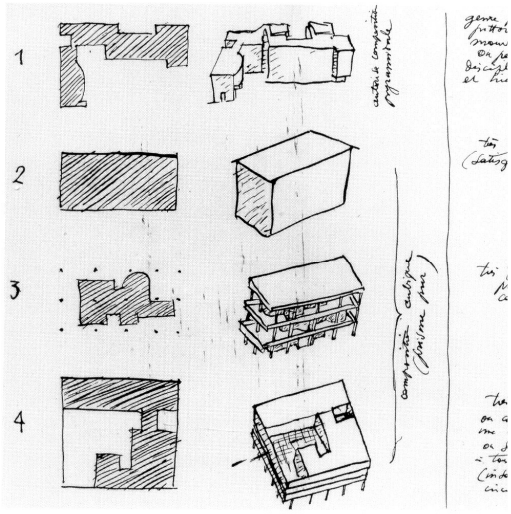


Figura 2.1.5b – Croqui de Le Corbusier que mostra as variações da síntese dos 5 pontos da nova arquitetura: 1 Maison La Roche / Jeanneret; 2 Villa Stein / de Monzie; 3 Villa Baizeau / Le Corbusier;
4 Villa Savoye / Le Corbusier
Fonte: (CURTIS, 1986)

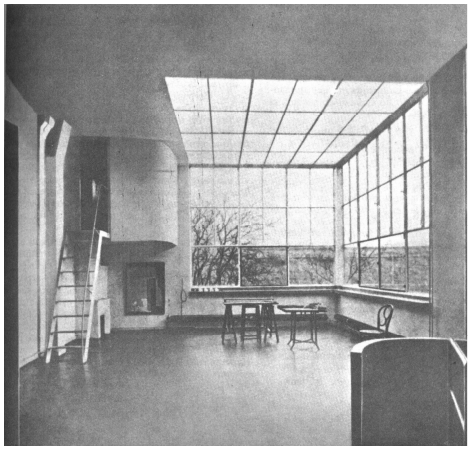


Figura 2.1.6a – Apartamento para o pintor Ozenfant, Paris, 1922, com extensivo uso de vidro.
Arquitetos: Le Corbusier e P. Jeanneret
Fonte: (BENEVOLO, 1989)



Figura 2.1.6b – Prédio na rua Nungesser-et-Coli, Paris, 1933. O apartamento/atelier do arquiteto ficava no último andar e contava com o fechamento frontal em vidro.
Arquiteto: Le Corbusier
Fonte: (CURTIS, 1986)

> A atitude de Le Corbusier com relação à superfície envoltória de seus edifícios mudou quando ele percebeu os problemas provocados na década de vinte pelo emprego de uma membrana fina com grandes áreas envidraçadas. Muitos edifícios, entre eles o seu próprio apartamento, eram excessivamente aquecidos no verão e frios no inverno.[7]

A partir de 1930, dentro de um contexto de crise econômica mundial e crescente tensão política nos países centrais da Europa, decresce a demanda de projetos e o arquiteto entra num período de menor atividade profissional, mas que é no entanto, fértil para a reavaliação de seu vocabulário. Tentando levar a cabo realizações arquitetônicas longe da tensão e da recessão que assolavam a França, ele se dedicaria à leitura e às viagens para outras regiões. Nesse período, em que sua linguagem se modifica significativamente, será levada a diante o que mais tarde seria por ele chamado de *rechèrche patiente* [8].

O primeiro projeto realizado em um contexto diferente daquele que estava habituado em Paris e regiões setentrionais da França surge, no entanto ainda no final dos anos vinte, em Cartago, Tunísia. Em 1928, ao realizar o projeto para a *Villa Baizeau*, ele percebe que não poderia lançar mão do mesmo vocabulário arquitetônico que vinha usando nos projetos para residências nesse período. O clima seco e o sol forte do norte da África tornariam inabitável uma edificação que fosse concebida dessa forma. Ele tenta então, recuar as vedações laterais em relação às lajes e pilares, criando assim condições de protegê-las através de um avarandado perifério. (Fig. 2.1.7) A consideração do contexto ambiental presente nesse projeto não era totalmente nova no pensamento do arquiteto, embora antes estivesse associada à uma outra linguagem formal, como comenta Baker :

> Com a Villa em Cartago, Le Corbusier retoma sua preocupação de juventude com as forças naturais. Os planos horizontais dos pisos estão expostos às brisas refrescantes, sem nenhum envoltório que os contenha. [9]

Apesar das várias alterações que sofreu durante sua elaboração, o projeto da *Villa Baizeau* já continha as "sementes da necessidade de sombreamento que o arquiteto iria depois ampliar para os climas quentes: o telhado protetor e a malha atenuadora solar na fachada ou *brise-soleil*".[10]

---

[7] BAKER (1998:344).

[8] Curtis define essa '*rechérche patiente*' : *Le Corbusier's 'patient search' was a gradual experimentation with well-tried forms. Some levels in his language altered, others remained much the same, and on occasion he even looped back to earlier phases to reconsider old types, devices or elements in quite a different context.* CURTIS (1986: 114).

[9] BAKER (1998: 317).

[10] CURTIS (1986: 76).

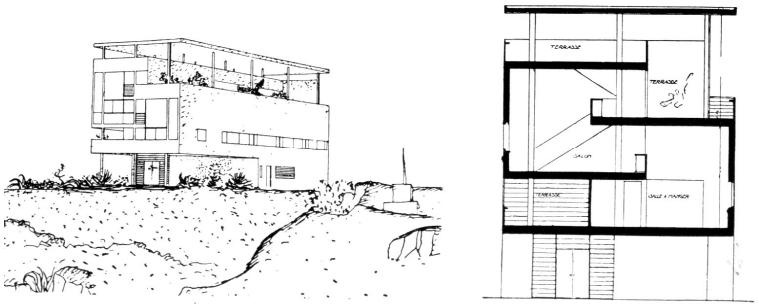


Figura 2.1.7a – Vila Baizeou, Cartago, 1928: primeira versão do projeto com um teto sombreador.
Arquiteto: Le Corbusier
Fonte: (CORBUSIER,1995 vol.4)

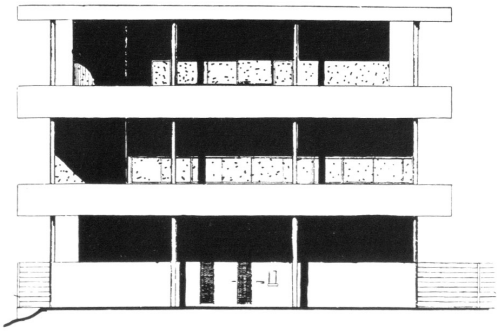


Figura 2.1.7b – Vila Baizeou, Cartago, 1928: segunda versão do projeto com as vedações recuadas
Arquiteto: Le Corbusier
Fonte: (CORBUSIER,1995 vol.4)

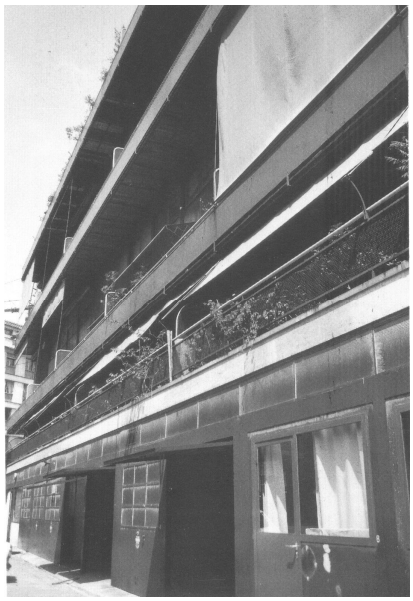


Figura 2.1.8 – Maison Clarté, Genebra, 1930
Arquiteto: Le Corbusier
Fonte: (CURTIS, 1986)

Em 1930, novamente surge a preocupação com o excesso de radiação solar nas fachadas envidraçadas. Novamente essa preocupação aparece incorporada desde a concepção do projeto, no condomínio *Clarté* em Genebra. Nesse projeto, para diminuir a incidência direta de sol nas fachadas durante o verão, as varandas se prolongam cerca de um metro e meio, funcionando como anteparos horizontais. Além disso, o arquiteto cria os *volets roulants*[11], lonas de enrolar que ajudavam a complementar a proteção solar nos períodos mais críticos. (Fig. 2.1.8)

Depois de 1930, quando os projetos diminuem, Le Corbusier realiza várias viagens pelas regiões mediterrâneas, na Europa e no Norte da África. É quando toma contanto de fato com a cultura e com a arquitetura desses locais. Suas preocupações ambientais, já manifestadas no projeto de Cartago encontram respostas edificadas, como mostra Curtis:

> A partir das suas viagens e das suas anotações entendeu-se que Le Corbusier estava ficando fascinado pelas formas vernaculares no Norte da África, Espanha e Grécia. Em 1931 ele visitou o Marrocos e a Argélia, particularmente o Mzab. Ele foi cativado pela harmonia entre as pessoas, as edificações e a paisagem, assim como pela ingenuidade do vernáculo ao lidar com os materiais e com o clima quente. [tradução nossa] [12]

Em suas várias viagens pelo mundo, Le Corbusier aprendera a observar com cuidado a arquitetura vernacular em sua harmonia com o meio. Já em 1911, ele empreendera uma série de viagens pelo Mediterrâneo, visitando lugares como a Grécia e a Turquia, quando a arquitetura vernacular lhe chama a atenção, como mostra Harris:

> (...) Maravilhou-se diante da Acrópole e das mesquitas turcas, mas, surpeendetemente, foi a simplicidade das construções nativas que o tocou mais fundo, 'A casa turca de madeira, o *konak*, é uma obra prima da arquitetura'.
> Essa arquitetura vernacular abria uma perspectiva inédita graças ao uso sensato de materiais locais e às cores vivas que adotava. [13]

E é, sem dúvida durante esse período, nos primeiros anos da década de 30, e através do contato estreito com um contexto cultural do norte da África, que surge a possibilidade de assimilação de certos princípios da cultura vernacular como forma de resolver o problema que se colocava para sua linguagem arquitetônica modernista-purista em relação aos lugares quentes. Le corbusier precisava encontrar soluções para possibilitar uma maior proteção contra a insolação direta em seus projetos e a resposta surge a partir da sua leitura da arquitetura vernacular da

---

[11] Algo como 'obturadores rolantes'.

[12] *From his travel sketches and writings one realizes that Le Corbusier was becoming fascinated by folk forms in North Africa, Spain and Greece. In 1931 he visited Morocco and Algeria, particularly the Mzab. Here he was captivated by the harmony between people, buildings and the landscape, as well as by the ingenuity of the vernacular in dealing with the materials and the hot climate.* CURTIS (1986: 115).

[13] HARRIS (1987:16).

África mediterrânea. O texto que o próprio Le Corbusier escreve anos mais tarde, entitulado '*Problème de l'ensoleillement - Le brise-soleil*'[14], publicado na sua *Oeuvre Complète*[15], fornece algumas pistas de como se deu essa 'mistura de princípios vernaculares' à sua linguagem purista, além de mostrar a cronologia das primeiras experiências. Segundo o arquiteto, em Barcelona, cidade exposta ao sol mediterrâneo, mais rigoroso que nas demais partes da Europa, no ano de 1933, é que surge pela primeira vez a idéia de um atenuador solar móvel, externo á construção. Ele explica a introdução desse elemento no projeto e confirma sua inclusão imediata no seu repertório formal.[16] (Fig. 2.1.9)

No mesmo ano, no projeto do edifício para alugar *Ponsich*, em Argel, capital da Argélia, surge novamente a idéia de se usar o *brise-soleil* para proteger as fachadas sul e oeste. Nesse caso os brises são formados nas duas fachadas por uma grelha ortogonal de 80cm de profundidade e 70cm de largura. (Fig. 2.1.10) Posteriormente, o próprio arquiteto escreve que talvez devesse ter acrescentado na fachada oeste, aletas verticais móveis, inseridas dentro da grelha de concreto. De qualqer forma esse edifício torna-se famoso em todo o mundo, apesar de não ter sido construído, devido ao uso do *brise-soleil* ao mesmo tempo como elemento atenuador da radiação solar e elemento de composição plástica das fachadas totalmente integrado á linguagem Modernista. Esse projeto também mostrava um exemplo prático da tentativa de assimilação de mecanismos vernaculares de proteção solar da arquitetura árabe do norte da África à linguagem moderna empreendida por Le Corbusier. É o que atesta Curtis :

> Outro resultado do cruzamento de soluções internacionais e regionais, de tecnologia moderna e sabedoria rural, foi o *brise-soleil* ou quebra-sol. (...) A busca por um elemento viável de proteção solar foi acelerado pelas repetidas viagens do arquiteto ao Norte da África. O edifício de apartamentos não construído *Ponsich*, de 1933 na Argélia, mostrou como um prédio alto poderia combinar fachadas de vidro com uma colméia de venezianas protetoras. Ao fazer esta inovação Le Corbusier foi cuidadoso ao preservar a integridade do seu vocabulário de moldura, e ao mesmo tempo encontrar um equivalente moderno das peles de madeira 'muxarabis' das

---

[14] Traduzindo: 'Problema da insolação: o *brise-soleil*'.

[15] BOESIGER (1995: 103).

[16] *Ibid.*, p. 104: "*A cette epóque, à Barcelone, nous avions à dessiner de grand lotissements affectés à une main-d'ouevre de fortune venue des campagnes : il s'agissait de paysans n'ayant eu aucun contact encore avec la vie citadine. Le problème du soleir est impératif et s'etend sur de long mois. Le logis fut aménagé pour assurer la fraîcheur dans las appartements et, sans que rien fût prémédité, les maisons furent munies de dispositifs qui devaient représenter plus tard des éléments de doctrine : en a, une profonde loggia – en b, des lamelles de betón formant jalousies et pivotant horizontalement – en c, la maison est surélevée sur un vide où l'ombre règne.*" (a,b e c referenciam-se a um croqui esquemático que acompanha o texto original).

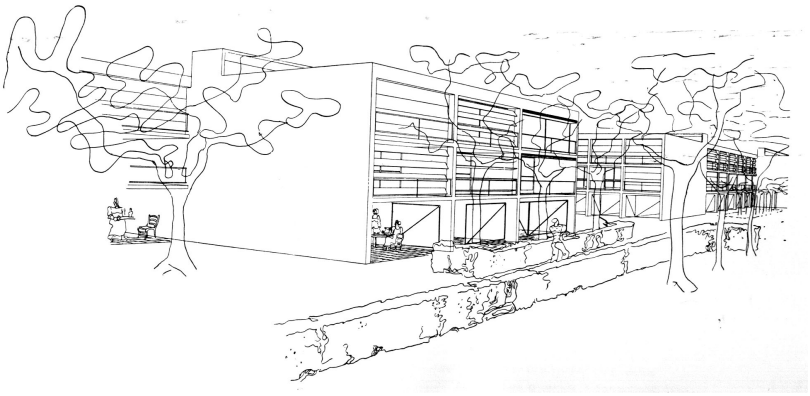


Figura 2.1.9a – Conjunto de habitações, Barcelona, 1933.
Nesse projeto o arquiteto faz uso do *brise* horizontal móvel
Arquiteto: Le Corbusier
Fonte: (BOESEIGER, 1995)

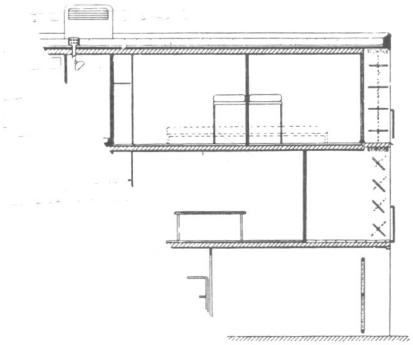


Figura 2.1.9b – Conjunto de habitações
Barcelona, 1933.
Corte mostrando os *brises*
horizontais móveis
Arquiteto: Le Corbusier
Fonte: (BOESEIGER, 1995)

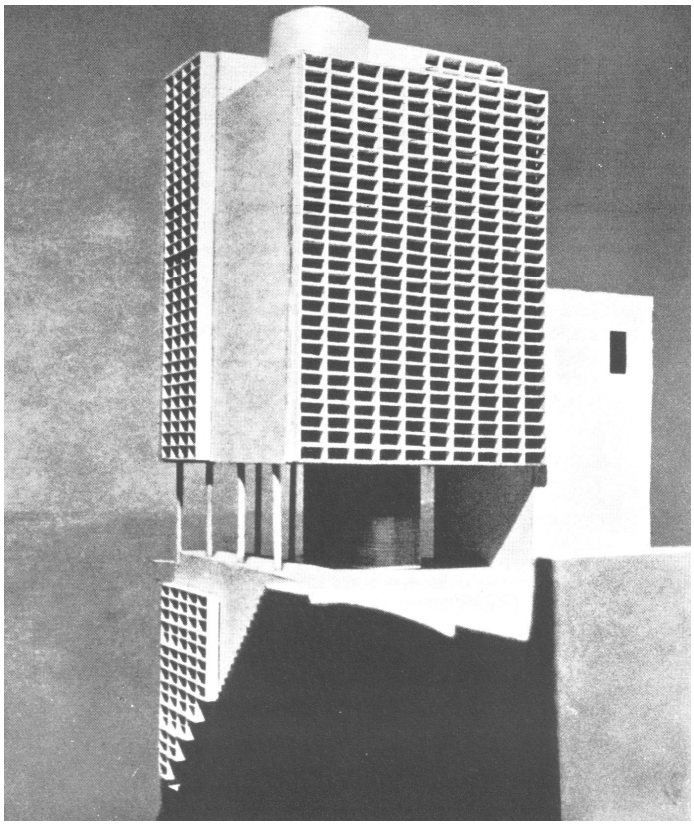


Figura 2.1.10 – Edifício para alugar em Argel, Argélia, 1933.
Arquiteto: Le Corbusier
Fonte: (BOESEIGER, 1995)

construções árabes ou as venezianas de tijolos 'claustras' que havia visto no Marrocos. [tradução nossa] [17]

A solução do *brise-soleil* havia então sido dada pelo arquiteto franco-suíço: uma malha composta de lâminas horizontais e/ou verticais solta da fachada funcionaria como um atenuador solar de forma a permitir maiores aberturas em locais onde a radiação solar fosse indesejável. A partir de então, outros exemplos surgiriam utilizando esse recurso arquitetônico e tentando dar-lhe novas feições. No entanto, o próprio Le Corbusier tão cedo não conseguiria por em prática essa solução. Não em um projeto seu.

Três anos mais tarde, em 1936 o arquiteto seria chamado, a convite de Lúcio Costa, para ser o consultor da equipe que já desenvolvia o projeto para o edifício do Ministério da Educação e Saúde Pública (MESP) na capital federal do Brasil, a cidade do Rio de Janeiro. Le Corbusier que já estivera no país em 1929 para algumas palestras, viu nesse convite a possibilidade de colocar em prática algumas dessas idéias que vinham sendo desenvolvidas em estudos não construídos ao longo dos últimos anos.

Muita confusão foi feita em relação ao real papel do arquiteto europeu no processo de elaboração desse projeto, principalmente pelo próprio Le Corbusier.[18] Muito já se publicou a respeito do processo de desenvolvimento do projeto, das várias propostas, da contribuição do mestre franco-suíço e da escolha do partido a ser adotado, sendo que o texto "Solução Definitiva", assinado pela equipe de projeto em 1938 esclarece quaisquer dúvidas a respeito do processo de elaboração do projeto.[19] Hoje parece claro que apesar do seu papel ter sido realmente de o de consultor, sua contribuição foi fundamental para que a equipe brasileira conseguisse chegar ao anteprojeto definitivo. De fato a arquitetura moderna brasileira deve muito à Le Corbusier, como atesta Mindlin:

> Antes de examinar mais de perto as características da arquitetura brasileira dos dias de hoje, convém assinalar dois fatores que contribuíram decisivamente para a sua formação. O primeiro foi a pesquisa sobre os problemas da insolação. (...).
> O segundo fator foi o desenvolvimento de uma técnica avançada de uso do concreto armado, que resultou não só em estruturas mais leves e elegantes, mas também em uma economia significativa, em comparação com o custo da construção em outros países. (...) Esses dois fatores

---

[17] CURTIS (1986:116): "*Another result of the crossbreeding of internationalist and regional solutions, of modern technique and rural wisdom, was the brise-soleil or sun-breaker. (…) The search for a viable sun-shading element was accelerated by the architect's repeated trips to North Africa. The unbuilt Ponsich apartments of 1933 for Algeria showed how a tall building could combine glass façades and a honeycomb of protective louvers. In making this innovation Le Corbusier was careful to preserve the integrity of his frame vocabulary, while reaching out for a modern equivalent to the wooden screen 'mashrabyas' of Arab buildings or the brick louvered 'claustras' he had seen in Morocco.*"

[18] Sobre a confusão em torno da paternidade do projeto, ver BRUAND (2002: 85).

[19] Sobre o processo de elaboração do MESP, seus vários estudos até o anteprojeto que seria desenvolvido e executado, é fundamental o texto "Solução Definitiva", assinado pela equipe de projeto. Ver: BONDUKI (1999:55).

> estão associados diretamente às duas características mais salientes da arquitetura moderna no Brasil: o emprego de grandes superfícies de vidro, protegidas quando necessário, por *brise-soleil*, e o uso de estruturas livres, apoiadas sobre *pilotis*, com o térreo aberto quando possível. Essas duas características mostram também a marcante influência de Le Corbusier. [20]

A equipe brasileira, além de Lúcio Costa, era composta por outros cinco jovens e promissores arquitetos com idades variando entre 24 e 32 anos, oriundos da Escola Nacional de Belas Artes, reunidos em torno de seu antigo diretor: Affonso Reidy, Jorge Moreira, Ernani Vasconcellos, Carlos Leão e Oscar Niemeyer.[21] Apesar de Le Corbusier afirmar que os arquitetos brasileiros não conheciam o *brise-soleil*[22], a primeira das quatro versões do projeto do MESP, já continha esse elemento. Foi exatamente essa primeira versão do projeto que motivou a vinda de Le Corbusier ao Brasil, pois o ministro Capanema não ficara totalmente satisfeito com o estudo. Mas ele concordara que, já que o projeto havia sido concebido a maneira Moderna catequizada principalmente por Le Corbusier, nada melhor do que chamar o próprio arquiteto para opinar sobre projeto [23]. (Fig. 2.1.11) Mas antes mesmo de sua chegada, os jovens arquitetos brasileiros já haviam incorporado o *brise-soleil*. Sua utilização teria sido inclusive alvo de críticas do mestre franco-suíço, como nos afirma Harris:

> Os membros da equipe conheciam bem o plano de Le Corbusier para a Maison Locative argelina (1933); no entanto, transferiram as proporções dos quebra-sóis incorretamente. O plano previa para cada pavimento sete palhetas móveis externas às janelas, que Le Corbusier considerou pouco espaçadas, anotando no alto da folha: "muito fechadas". [24]

O prédio do MESP, cuja construção só terminaria em 1943, utiliza como base o quarto estudo elaborado pela equipe, já depois da partida de Le Corbusier. A versão definitiva do projeto faz uso dos *brise-soleils* fixos verticais e móveis horizontais na fachada voltada para norte. Àquela altura, em 1937 durante a elaboração do projeto definitivo, a equipe de arquitetos pode contar com duas experiências anteriores da utilização desse elemento como ponto de partida: o prédio da ABI, dos irmãos Roberto e o projeto que Oscar Niemeyer havia feito na lagoa Rodrigo de Freitas,

---

[20] MINDLIN (1999: 33).

[21] Sobre o episódio do concurso para o MESP, a formação da equipe do projeto e a decisão de chamar o arquiteto Le Corbusier como consultor, ver BRUAND (2002: 81).

[22] Le Corbusier faz esta afirmação categoricamente, com sua habitual eloqüência: "*Le palais pouvait s' étaler devant le site majestueux, ouvrant son pan de verre entier sur ce spectacle inestimable. Mes confrères brésiliens s'écrièrent : 'Vous ne pouvez pas orienter votre façade ainsi, à Rio de Janeiro !' 'Et pourquoi ?' 'A cause du soleil !' Et de m'expliquer ses terribles ardeurs. Je riposte : 'Ne vous en faites pas, nous installerons devant le pan de verre un brise-soleil.' Et je dessine sur la feuille de plan, objet de la discussion, nos anciennes propositions pour Bracelone et pour Alger*". LE CORBUSIER Apud: BOESIGER (1995 : 104).

[23] Essa foi a primeira de quatro versões que surgiram para o projeto. Após a chegada de Le Corbusier e da assimilação das críticas que lhe foram feitas, todo o grupo passou a se referir jocosamente a esse projeto como 'múmia'. BONDUKI (1999).

[24] HARRIS (1987: 74).

também no Rio de Janeiro, a Obra do Berço.[25] Nesse projeto o jovem discípulo de Lúcio Costa havia mandado instalar, às suas custas, um sistema de *brise-soleil* verticais móveis em substituição a outros fixos, que não ofereciam uma proteção solar satisfatória. (Fig. 2.1.12) A utilização do *brise-soleil* no MESP já contava, portanto com experiências anteriores nesse sentido.

O prédio do MESP é emblemático para a arquitetura moderna brasileira e mundial, mesmo apesar das experiências arquitetônicas erigidas antes dele, por vários motivos: pelo número de arquitetos de grande envergadura envolvidos, inclusive o maior nome da arquitetura moderna até então, Le Corbusier; pela escala do edifício; pela relação com o denso contexto urbano que propõe ao gerar vazios através de duas praças ligadas pelo *pilotis* do bloco principal; pelo esforço descomunal empreendido pelo governo federal na sua construção; pela tentativa de afirmação da identidade nacional brasileira no cenário mundial através de sua construção; pela tentativa de fusão entre a tradição construtiva local e a linguagem universal modernista; pelo primeiro uso do *pan-de-vèrre* e dos *brise-soleil* móveis em um edifício de grande escala. Esse elemento, o *brise-soleil*, adquiriria em especial enorme importância na criação de uma linguagem própria da arquitetura moderna brasileira. Como todo o país é atingido pela forte radiação solar tropical, não é possível desconsiderar nessas construções algum tipo de proteção solar em grandes aberturas. É por isso que pode-se afirmar que a arquitetura moderna brasileira já nasce com 'seis pontos' em lugar dos famosos 'cinco pontos' propostos por Le Corbusier nos anos vinte. Isto porque a partir daí, o *brise-soleil* será tão utilizado pela arquitetura moderna brasileira quanto o *pilotis,* a janela em fita, a planta livre, o teto-jardim e o pano de vidro. O MESP sintetiza através de um auspicioso projeto, estes seis 'pontos' da arquitetura moderna do Brasil. (Fig. 2.1.13)

Bruand confirma tal idéia, ao definir o *brise-soleil*:

> Composto em geral por lâminas paralelas, fixas ou móveis, capazes de se prestar a composições tão engenhosas quanto variáveis, estes elementos, concebidos originalmente com finalidade puramente prática, transformaram-se num meio de expressão plástica que marcaram profundamente a arquitetura brasileira contemporânea.[26]

A partir do MESP, a arquitetura moderna brasileira passaria a adotar o *brise-soleil* e outras formas de proteção solar como os cobogós, como elementos imprescindíveis aos projetos. Seu uso em profusão daria margem para diversas especulações formais, sendo que, apenas alguns anos depois de sua introdução, já havia vários exemplos de prédios no país que

---

[25] Também o texto "Solução Definitiva" mostra isso claramente. *Cf.* BONDUKI (1999: 55).
[26] BRUAND (2002: 12).

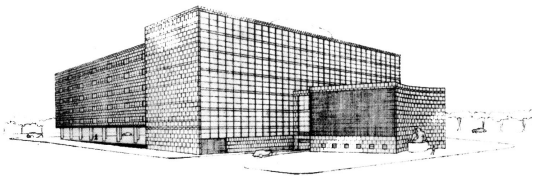


Figura 2.1.11a – Primeiro estudo para o MESP, perspectiva.
Arquitetos: Equipe liderada por Lúcio Costa
Fonte: (BONDUKI, 1999)

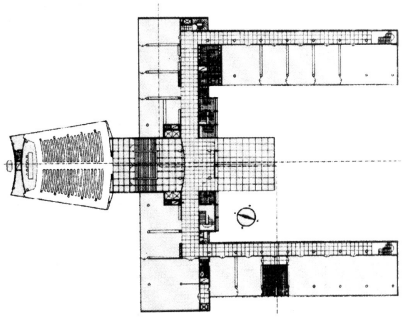


Figura 2.1.11b – Primeiro estudo para o MESP, planta
Arquitetos: Equipe liderada por Lúcio Costa
Fonte: (BONDUKI, 1999)

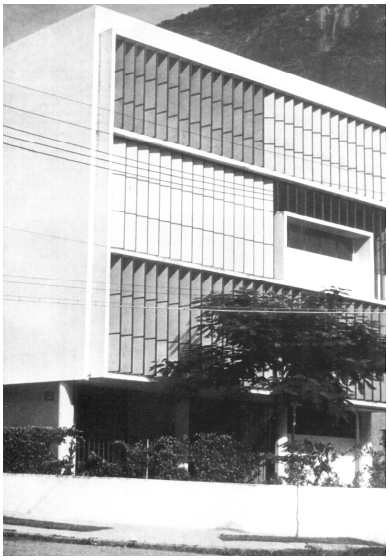


Figura 2.1.12 – Obra do berço, Rio de Janeiro.
Arquitetos: Oscar Niemeyer
Fonte: (CAVALCANTI, 2001)



Figura 2.1.13 – MESP, hoje Palácio Gustavo Capanema
Arquitetos: Equipe liderada por Lúcio Costa
Fonte: (BONDUKI, 1999)

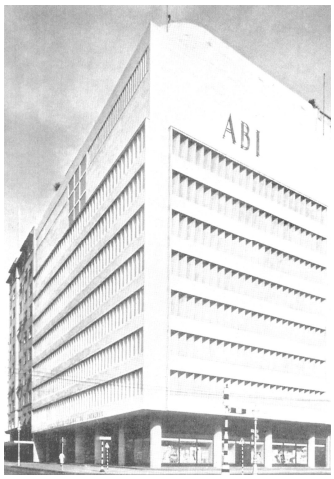


Figura 2.1.14a – ABI, Rio de Janeiro.
Arquitetos: Marcelo e Milton Roberto
Fonte: (CAVALCANTI, 2001)

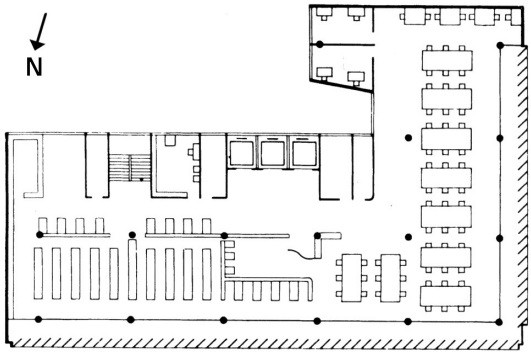


Figura 2.1.14b – ABI, Rio de Janeiro, planta.
Arquitetos: Marcelo e Milton Roberto
Fonte: (CAVALCANTI, 2001)

utilizavam esses recursos das mais diferentes maneiras. Essa variedade de exemplos de proteção solar dentro de uma nova linguagem da arquitetura moderna não tardaria a chamar a atenção dos países setentrionais e, em 1942, motivaria a visita de uma equipe americana, chefiada pelo diretor do MoMA de Nova York, Philip Goodwin. Tal visita acabaria por culminar com a exposição *Brazil Builds* que mostrou ao mundo vários exemplos da arquitetura moderna brasileira. De fato, como mostra Goodwin no livro originado da exposição, a utilização do *brise-soleil* teria sido motivada da sua vinda ao Brasil e da organização da exposição [27]:

> Embora os primeiros ímpetos modernos tenham chegado por importação, bem logo o Brasil achou um caminho próprio. A sua grande contribuição para a arquitetura nova está nas inovações destinadas a evitar o calor e os reflexos luminosos em superfícies de vidro, por meio de quebra-luzes externos, especiais. Para a América do Norte isso é coisa de leve conhecida. Tendo que receber de chapa o rude sol das tardes de verão, os grandes edifícios, em geral, ficam como um forno, dada a proteção insuficiente de suas janelas de folhas semi-cerradas. As oficinas modestas então têm que escolher uma dentre duas alternativas: ou assar-se ou proteger-se escassamente por meio de toldos ou venezianas, proteção fraca porque nada podem contra os reflexos do sol nas vidraças. E é curioso verificar-se como os brasileiros fizeram face ao importantíssimo problema, cujo estudo foi o que animou a nossa viagem.
> (...) Tais como os arquitetos do Brasil os desenvolveram, esses para-sois externos são às vezes horizontais, às vezes verticais, às vezes moveis, às vezes fixos. Quebra-sol é o nome que se lhes dá, mas a expressão francesa *brise-soleil* é a mais geralmente usada. [mantida a grafia da época] [28]

Apesar da importância da construção do MESP como fato histórico, não se pode deixar de dar a devida importância ao prédio da Associação Brasileira de Imprensa, projetado pelos irmãos Marcelo e Milton Roberto em 1935. (Fig. 2.1.14) Este projeto, fruto de um concurso do qual vários dos membros da equipe do MESP participaram, foi vencido pelos dois irmãos que haviam começado seu escritório algum tempo antes. Localizado a poucos metros de onde seria construído o prédio do Ministério da Educação, este projeto já apresentava a utilização do *brise-soleil* meses antes da elaboração do projeto do MESP, tendo sido também concluído antes do seu vizinho, em 1938.[29] Este edifício adquiriu, pela cronologia dos fatos, grande importância, como mostra Cavalcanti:

> A firma MMM Roberto foi responsável por uma das obras mais importantes do modernismo arquitetônico brasileiro: o edifício-sede da Associação Brasileira de Imprensa, no Rio (1936-1938), que inaugurou no país a utilização em caráter sistemático da solução *brise-soleil* fixo em concreto armado. (...) A sede da ABI foi o primeiro prédio modernista em grande escala produzido no Brasil,

---

[27] A principal motivação por trás desta exposição, no entanto, era a chamada 'Política da Boa Vizinhança' do governo de Roosevelt para tentar aumentar a influência norte-americana nos países da América Latina numa época em que estes, principalmente o Brasil, ainda não haviam decidido sua posição quanto à Guerra Mundial em curso e ainda flertavam com os países do Eixo. Sobre estas implicações políticas, ver: CAVALCANTI (2001: 14).

[28] GOODWIN (1943: 84).

[29] *Cf.* CAVALCANTI (2001:207).

> havendo sido concebido antes da estada carioca de Le Corbusier e sem qualquer contato direto com outro contato arquiteto estrangeiro. [30]

O sistema de atenuação solar do edifício dos irmãos Roberto não simplesmente propunha anteparos solares como haviam sido pensados por Le Corbusier, mas também propunha um espaço entre eles e a pele da fachada de forma a criar um colchão de ar que contribuísse no isolamento térmico. É o que confirma Mindlin:

> O sistema de proteção contra o excesso de insolação consiste em faixas de *brise-soleil* verticais, cobrindo as duas fachadas, e separadas das paredes exteriores das salas (feitas com portas de vidro com ventilação na parte superior) por um corredor que assegura uma ventilação auxiliar e atua como zona de dispersão de calor.[31]

O prédio da ABI confirma a idéia de que, ao contrário do que afirmou mais tarde o arquiteto franco-suíço, não foi sua vinda que revelou aos arquitetos brasileiros a possibilidade de utilização do *brise-soleil*, mas seus estudos anteriores, principalmente em Barcelona e Argel, com os quais eles já haviam tido algum contato. A adaptação da linguagem Modernista dos grandes panos de vidro aos rigores solares do Brasil já causava algum tipo de reflexão nos arquitetos locais. Os arquitetos brasileiros, e de forma mais clara os irmãos Roberto, já estavam tentando incorporar a idéia de um quebra-sol em sua arquitetura antes do projeto do MESP, como afirma Bruand:

> Nunca será demais destacar a importância do prédio da A.B.I. Com efeito, trata-se de um projeto elaborado antes da vinda de Le Corbusier ao Brasil, em julho de 1936. Não sofreu portanto qualquer influência resultante de um contato direto com o mestre franco-suíço, que Marcelo e Milton Roberto nem chegaram a conhecer durante as seis semanas que aquele passou no Rio de Janeiro. O edifício é pois prova de que uma evolução original no estudo de uma arquitetura funcional já se esboçava nos primeiros meses de 1936 – anterior à estadia de Le Corbusier, cuja contribuição foi decisiva, mas que correspondeu à aceleração de um processo já em marcha. [32]

Além da questão do ineditismo presente na ABI pelo fato de ter sido o primeiro edifício construído utilizando o *brise-soleil*, o projeto tem também grande importância por já conter significativas doses de sensibilidade e ousadia na sua formalização, o que faz com que seja introduzido de forma tão competente, um elemento totalmente novo na composição das fachadas. Ao contrário do MESP, há época desse projeto não havia experiências similares anteriores.

Mas como naturalmente os problemas gerados pelo clima tropical obviamente não haviam surgido na década de trinta e, portanto já faziam parte das preocupações dos arquitetos brasileiros há muito tempo. A arquitetura colonial brasileira e mesmo arquitetura neoclássica já haviam apresentado diferentes soluções para abrandar estas condições climáticas extremas, como explica Bruand:

---

[30] CAVALCANTI (2001: 205).
[31] MINDLIN (1999: 216).
[32] BRUAND (2002: 94).

> Sem dúvida alguma, foi o clima o fator físico que mais interferiu na arquitetura brasileira. (...) o primeiro problema que se colocava para os arquitetos era o de combater o calor e o excesso de luminosidade provenientes de uma insolação intensa. No período colonial, as ruas estreitas, com suas casas de amplos beirais, e as generosas varandas das casas rurais, repondiam a essa necessidade, e forma utilizadas durante todo o século XIX, apesar da introdução do estilo neoclássico.[33]

No Brasil, entretanto, tinha-se naquela época, a noção nostálgica de uma referência ao passado colonial de nossa arquitetura:

> Ainda que, em certa medida, qualquer tipo de *brise-soleil* possa ser considerado uma imitação dos velhos e tradicionais métodos de proteção contra a ofuscação e o calor, mesmo assim o *brise-soleil* [sic] adicionou um novo elemento à nossa arquitetura, seja por sua independência com relação às janelas, seja por sua integração plástica às fachadas, dando-lhes, mesmo quando fixo, mas mais especialmente quando móvel, uma característica dinâmica. (...).
> Freqüentemente, nos detalhes dos *brise-soleil*, bem como nos trabalhos em madeira, podem ser encontradas reminiscências e variações das rótulas e persianas coloniais, seja como expressões de um passado que se reintegram no novo vocabulário em formação, seja como novas respostas dadas aos problemas permanentes dos climas tropicais e subtropicais. [34]

No entanto, apesar da semelhança de princípios entre o *brise-soleil* e os antigos elementos de atenuação solar da arquitetura colonial, até 1936 com a ABI e o MESP, a arquitetura moderna ainda não havia atentado para essa questão. Os primeiros projetos modernistas brasileiros, cujo marco inicial foi a casa que o arquiteto russo Gregori Warchavchik faz para si próprio em São Paulo, foram elaboradas à imagem e semelhança das primeiras experiências modernistas da vanguarda européia dos anos vinte, durante a chamada 'estética da era da máquina'. Também os primeiros projetos do próprio Lúcio Costa e de Reidy, seu discípulo mais atuante naqueles primeiros anos da década de trinta, não traziam nenhum sinal dos *brise-soleil* ou de qualquer outro atenuador da radiação solar incorporado às fachadas das construções. Isso comprova a importância de Le Corbusier e dos projetos que desenvolveu nos primeiros anos da década de trinta até sua vinda ao Brasil em 1936.

Lúcio Costa a partir do MESP, apesar de uma atuação profissional bissexta, traria sempre incorporado à sua linguagem o objetivo de retomar a tradição construtiva luso-brasileira em uma perspectiva de continuidade com o movimento moderno. Sua trajetória profissional se iniciara nos anos vinte, dentro do 'estilo neocolonial', bastante comum naquela época no Rio de Janeiro. Ele trabalhara neste período com José Mariano, arquiteto mais destacado dentro dessa corrente 'estilística' e que lhe confiara em 1924 a tarefa de viajar a Diamantina para recolher 'detalhes construtivos da nossa arquitetura colonial'. O contato com o passado colonial verdadeiro ajuda a afastar o pensamento de Costa do neocolonial e de seu apelo estritamente formal com relação à

---

[33] BRUAND (2002: 12).
[34] MINDLIN (1999: 33).

construção. Esse pensamento em direção a uma 'verdade construtiva' será a base da reforma que ele irá propor no ensino de arquitetura, quando assume em 1930 a direção da Escola Nacional de Belas Artes. Essa preocupação é demonstrada por Costa:

> Embora julgue imprescindível uma reforma em toda a Escola, aliás como é do pensamento do governo, vamos falar um pouco de arquitetura. Acho que o curso de arquitetura necessita de uma transformação radical. Não só o curso em si, mas os programas das respectivas cadeiras e principalmente a orientação geral do ensino. A atual é absolutamente falha. A divergência entre a arquitetura e a estrutura, a construção propriamente dita, tem tomado proporções simplesmente alarmantes. Em todas as grandes épocas, as formas estéticas e estruturais identificam-se. E quanto mais perfeita a coincidência, mais puro o estilo. Pártenon, Reims, Santa Sofia, tudo construção, tudo honesto, as colunas suportam, os arcos trabalham. Nada mente.[35]

No entanto, apesar da aproximação com a linguagem moderna em busca de uma verdade construtiva correspondente ao seu tempo, o arquiteto jamais deixaria de considerar o conhecimento que acumulara acerca das tradições construtivas coloniais. Em Lúcio Costa, o moderno toma o vernáculo como ponto de partida, como comenta Wisnick:

> O completo entendimento das características construtivas e dos repertórios formais que no Brasil se difundiram e combinaram define, em Lucio Costa, o raciocínio moderno sobre a base vernacular como o principal instrumento de projeto e intelecção. Sua maneira particular e erudita de combinar referências variadas estabelece um campo preciso dentro do qual é legítimo justapor extensos panos de vidro e quebra-sóis industriais a treliçados de madeira ou blocos cerâmicos, num entrosamento que flagra a gênese das formas como produto de diversas trocas culturais. [36]

Lúcio Costa ao contrário dos arquitetos modernistas Europeus, não precisou se colocar numa condição de ruptura com as tradições para militar na linha de frente da arquitetura moderna. Durante a elaboração do MESP, em 1937, ele assumiu a direção do SPHAN e como primeira tarefa, elaborou o projeto para o Museu das Missões, no Rio Grande do Sul. (Fig. 2.1.15) O projeto é notável do ponto de vista da síntese do pensamento que Costa tentava estabelecer colocando o velho e o novo em diálogo. O arquiteto passaria anos à frente da instituição, podendo colocar-se em contato estreito com o passado construtivo brasileiro que lhe era tão caro. Wisnick comenta o papel ambíguo de Lúcio Costa, ao mesmo tempo à frente da vanguarda da arquitetura brasileira e responsável pelo cuidado do passado construtivo:

> A ambivalência e a multiplicidade do seu 'lugar' artístico repousam, em última análise, no fato de ele ter sido o sujeito definidor de uma importante singularidade da história arquitetônica brasileira: a da conexão entre modernidade e tradição. Enquanto na Europa as vanguardas bateram-se por derrubar velhos dogmas, dissolver identidades em nome do universalismo, aqui, ao contrário, deu-

[35] XAVIER (2003: 57).
[36] WISNIK (2001: 31).

> se um inusitado encontro: 'foram justamente aqueles poucos que lutaram pela abertura para o mundo moderno, os que mergulharam no país à procura das suas raízes, da sua tradição.' [37]

A linguagem de Lúcio Costa e dos arquitetos de ponta se basearia nesse pensamento por ele codificado. Do outro lado do Atlântico, também a linguagem de Le Corbusier sofreria profundas mudanças a partir desse período. A introdução do *brise-soleil* no vocabulário corbusiano não significou simplesmente a adição de um novo elemento arquitetônico em seus edifícios. A incorporação de atenuadores solares era parte de uma mudança mais ampla na sua linguagem formal, ocorrida durante os anos trinta e o período da Segunda Grande Guerra, como mostra Benevolo:

> A essa pesquisa pode-se acrescentar a noção do *brise-soleil*, que Le Corbusier especifica nesses anos; primeiramente, é um mero aparato técnico, ou seja, um anteparo contra os raios do sol colocado frente ao *pan de verre* nos projetos para a Argélia feitos de 1933 em diante; mais tarde torna-se um pórtico praticável – no projeto para a Cité d'Affaire de Argel de 1939 – e leva a projetar externamente a estrutura em concreto armado, deixando na concavidade as vedações leves e as vidraças. Isso leva a eliminar, para o concreto, todo acabamento que altere sua consistência natural, como a que resulta do contato entre o conglomerado e os lados das formas; o edifício perde, assim, o caráter geométrico abstrato que derivava do vidro e do reboco, torna-se capaz de absorver os sinais do tempo e de ser incorporado na paisagem natural. [38]

A adoção do *brise-soleil* como parte de seu vocabulário faz com que seus projetos abandonem o aspecto cúbico e geométrico dos primeiros anos e ganhem profundidade nas fachadas.[39] (Fig. 2.1.16) No entanto o surgimento do *brise-soleil* deve ser entendido antes de tudo, como uma forma de viabilizar a linguagem modernista em locais quentes, principalmente dos *pans de vèrre*. O contato com novas realidades do ponto de vista climático inviabilizava o uso desse importante aspecto do vocabulário formal que havia sido elaborado nos anos vinte.[40] A estada no Brasil foi extremamente fecunda para a experimentação que Le Corbusier

---

[37] Idem, p.13.

[38] BENEVOLO (1989: 566).

[39] Sobre a evolução formal na linguagem corbusiana durante a adoção do *brise-soleil,* ver BAKER (1998: 344).

[40] De certa forma, dois dos famosos 'cinco pontos' mostravam-se inviáveis em regiões quentes: a janela em fita (*fenêtre en longuer*) e o pano de vidro (*pan de vèrre*).



Figura 2.1.15 – Museu das Missões, São Miguel das Missòes, 1937
Arquiteto: Lúcio Costa
Fonte: (WISNIK, 2001)



Figura 2.1.16a – Unité d'Habitacion de Marselha, 1947
Arquiteto: Le Corbusier
Fonte: (CURTIS, 1986)



Figura 2.1.16b – Associação do proprietários rurais, 1951
Arquiteto: Le Corbusier
Fonte: (CURTIS, 1986)



Figura 2.1.16c – Maison Shodhan, 1951
Arquiteto: Le Corbusier
Fonte: (CURTIS, 1986)



Figura 2.1.16d – Carpenter Center, 1960
Arquiteto: Le Corbusier
Fonte: (CURTIS, 1986)

empreendia ao longo dos anos trinta.[41] Sua linguagem arquitetônica continuaria evoluindo nos anos seguintes em direção a um novo sistema, com novas regras. Novos 'pontos' passariam a fazer parte do seu vocabulário a partir daí, como confirma Curtis:

> Quando Le Corbusier se achava em problemas ao inventar novos elementos, era porque algum dos antigos elementos tinha falhado, e/ou porque ele tinha se confrontado com uma situação inesperada. Desde o começo dos anos trinta, ele tinha tido problemas com as fachadas inteiramente lacradas com vidro. Alguns dos problemas ambientais foram tratados através de vários tipos de *brise-soleil*. Ele evidentemente validou a idéia da janela inteira do piso ao teto e a idéia de ventilação cruzada. Além disso, ele descobriu gradativamente que uma textura intermediária entre a pureza do pano de vidro da época da máquina era necessária por razões expressivas. *Ondulatoires* serviam muito bem à esse propósito. [tradução nossa] [42]

No Brasil dessa época, a pesquisa de assimilação da arquitetura vernacular pela arquitetura moderna ficaria praticamente restrita à figura de Lúcio Costa.[43] Para ele contribuição vernacular vem 'decantada' através de uma cultura, de um saber coletivo, de um *éthos* construtivo que ele tanto exalta. É na possibilidade de uma coerência entre o saber e o procedimento, entre o projeto e a construção, que o arquiteto tenta nos poucos projetos que iria elaborar nos anos depois do MESP, demonstrar essa assimilação do vernacular. Nesse processo de assimilação, sua noção de continuidade é um importante aspecto, como mostra Wisnik:

> Seu ponto de contato com a vanguarda, portanto, está no olhar que enxerga uma coerência fundamental no sistema construtivo do passado, na relação de dependência entre os elementos da construção e o todo, bem como na sua adequação com o meio. Assim, descobrindo, ou elegendo, em nossa tradição, uma determinada constante – a qualidade construtiva de 'não mentir', de construir com rigor e sobriedade, ao contrário dos arremedos postiços dos 'estilos históricos'-, estabelece uma filiação para o modernismo no Brasil, tomando-o como um traço de continuidade com o passado colonial, cuja semelhança de orientação aparece, por exemplo, no exagerado apego dessa tradição a 'certos princípios de boa arquitetura', como o de manter uniforme a altura das vergas, mesmo em portas estreitíssimas e secundárias em casas com pé-direito alto, 'apenas para manter o bom alinhamento do conjunto'. [44]

---

[41] (...) *ce séjour de Le Corbusier au Brésil fut sans doute la période la plus heureuse de sa vie, car il lui sembla là, pour la première fois peut-être, que sa vision de la modernité pouvait être réalisés à grande échelle et d'une manière absolument compatible avec le climat, la paysage et la vie des gens. Que cette impression ait été fondée en un sens, cela est attesté par le nombre des émules qu'il sucita sopntanément dans toute l'Amerique latine, floraison de disciples particulièrement évidente au Brésil, où elle est illustrée par des archictetes comme Costa, Moreira, Niemeyer, et Reidy, sans oublier Marcello et Milton Roberto, que utilisèrent pour la première fois le brise-soleil vertical dans l'immeuble de l'association de presse ABI (Rio, 1936).* FRAMPTON (1997: 87).

[42] *When Le Corbusier went to the trouble of inventing new elements it was usually because the old ones had failed, and /or because he was faced with an unprecedented situation. Since the early 1930's he had had trouble with fully glazed, sealed façades. Some of the environmental problems had been handled by the various sorts of brise-soleil. He evidently valued the idea of full floor-to-ceiling glazing and the idea of natural cross-ventilation. Moreover, he had gradually discovered that an intermediary texture between the machine-age smoothness of pan de verre was needed for expressive reasons. Ondulatoires fitted into this agenda nicely*. CURTIS (1986: 184).

[43] Também Lina Bo Bardi empreenderia importante pesquisa nesse sentido, no entanto mais com uma intenção de incorporar um protesto contra os mecanismos de dominação social através da incorporação da improvisação popular.

[44] WISNIK (2001:15).

Isso mostra o quão importante é para a tentativa de se produzir uma arquitetura ambientalmente eficiente hoje, a leitura da cultura local, das edificações vernaculares, principalmente com objetivo criar edifícios adequados ao clima do lugar. Num mundo em que as distâncias se encurtam a cada dia e o arquiteto constantemente é levado a projetar em locais com os quais não está familiarizado, a leitura da arquitetura vernacular fornece uma fértil matriz de conceitos construtivos a serem considerados. Torna-se importante olhar para a tradição construtiva de forma a verificar a relação das edificações com o microclima daquela região. É nesse sentido que é importante um olhar atento que busque enxergar os princípios por trás dos elementos vernáculos e saiba adapta-los aos dias de hoje, aos materiais e técnicas construtivas atuais, às necessidades de uso contemporâneas e até mesmo às linguagens formais de hoje.

A crise de energia com a qual convivemos hoje, fornece-nos matéria prima para estabelecer novos parâmetros na elaboração das edificações. Em toda a história das sociedades humanas, sempre as crises impulsionaram a busca de novas soluções e, por conseguinte, alavancaram a criação arquitetônica. Nesse sentido, a crise torna-se um inimigo comum contra o qual uma sociedade é capaz de se mobilizar. Bruno Zevi compara a arquitetura que pode surgir a partir de uma crise, falando sobre a crise energética mundial, com a arquitetura de Palladio no final de sua carreira. Segundo ele, o arquiteto italiano soube reestruturar sua linguagem arquitetônica a partir de uma situação de crise econômica que assolou a região do Vêneto e a crise que se seguiu ao saque de Roma em 1527. [45] O autor comenta a relação entre arquitetura e crise na história e fala também sobre a diferença entre a assimilação de formas e assimilação de conceitos da arquitetura vernacular por parte dos arquitetos modernistas:

> A crise de energia hoje causa efeitos semelhantes [à crise na Itália na época de Palladio]. Ela despedaçou o chamado 'International Style', especificamente o classicismo pseudomoderno da caixa, das pequenas caixas e das grandes caixas de aço e vidro. Arquitetos de pensamento limitado acharam que era apenas um problema tecnológico. Mas aqueles capazes de refletir e de levar a cabo uma pesquisa paciente entenderam a oportunidade de reconsiderar a gramática, a sintaxe e o léxico envelhecido. Na busca pelo processo genético dos códigos contemporâneos, eles redescobriram as inesgotáveis fontes de Willian Morris, Victor Horta, Antoni Gaudi, Le Corbusier e Enrich Mendelsohn, Hugo Häring, Hans Scharoun e o gênio visionário de Frank Lloyd Wright. Como inevitavelmente acontece, eles mergulharam de volta ao passado, não para imitar suas formas, como os infaustos 'Pós-Modernistas', mas para desenterrar seus conteúdos. A interpretação histórica, de um ponto de vista bioclimático, trouxe de volta para a linha de frente inúmeros episódios esquecidos ou escondidos pelo aparato escolástico de simetria e proporção. [tradução nossa] [46]

---

[45] ZEVI (1983:14).

[46] *The energy crisis today has caused similar effects. It has shattered the so-called 'International Style', namely the pseudomodern classicism of the box, of small boxes and large boxes of steel and glass. Narrow-minded*

Caso se pretenda buscar a origem dos elementos de atenuação solar utilizados até hoje no Brasil, como os *brise-soleil*, ver-se-á que quer eles tenham chegado ao país através de Le Corbusier e suas pesquisas dos anos trinta, quer tenham chegado como uma evolução natural da arquitetura tradicional colonial luso-brasileira em direção ao modernismo, sua verdadeira paternidade é mourisca. A arquitetura árabe do norte de África mostrou ao arquiteto franco-suíço a possibilidade de conciliação entre o antigo e o novo na busca por uma arquitetura mais coerente com aqueles climas quentes. Ela mostrou-lhe que os anteparos presentes na arquitetura vernacular, os muxarabis, as gelosias poderiam ser reinterpretados a partir da lógica construtiva do concreto armado, da linguagem formal geométrica e abstrata e do sentido de garantir melhores condições de uso dos espaços. Também Lúcio Costa percebeu esta possibilidade em seus projetos após o MESP, utilizando as tecnologias e formas modernistas para tentar recriar os princípios por trás da nossa arquitetura colonial. Arquitetura esta que nos chegou através dos portugueses que assim como os espanhóis tiveram um prolongado e forçado contato com os árabes no período anterior a colonização das Américas. Graças a este contato, os lusos quando colonizaram o Brasil, já possuíam conhecimentos construtivos para criar elementos de atenuação da radiação solar em climas quentes já decantada em sua cultura. No que diz respeito a essa leitura da arquitetura vernacular e sua assimilação pelos arquitetos modernos, vemos tanto em Le Corbusier como em Lúcio Costa, um claro senso de continuidade, uma sensibilidade apurada por trás de um olhar que consegue extrair da primeira os princípios que poderiam ser aplicados na última. O grande sucesso obtido por esse singelo elemento construtivo durante os anos vinte tem muito há ver com o sucesso obtido pela arquitetura moderna em todo o mundo e demonstra a capacidade destes arquitetos em formalizar uma nova tradição construtiva que ao mesmo tempo se baseava em avanços tecnológicos, era fruto de num novo contexto cultural e estético e ainda era capaz de assimilar conceitos antigos da construção vernacular.

---

architects supposed it was only a technological problem. But those capable of thinking, of carrying out 'patient research, have seized the opportunity to reconsider the grammar, the syntax and the decrepit lexicon. In this research into the genetic process of contemporary codes, they have rediscovered the inexhaustible sources of Willian Morris, Victor Horta, Antoni Gaudi, Le Corbusier and Enrich Mendelsohn, Hugo Häring, Hans Scharoun and the overriding genius of Frank Lloyd Wright. As inevitably happens, they have dived back into the past not to mimic its forms, like the despicable 'Post-Modernists', but to dig up its contents. The historical interpretation, from a bioclimatic point of view, has brought to the forefront innumerable episodes forgotten or hidden by the scholastic apparatus of symmetry and proportion. ZEVI (1983:14).

2.2 . ‘Fundamentalismo verde’:
O surgimento do paradigma ecológico na Arquitetura

It may be green, but it’s boring architecture.

(James Wines)

Nos últimos quarenta anos assistiu-se ao surgimento e à consolidação de um movimento amplo de conscientização quantos às questões ambientais e ecológicas. Estas preocupações passaram a fazer parte das discussões em diferentes campos do conhecimento e em vários segmentos das sociedades. Neste período, idéias como a proteção ao meio ambiente, a utilização responsável de recursos naturais, a diminuição da poluição, a redução dos impactos nos ecossistemas, e todos os diversos assuntos ligados à ecologia, foram amplamente divulgados nos meios de comunicação e nas instituições de ensino em todo o mundo. Esse movimento, chamado de "verde", chegou até a Arquitetura há alguns anos e tem ajudado a estabelecer para ela, uma agenda ambientalista que cresce em importância continuamente. Propõe-se aqui, uma última incursão histórica, dessa vez num passado mais recente, para uma análise sobre o advento deste pensamento ecológico na Arquitetura, com o objetivo de obter algumas informações que podem ser importantes para o estabelecimento de parâmetros para uma elaboração arquitetônica ambientalmente correta hoje.

No período após a segunda guerra mundial e principalmente ao longo dos anos sessenta, uma série de novos pensamentos redefiniu alguns paradigmas culturais consolidados na primeira metade do século XX no universo das artes e da Arquitetura. Essas modificações surgiram, de uma forma geral, através de idéias que se opunham radicalmente à chamada doutrina modernista, que influenciara fortemente toda a cultura do início do século passado. Esse movimento de crítica ao Movimento Moderno, e por isso mesmo chamado Pós-Modernismo[47], abarcou uma série de correntes de pensamentos e objetivos nem sempre coincidentes, mas que, no entanto, tinham como inimigo comum a arquitetura modernista.

Normalmente as críticas dos defensores da arquitetura pós-moderna se dirigiam principalmente àquela arquitetura disseminada por todo o mundo sob o nome de *International Style*[48], a disseminação maciça do vocabulário formal da arquitetura moderna sem o seu conteúdo ético. A idéia de um estilo internacional para a Arquitetura, aplicável a qualquer lugar, gerou em todo o mundo uma série de edifícios de qualidade duvidosa sob vários aspectos ao longo do período pós-guerra. Estes maus exemplos deram aos críticos do Movimento Moderno munição suficiente para um amplo questionamento quando foram estabelecidas as bases de uma mudança na visão do pensamento arquitetônico.

---

[47] O surgimento do termo na arquitetura é posterior ao surgimento das primeiras manifestações tanto no campo da teoria quanto na prática. Seu primeiro uso na arquitetura é normalmente atribuído a Charles Jencks, em seu livro "The Language of Post Modern Architecture", de 1972

[48] O uso desse termo começa em 1932 com Philip Johnson e Henry-Russel Hitchcock em virtude da organização de uma exposição com o mesmo nome.

Quanto a isso, é interessante perceber que essa disseminação de uma arquitetura formalmente uniformizada para todo o mundo resultou em uma desvinculação da construção em relação ao seu meio, problema que interessa especialmente a esse estudo. Essa reprodução meramente formal da arquitetura moderna gerou edificações completamente inadequadas para as diferentes situações climáticas que podem existir. No Brasil, surgiram vários exemplos de caixas de vidro que se convertem em verdadeiras estufas. Os avanços conseguidos pela primeira geração da arquitetura moderna brasileira na adaptação do vocabulário corbusiano ao clima tropical foram colocados de lado. Em nome da estética internacional, a tradição construtiva local, adequada ao clima e aos padrões construtivos do país, foi abandonada. Em um texto de 1966, Miran de Barros Latif já alertava para essa ampla divulgação da arquitetura moderna no Brasil sem qualquer critério, como uma simples reprodução formal:

> Com a descoberta do concreto armado, o arquiteto e o engenheiro – em substituição ao velho mestre-de-obras – têm vivido empolgados com o que se faz lá fora em matéria de plástica estrutural e vêm confundindo o engenhoso da construção em concreto com o funcional da casa. Ainda agora andam às voltas com vãos descomunais – trazendo considerações quanto a pontes e viadutos da cadeira de grandes estruturas das escolas de engenharia para a intimidade da habitação – sem saber ou pensar sequer na boa aeração de uma modesta casa Todas as nossas construções populares (ou semi) do interior mostram-se perturbadas pelos devaneios estruturais dos arquitetos dos grandes centros, cujo renome está sempre a chegar-lhes, dados os atuais prodigiosos meios de difusão. Temos regredido quanto à aeração da casa, principalmente da modesta casa popular. [49]

É preciso ressaltar que, apesar de alguns arquitetos brasileiros terem conseguido transpor inteligentemente o vocabulário modernista europeu para os trópicos, como foi discutido no capítulo anterior, grande parte da arquitetura do pós-Segunda Guerra foi feita de forma inconsistente. No Brasil essa disseminação de uma arquitetura despreocupada com a nossa realidade climática tornou-se alvo de justificadas críticas que ajudaram a consolidar nos anos setenta a arquitetura pós-moderna. Essa contestação do modernismo se deu de diversas formas ao longo dos primeiros anos. Interessa especificamente para este trabalho, uma vertente específica da crítica contida no Movimento Pós-Moderno dos anos sessenta e setenta que trouxe para a Arquitetura as preocupações ambientais e ecológicas que se tornavam populares exatamente nesse período.

Boa parte do questionamento apresentado pela vertente ambiental da arquitetura pós-moderna se referia num sentido mais profundo, aos processos de industrialização massivos ocorridos ao longo dos cem anos anteriores e, é claro, dos quais a arquitetura modernista era, em parte, glorificadora. As críticas se voltaram para a maneira que estes processos foram levados a cabo, de forma acelerada e predatória, e principalmente em relação aos seus efeitos para o meio

---

[49] LATIF (1966). APUD: XAVIER (2003: 306).

ambiente. A manifestação global contra a industrialização indiscriminada conquistou espaço e ganhou muita força nessa época graças a dois fatores chave: a crise do petróleo e a reação mundial aos primeiros grandes desastres ambientais.

A crise do petróleo, iniciada em 1973 por força da OPEP [50], foi provocada por questões políticas no oriente médio devido ao recrudescente conflito entre árabes e judeus e também por motivações econômicas, para forçar a subida do preço do petróleo no mercado mundial. Esta crise gerou um grande impacto mundial no sentido de alertar sobre o nível exagerado de dependência que as sociedades haviam atingido naquele ponto em relação a um combustível fóssil e não renovável. É quando se iniciam em vários países pesquisas sobre outras fontes de energia principalmente baseados em combustíveis não-fósseis e fontes renováveis. Também nessa época acontecem grandes desastres ambientais causados principalmente por indústrias e companhias ligadas a área energética. Grandes vazamentos de petróleo ocorridos devido a acidentes com navios petroleiros e vazamentos em oleodutos, acidentes em usinas de geração de energia, hidroelétricas, termoelétricas e nucleares. Em todos os casos, esses desastres geraram impactos enormes para o meio ambiente dando força para os movimentos ecológicos através da sensibilização da opinião pública mundial.

Nesse contexto, surgiu uma nova abordagem no pensamento arquitetônico, principalmente na sua relação com o meio ambiente. Esta nova matriz passou a tratar como prioritária a consideração dos fatores biológicos e climáticos na elaboração do projeto arquitetônico. O estabelecimento de uma nova relação com o meio ambiente foi colocado como ponto de partida não só pelo lado pragmático, mas também do ponto de vista ideológico, em oposição aos processos de industrialização predatórios responsáveis pelos grandes prejuízos à natureza. Como aponta o professor Benjamim Carvalho, "A história da poluição é a história dos combustíveis, da industrialização dos países e da própria Civilização Maquinista".[51]

Essa posição colocou de maneira clara o pensamento ecológico na Arquitetura em oposição à arquitetura moderna, mesmo que nem sempre essa associação pudesse ser feita de forma direta. Há vários exemplos da arquitetura moderna em que a consideração do lugar, do clima e do meio-ambiente foram prioritárias na elaboração do projeto, e é muito provável que algumas edificações modernistas tenham sido muito mais corretas ambientalmente falando do que outras elaboradas nesse período de experimentações ambientalistas, no sentido de impactos gerados em todo o processo. Mas, no entanto, como a tendência à generalização acaba sendo

---

[50] Organização dos Países Produtores de Petróleo (liderados por Irã, Iraque, Kuwait, Arábia Saudita e Venezuela).

[51] CARVALHO (1984: 84).

mais forte, a produção modernista é tomada pelos arquitetos-ecologistas mais radicais como uma "exaltação da máquina" e, portanto, exemplo daquilo que não deveria ser feito a partir de então. A estética da "era da máquina" representava a antítese das preocupações ambientais da época e por isso foi frontalmente combatida. Como exemplo desse pensamento, temos Sim Van der Ryn que defende a idéia de que o projeto ecológico deve necessariamente remeter a formas da natureza e negar a linguagem geométrica abstrata utilizada pelos modernistas:

> Para que consigamos integrar com sucesso ecologia e design, devemos espelhar as interconexões mais profundas da natureza na nossa epistemologia do design. Nós ainda estamos presos nas metáforas mecanicistas. É tempo de terminar o desenho à imagem da máquina e iniciar o desenho de uma maneira que honre a complexidade da vida... [tradução nossa] [52]

É curioso verificar o declínio do uso do *brise-soleil* no Brasil exatamente no período do surgimento da visão ecológica na arquitetura, por mais paradoxal que possa parecer. Entre os elementos mais marcantes da arquitetura moderna, sobretudo da arquitetura moderna brasileira inicial está o *brise-soleil*. Como foi discutido anteriormente, este elemento concilia a atenuação da radiação solar com a linguagem formal modernista, e se tornou símbolo da produção arquitetônica brasileira dos anos quarenta e cinqüenta, chegando a ser sua marca registrada em relação ao resto da produção mundial do mesmo período. Na medida em que a arquitetura produzida no período após a Segunda Guerra esvaziou os conteúdos éticos da arquitetura moderna e passou a repeti-la apenas na aparência, foi sendo cada vez mais deixado de lado o *brise-soleil*. A arquitetura moderna tardia, partidária do *International Style*, voltou a criar caixas de vidro sem qualquer proteção, deixando de lado a enorme conquista arquitetônica de adequação do Modernismo aos trópicos representada pelo *brise-soleil*. Vários dos prédios construídos no Brasil no final dos anos cinqüenta e ao longo dos anos sessenta utilizam a linguagem dos panos de vidro mas sem qualquer tipo de proteção solar, justificando grande parte das críticas feitas pelos seus usuários quanto ao enorme calor criado em seu interior durante o dia através do efeito estufa. É o caso, por exemplo, do edifício do IPSEMG, em Belo Horizonte, projeto do arquiteto Rafael Hardy Filho de 1964. [53] Trata-se, sem sombra de dúvidas, de um dos marcos do modernismo mineiro e um belo exemplo de composição de volumetria arquitetônica em um edifício vertical. Apesar disso, a fachada principal é toda envidraçada e sem qualquer proteção à incidência direta de sol, o que

---

[52] *In order to successfully integrate ecology and design, we must mirror nature's deep interconnections in our own epistemology of design. We are still trapped in worn-out mechanical metaphors. It is time to stop designing in the image of the machine and start designing in a way that honors the complexity of life itself...* RYN, Sim Van der. APUD: JENCKS (1997: 167)

[53] Rafael Hardy Filho foi um dos mais destacados arquitetos do modernismo em Minas Gerais. Recentemente, sua obra foi objeto de um estudo que busca analisar e catalogar os exemplares mais significativos da arquitetura moderna no estado. Ver: <http://www.arquitetura.ufmg.br/modernismomg>

faz com que, pelo fato de estar voltada para sul-sudoeste, essa face seja bastante castigada no verão, exatamente o período mais quente do ano. (Fig. 2.2.1)

Mas, além da arquitetura de feições modernas que deixou de lado o uso do *brise-soleil* , quer tenha sido pela incapacidade ou pela negligência dos arquitetos que a criaram, também a arquitetura pós-moderna desprezou esse importante elemento da construção tropical. As primeiras arquiteturas produzidas pelo pós-modernismo, exatamente devido à sua forte oposição ao Movimento Moderno, deixaram completamente de lado a utilização do *brise-soleil*. (Fig. 2.2.2) De certa forma, como o desenvolvimento desse elemento construtivo se deu através da arquitetura moderna, sua imagem ficou fortemente associada ao Modernismo. As soluções formais dadas pelos arquitetos modernistas para os anteparos solares foram tomadas inicialmente como as únicas respostas estéticas possíveis para esse elemento o que fez com que sua imagem se ligasse diretamente à linguagem formal modernista a qual deveria ser rejeitada duramente nesse contexto. Somente quando a arquitetura pós-moderna ofereceu respostas formais para os *brise-soleils* condizentes com sua própria linguagem é que o preconceito formal com esse elemento foi vencido e ele começou a ser reutilizado, ainda que timidamente e de maneira inconstante, na produção arquitetônica brasileira da pós-modernidade.

A forma como o *brise-soleil* é considerado pelos arquitetos pós-modernos no Brasil pode ser exemplificada através do trabalho de Éolo Maia e Jô Vasconcellos. [54] O elemento é retomado em algumas de suas obras, como parte de uma colagem de inúmeras referências formais da história da arquitetura, com a qual os arquitetos trabalhavam. O uso do *brise-soleil* na obra de Éolo e Jô não pode ser considerado sistemático nem motivado fundamentalmente pela necessidade de um anteparo à radiação do sol. Somente foi utilizado quando se mostrou adequado formalmente à linguagem de determinados projetos, configurando-se como um elemento de finalidade estética, com mais um ornamento. Ilustra bem essas afirmações, a comparação entre dois edifícios verticais para fins comerciais projetados por eles em Belo Horizonte, no mesmo ano, 1989. No primeiro deles, o Raja Center, as salas se abrem para a vista da cidade através de um pano de vidro, mas sem nenhuma proteção contra o sol, mesmo que numa fachada voltada para o leste. Não há no projeto, nenhum pudor em expor

[54] Éolo Maia e Maria Josefina Vasconcellos, ou Jô Vasconcellos formaram juntamente com Sylvio de Podestá o grupo 3 arquitetos, que ajudou a impulsionar o pós-modernismo no Brasil, tendo se convertido nos maiores representantes dessa corrente arquitetônica no Brasil, durante os anos oitenta. Sobre a obra de Éolo Maia, ver: SANTA CECÍLIA (2004).



Figura 2.2.1a – Prédio do IPSEMG, Belo Horizonte, 1964
Arquiteto: Rafel Hardy Filho
Fonte: Foto do autor



Figura 2.2.1b – Prédio do IPSEMG, Belo Horizonte, 1964
Arquiteto: Rafel Hardy Filho
Fonte: Foto do autor



Figura 2.2.2a – Les Arcades du Lac, Paris, 19??
Arquiteto: Ricardo Boffil
Fonte: (JENCKS, 1984)



Figura 2.2.2b – Städtiches Museun Abteiberg, Möchengladbach, 1976
Arquiteto: Hans Hollein
Fonte: (JENCKS, 1984)

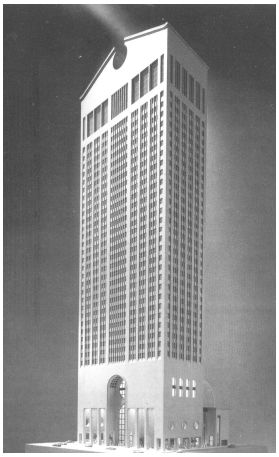


Figura 2.2.2c – AT&T Building, Nova York, 1978
Arquiteto: Philip Johnson
Fonte: (JENCKS, 1984)



Figura 2.2.2d – The Portland, Portland, 1980
Arquiteto: Michael Graves
Fonte: (JENCKS, 1984)

deliberadamente as salas ao sol da manhã, o que não parece ter sido fruto de algum tipo de restrição orçamentária, levando-se em conta a exuberância de detalhes e materiais construtivos que o prédio exibe. Já no segundo exemplo, no edifício Officenter, ao contrário, não só o *brise-soleil* é utilizado como, através de uma seqüência de croquis, manifestam um discurso para justificar as opções formais utilizadas nas fachadas, apoiado totalmente na trajetória solar. O caminho do sol na abóbada celeste justifica cada um dos tipos de abertura utilizados no projeto, que vão, ao longo das fachadas, interpenetrando-se uns nos outros. O sol, grande aliado no projeto do Officenter, não foi lembrado no Raja Center, embora ambos tenham sido projetados no mesmo ano. (Fig. 2.2.3) A arquitetura pós-moderna brasileira, de forma geral, deixou de fazer uso do *brise-soleil*, mesmo que possuindo um discurso afinado com as preocupações ambientais difundidas pelos ecologistas através dos anos setenta e oitenta.

No entanto, outros arquitetos pós-modernos, principalmente nos Estados Unidos e na Europa, colocaram a questão ambiental de maneira prioritária no projeto e aprofundaram-se nas preocupações ecologistas, tentado estruturar um pensamento construtivo fundado numa nova ordem ética. Não mais uma ética entre os indivíduos, antropocêntrica, através da criação de uma nova sociedade, como pretendiam os arquitetos modernistas, mas uma nova ética baseada na relação com a natureza, com o meio ambiente. Esta tentativa de restabelecimento de uma relação mais respeitosa com o meio ambiente foi defendida por vários autores, como Harries para quem:

> Somente as medidas proporcionadas pelo corpo humano nos fazem sentir em casa no planeta terra; somente se nós pararmos de considerar o ambiente físico com um material para ser manipulado e controlado, mas nos abrirmos para a linguagem natural do lugar, receberemos sugestões que poderão nos levar a um restabelecimento do *éthos* perdido, em ambientes em que habitações genuínas poderão ser possíveis. Mas não há ninguém mais equipado que o arquiteto para contribuir para este restabelecimento, mesmo que a condição da nossa cultura deixe pouco espaço para o otimismo. [tradução nossa] [55]

A relação com o meio ambiente que se pretendia naquele período era bastante diferente do que se via na prática. Os desastres ambientais ocorridos a partir dos anos setenta não só alavancaram os movimentos ecológicos, mas também de certa forma despertaram um radicalismo contrário às grandes indústrias e às grandes corporações. Este radicalismo

---

[55] *Only the measure provided by the human body let us feel at home on the earth; only when we cease to consider the physical environment as material to be manipulated and controlled, but open ourselves to the natural language of place and time will we receive hints which may lead to a re-establishment of the lost ethos, of environments which will make a genuine dwelling possible. But no one is better equipped than the architect to contribute to such a re-establishment, even if the condition of our culture leaves little room for optimism.* HARRIES, Karsten. APUD: NESBITT (1996: 396):

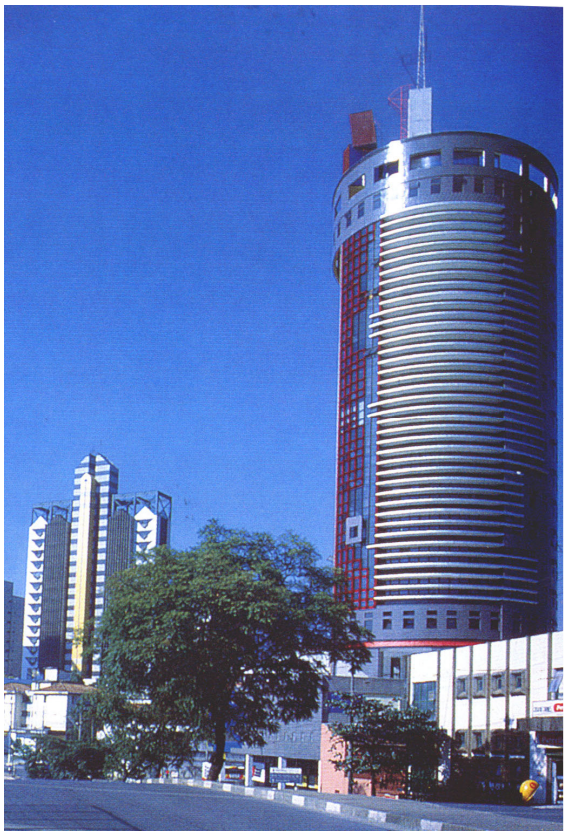


Figura 2.2.3a – Condomínio Edifício Officenter, 1989
Arquiteto: Éolo Maia
Fonte: (MAIA;VASCONCELLOS, 1995)

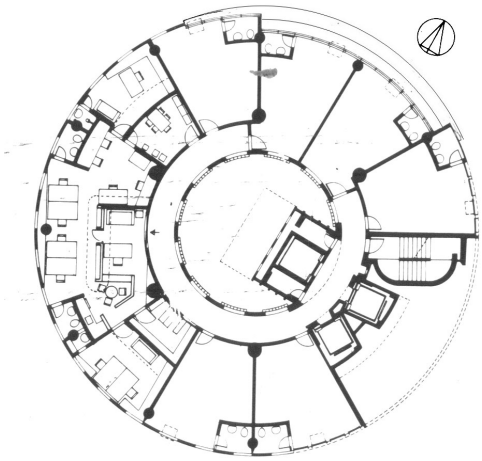


Figura 2.2.3b – Condomínio Edifício Officenter, 1989
Arquiteto: Éolo Maia
Fonte: (PEREIRA, 1995)

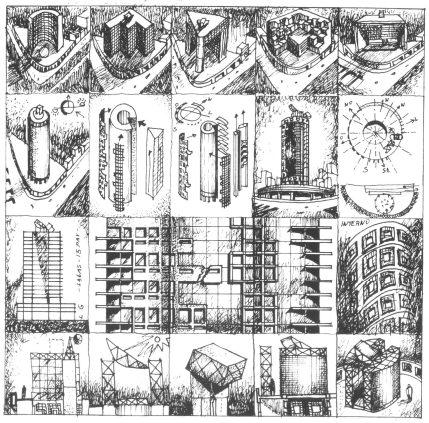


Figura 2.2.3b – Condomínio Edifício Officenter, 1989: croquis
Arquiteto: Éolo Maia
Fonte: (MAIA;VASCONCELLOS, 1995)

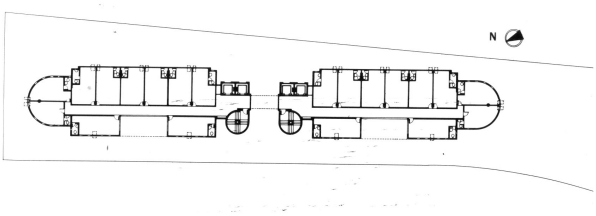


Figura 2.2.3d – Centro Empresarial Raja Gabáglia, 1989-93
Arquiteto: Éolo Maia
Fonte: (MAIA;VASCONCELLOS, 1995)



Figura 2.2.3e – Centro Empresarial Raja Gabáglia, 1989-93
Arquiteto: Éolo Maia
Fonte: (MAIA;VASCONCELLOS, 1995)

ecológico muitas vezes acabou por se mostrar intransigente e incoerente, como comenta Carvalho:

> Estas e outras catástrofes e desastres, os mais variados e habituais hoje em dia, aguçaram sobremodo o interesse do público pelos conhecimentos da Ecologia e pala manutenção da qualidade e equilíbrio do ambiente.
>
> Passeatas de protesto em quase todos os países do mundo reúnem indivíduos – em sua maioria jovens e estudantes – que se insurgem contra qualquer forma de poluição e defendem, por vezes impensadamente, a intangibilidade de certos aspectos paisagísticos e a proteção dos recursos naturais.
>
> São os chamados *ecoativistas*, que se misturam com os *ambientalistas* exaltados. (...)
>
> Há também distorções provocadas por interesses políticos ou comerciais que se ocultam sob a bandeira da Ecologia. [56]

A radicalização ambientalista acabou levando a um certo distanciamento das experimentações da arquitetura ecológica em relação à realidade mais imediata ou a sua aplicação em larga escala. A partir dos anos sessenta são realizadas experiências arquitetônicas de construções não poluentes em pequenas comunidades ecologistas isoladas, normalmente associadas aos movimentos *hippies* e a grupos naturalistas. (Fig. 2.2.4) São realizadas também investigações no campo teórico de propostas com forte influência formal e conceitual da natureza. (Fig. 2.2.5)

A consciência ecológica despertada em todo o mundo desde essa época irá desenvolver anos mais tarde, a idéia de sustentabilidade ambiental. Vários encontros mundiais foram realizados durante os anos noventa com o tema baseado na sustentabilidade ambiental e a redução da emissão de poluentes em nívem global. Entre eles destacam-se a Rio 92, que estabeleceu a Agenda 21[57], e a convenção de Kyoto que determinou a tentativa de redução de emissão de poluentes através da assinatura de um acordo entre os países participantes. Apesar disto, alguns dos países industrializados responsáveis de maneira mais direta pela poluição mundial, como os Estados Unidos, passam a ignorar solenemente as decisões tomadas pelos líderes mundiais nesses encontros. As discussões sobre a Agenda 21 e a idéia de sustentabilidade ambiental são muito amplas e envolvem uma série de outras áreas do conhecimento. Por isso, esse estudo não se aprofundará nesses temas, com o objetivo de manter o foco somente na eficiência ambiental das edificações.

---

[56] CARVALHO (1984: 82).

[57] Documento assinado entre os países participantes que tenta estabelecer as bases do desenvolvimento sustentável através de vinte e uma determinações. Na sua versão brasileira traz a seguinte definição de desenvolvimento sustentável: "conjunto de recomendações concretas de como acelerar de forma consistente, embora gradual e negociada, a substituição dos atuais padrões de desenvolvimento vigentes no mundo." CPDS (2001).



Figura 2.2.4 – Prairie House, Norman, 1961
Arquiteto: Herb Greene
Fonte: (JONES, 2002)

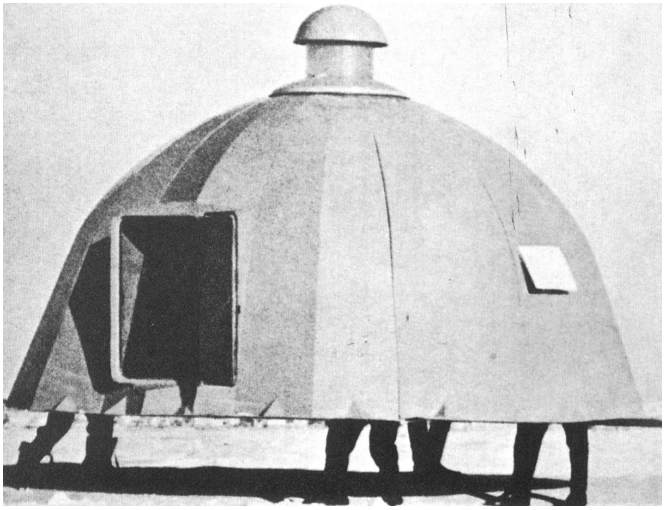


Figura 2.2.5a – Portable Architecture, Alberta, 1967
Arquiteto: Cohos Evamy Partners
Fonte: (WINES, 2000)

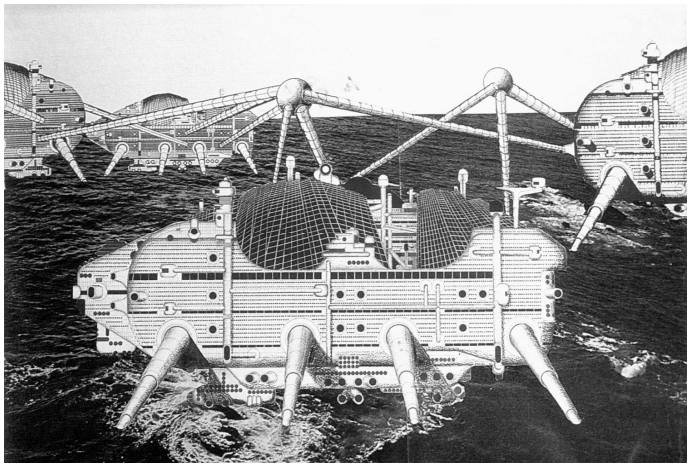


Figura 2.2.5b – Walking City, 1964
Arquiteto: Archigram
Fonte: (JONES, 2002)

Na Arquitetura, a evolução da filosofia ecologista radical para a idéia de sustentabilidade se reflete na evolução de uma arquitetura ecologista para uma arquitetura sustentável, de edifícios eficientes e ambientalmente corretos. A diferenciação se dá na medida em que essa mentalidade incorpora a idéia de garantir a manutenção de recursos naturais para as gerações futuras, como preconizam os manuais de sustentabilidade ambiental. Isso faz com que seja criada a idéia de construções que utilizem a menor quantidade de recursos naturais e energia durante todo o processo e edifícios que, durante seu uso, consumam menos recursos.

A arquitetura ecológica inicialmente se apresentou como uma arquitetura "bioclimática", ou seja, uma arquitetura pensada em relação ao ambiente local, principalmente em relação ao seu clima[58]. Esta idéia evolui ao longo dos anos oitenta para uma proposta de arquitetura "verde" ou "ecológica" [59]. Entre seus maiores defensores está Ken Yeang, que assim a define:

> O projeto ecológico ou 'verde' se traduz em construir com um impacto no meio-ambiente mínimo e, se possível, construir para conseguir o efeito oposto; ou seja, criar edifícios com conseqüências positivas, reparadoras e produtivas para o meio ambiente natural, de forma que a estrutura edificada se integre a todos aspectos dos sistemas ecológico (ecossistemas) da biosfera durante todo o seu ciclo de vida. [tradução nossa] [60]

Esta idéia, de certa forma, tenta agrupar o que já havia sido pensado até então em termos de arquitetura bioclimática e acrescentando, novos pensamentos surgidos com a idéia de desenvolvimento sustentável. Uma arquitetura sustentável seria, desta forma, "um ato positivo de reparação, restauração e renovação dos processos naturais do meio ambiente".[61] Uma outra mudança também se deu ao longo do tempo em relação às propostas de arquitetura ecológica no que diz respeito à sua dependência de recursos. No primeiro momento, as residências ecológicas priorizaram a utilização de recursos renováveis, mas posteriormente, o discurso evoluiu para a idéia de edificações completamente autônomas energicamente. Algumas dessas propostas de edificações autônomas ou autárquicas surgidas nos anos setenta, muitas vezes acabaram criando

---

[58] A expressão "projeto bioclimático" surge nos anos sessenta com os irmãos Olgyay na aplicação de conceitos do estudo do clima na definição de parâmetros de conforto nas edificações.

[59] Ken Yeang diferencia projeto bioclimático do projeto ecológico. Segundo ele, o projeto ecológico é influenciado pelo meio ambiente e o bioclimático pelo clima. Além disso, ao contrário do projeto bioclimático, o projeto ecológico se preocupa com a fonte dos materiais de construção, seus processos de fabricação e transporte e com a destinação e reuso dos produtos que o edifício gera. YEANG (2001:12).

[60] *El proyecto ecológico o 'verde' se traduce en construir con un impacto medioambiental mínino y, si es posible, contruir para conseguir el efecto opuesto; es decir, crear edificios con consecuencias positivas, reparadoreas y productivas para el medio ambiente natural, al tiempo que la estructura edificada se integra con todos los aspectos de los sistemas ecológicos (ecossistemas) de la biosfera durante todo su ciclo de vida.*YEANG (2001: 08).

[61] BERKEBILE, R., In ZEIHER, L.C., **The complete Guide to Creating the Environmentally Conscious Building,**. Nova Iorque: Whitney Library of Design, 1996, p. 31: *un acto positivo de reparación, restauración y renovación de los processos naturales del medio ambiente.* APUD: YEANG (2001: 33).

algumas contradições ao lançarem mão de enormes esforços ambientais ou muita disciplina de seus usuários em nome de uma autonomia completa em relação às redes de infra-estrutura.[62]

De uma forma geral o projeto arquitetônico ecológico difundido nos últimos anos preconiza principalmente aspectos que introduzem na elaboração arquitetural, questões amplas envolvendo o meio ambiente. Yeang prioriza as relações entre o edifício e os ecossistemas circundantes. Sua visão de projeto ecológico preconiza o mínimo deterioramento do meio ambiente e uma compatibilidade simbiótica entre o sistema projetado e os processos dos ecossistemas preexistentes. Ele acredita que o projeto deve permitir estabilidade e elasticidade do meio, ou seja, a capacidade de sofrer algum impacto e se recuperar. Sua consideração da modificação do meio natural leva em conta a conexão entre os sistemas ecológicos e admite que os sistemas ecológicos artificiais nunca poderão imitar adequadamente a complexidade dos sistemas ecológicos naturais. Ainda sim, o autor pretende através de sua metodologia de projeto, uma simbiose entre os sistemas artificiais e os naturais, levando em conta a entropia dos sistemas naturais. Yeang defende o conceito de "ciclo de vida" para o projeto arquitetônico, reconhecendo no meio ambiente a fonte provedora do edifício e o local para onde ele retornará após o fim da sua vida útil.[63]

Outros autores que militam nessa área, como Brenda e Robert Vale, defendem em seu livro *Green Architecture*[64] a conservação de energia e a diminuição do uso de combustíveis fósseis nas edificações através da tentativa de se trabalhar com o clima, o que remete aos conceitos da arquitetura bioclimática. Mas também incorporam conceitos de sustentabilidade ambiental como a diminuição do gasto de novos recursos e ainda tornar o edifício, ao final de sua vida, recurso para uma outra arquitetura. Ainda segundo os autores, a arquitetura verde de forma ampla se baseia no respeito pelos usuários e pelo sítio, num projeto elaborado com uma visão holística.

William McDonough, através de seu manifesto *The Hanover Principles*[65], propõe a construção de uma nova matriz arquitetônica que insista nos direitos da humanidade e da natureza de coexistir numa condição de saúde, diversidade e sustentabilidade, reconhecendo a interdependência, expandindo as considerações para reconhecer até efeitos distantes. O autor prega o respeito aos relacionamentos entre espírito e matéria e defende a idéia de atribuir aos

---

[62] Sobre essas experiências, ver VALE (2000) . O livro mostra o projeto e a construção já no final dos anos noventa, de uma casa parcialmente autônoma das redes de abastecimento, diferente das idéias que os próprios autores defendiam nos anos setenta, de uma tentativa de autonomia total nas edificações.

[63] YEANG (2001).

[64] JENCKS (1997:157).

[65] Ibidem, p. 160.

arquitetos a responsabilidade sobre as conseqüências das decisões de projeto em relação à natureza. Segundo ele, os arquitetos deveriam criar objetos seguros e de longa durabilidade, eliminando o conceito de perda e desperdício através da reciclagem. McDonough defende ainda que o arquiteto deva compreender as limitações do *design* e tratar a natureza como um modelo e como um mentor.

No entanto, mesmo apesar de norteada por boas intenções, valores éticos e morais louváveis na relação dos seres humanos entre si e, principalmente, entre os seres humanos e o meio ambiente, a arquitetura ecológica não conseguiu até hoje, após tantos anos desde seu surgimento, atingir um maior número de experiências construídas. Vários são os motivos para que isso tenha ocorrido.

Uma dessas razões para o isolamento do pensamento verde na Arquitetura em relação ao grande público está na sua incapacidade de resolver de maneira satisfatória a dimensão formal, inerente à Arquitetura e sem a qual não ficará comprometida qualquer possibilidade de permanência dessa arquitetura, por mais bem intencionada que seja. Normalmente nas experimentações que feitas nesse sentido, houve uma exacerbação das preocupações ecológicas em detrimento de outras questões, próprias da Arquitetura, entre elas sua dimensão formal. Este ponto de vista converge com o de Wines, para quem:

> Com bastante freqüência o problema da chamada arquitetura verde está no conflito entre ter um forte senso missionário e comprometimento admiráveis com os princípios do projeto ecológico, contra uma postura revestida de correção moral e uma falha em converter objetivos nobres em uma expressão artística equivalente. Por exemplo, há muita discussão sobre a 'arquitetura sustentável' como uma alternativa para o legado de desperdícios das sociedades industrializadas nas construções de pequeno porte. Entretanto, sem arte, toda a idéia de sustentabilidade fracassa. As pessoas nunca vão querer ter uma edificação esteticamente inferior por perto, não importa o quão bem isoladas termicamente estejam graças vidros térmicos, células fotovoltaicas, e revestimentos de baixa transmissividade. [tradução nossa] [66]

Com relação aos problemas formais dos experimentos da arquitetura ecológica, existiu, principalmente nas primeiras construções, uma aparente negligência dos aspectos formais arquitetônicos. Em alguns desses primeiros experimentos, a questão formal parece não ter sido considerada, o que criou algumas edificações das quais o que se podia perceber eram vários equipamentos a ela acoplados, placas de coletores solares fotovoltaicos, cata-ventos, tambores

---

[66] *Too often the problem with so called green architecture is the conflict between having a strong sense of mission and an admirable commitments to ecological design principles, versus an overly righteous moral posturing and a failure to convert noble objectives into an equivalent artistic expression. For example, there is much talk of 'sustainable architecture' as an alternative to the industrialized societies' wasteful legacy of short-term construction. However, without art, the whole idea of sustainability fails. People will never want to keep an aesthetically inferior building around, no matter how well stocked it is with cutting-edge thermal glass, photovoltaic cells, and zero-emission carpeting.* WINES (2000: 09).

metálicos para acumulação de água, todos ligados por estruturas treliçadas, enfim, à semelhança de uma estação espacial. [67] Esse distanciamento da imagem de uma edificação aponta para a necessidade muitas vezes de se demonstrar explicitamente os avanços tecnológicos proporcionados pela edificação. Nesse caso não se trata de negligencia da caracterização formal da proposta, ao contrário, trata-se de uma utilização desse aspecto da arquitetura como meio para propagação de um discurso tecnológico-ambientalista. (Fig. 2.2.6)

É o que acontece em vários dos projetos verdes, quando a dimensão formal não só é considerada como é tomada como meio para uma espécie de pedagogia ecológica. A idéia de usar a Arquitetura para transmitir valores caros a uma determinada sociedade é bastante antiga, podendo-se dizer que é tão antiga quanto a própria Arquitetura. A arquitetura grega, a arquitetura medieval e mesmo a arquitetura moderna fizeram largo uso desse expediente. No caso da arquitetura ecológica, no entanto essa pedagogia tenta se impor de forma excessivamente eloqüente, talvez como conseqüência da eloqüência própria do discurso ecológico em seu sentido mais amplo.

Alguns dos primeiros experimentos de construções ecológicas tiveram a virtude de ajudar a despertar a atenção para as preocupações com o meio ambiente. No entanto, idéia de se associar necessariamente uma imagem "orgânica" a um prédio que pretenda ser ecologicamente correto ou energeticamente eficiente pode se tornar um grande equívoco. Isso porque, em nome da imitação ou de uma inspiração do desenho da natureza para a elaboração de uma edificação, outros fatores são por vezes negligenciados, criando uma arquitetura que pode ser "orgânica", mas absolutamente antiecológica. É muito simples perceber que para uma determinada edificação, se um desenho mais geométrico e mais ortogonal utiliza uma menor quantidade de material, de energia e tempo no processo de construção do que outro de formas mais orgânicas e sinuosas, então o primeiro causa menor impacto ao ambiente e consome menor quantidade de recursos do que o segundo e é, portanto mais ecológico do que ele. A adoção de um *design* orgânico não assegura a eficiência ambiental da edificação. (Fig. 2.2.7)

Na formalização de um projeto arquitetônico ecológico surge também algumas vezes a necessidade de se materializar na epiderme da edificação uma imagem de ecologia, através da presença de espécimes vegetais. Muitas vezes parece haver uma finalidade didática, com todos os riscos de contradição mencionados, mas em outras há simplesmente um intuito de equilibrar as massas orgânicas e inorgânicas visíveis no exterior do edifício. É o que afirma Yeang:

---

[67] O sistema de geração de energia solar fotovoltaica foi desenvolvida para os programas espaciais norte-americanos nos anos 70 e talvez por isso tenha sido incorporado inicialmente às edificações a imagem e semelhança das estações espaciais.



Figura 2.2.6a – Australian House of the Future, Swan Valley, 1992
Arquitetos: Kimberly Ackert e Robert Dawson-Browne
Fonte: (WINES, 2000)



Figura 2.2.6b – Laredo Demonstration Blueprint Farm, Laredo, 1987
Arquiteto: CMPBS
Fonte: (WINES, 2000)



Figura 2.2.6c – The Advanced Green Builder Demonstration, Austin, 1994-97
Arquiteto: CMPBS
Fonte: (WINES, 2000)

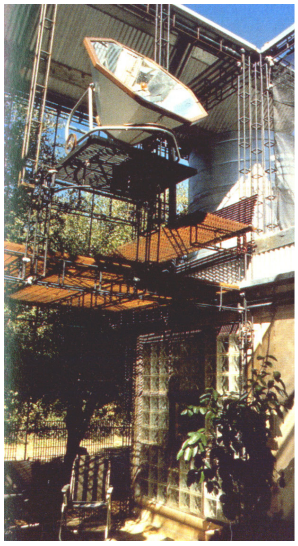


Figura 2.2.6d – The Advanced Green Builder Demonstration, Austin, 1994-97
Arquiteto: CMPBS
Fonte: (WINES, 2000)



Figura 2.2.6e – Medium GmbH, Lahr, 1991
Arquiteto: LOG ID
Fonte: (WINES, 2000)



Figura 2.2.6f – Casa Malaparte, , 1938
Arquiteto: Adalberto Libera
Fonte: (WINES, 2000)



Figura 2.2.7a – Soft and Hairy House, Tsukuba City, 1994
Arquitetos: Ushida-Findlay Partnership
Fonte: (WINES, 2000)

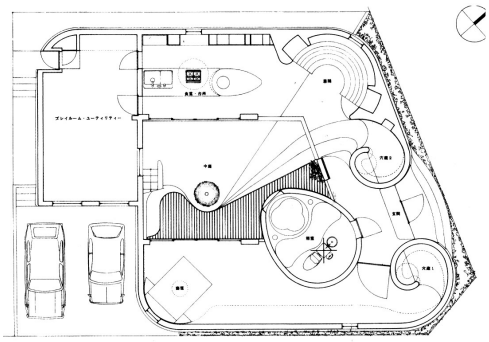


Figura 2.2.7b – Soft and Hairy House, Tsukuba City, 1994: planta
Arquitetos: Ushida-Findlay Partnership
Fonte: (WINES, 2000)



Figura 2.2.7c – Truss Wall House, Machida, 1991-93
Arquiteto: Ushida-Findlay Partnership
Fonte: (WINES, 2000)

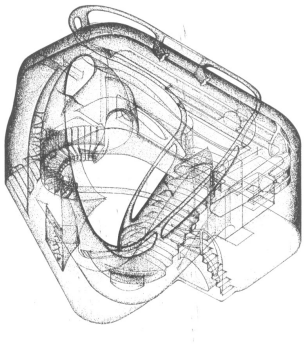


Figura 2.2.7d – Truss Wall House, Machida, 1991-93
Arquiteto: Ushida-Findlay Partnership
Fonte: (WINES, 2000)

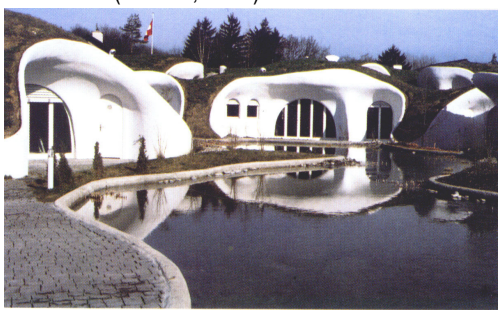


Figura2.2.7e – Nine Houses, Dietikon, 1993
Arquiteto: Peter Vetsch
Fonte: (WINES, 2000)

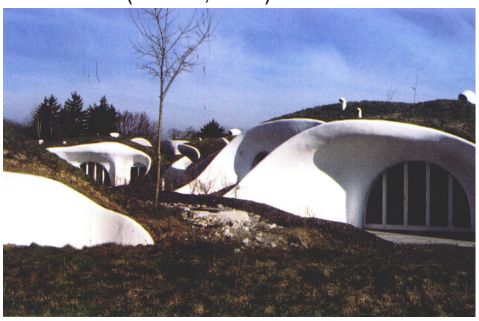


Figura2.2.7f – Nine Houses, Dietikon, 1993
Arquiteto: Peter Vetsch
Fonte: (WINES, 2000)



Figura 2.2.7g – Casa de convidados de Akira Kusumi, Hyogo, 1995
Arquiteto: Kota Kawasaki
Fonte: (JONES, 2002)



Figura 2.2.7g – Casa de convidados de Akira Kusumi, Hyogo, 1995
Arquiteto: Kota Kawasaki
Fonte:(JONES, 2002)

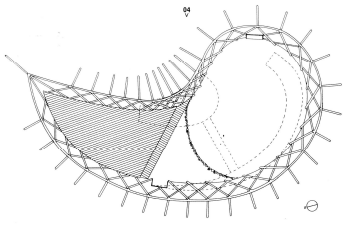


Figura 2.2.7g – Casa de convidados de Akira Kusumi, Hyogo, 1995
Arquiteto: Kota Kawasaki
Fonte:(JONES, 2002)

> Como alternativa aos dispositivos de proteção solar, o edifício pode dispor de alguns espaços de transição entre o interior e o exterior, recuados em relação à fachada: lugares cobertos ao ar livre que proporcionam um interessante alívio ao edifício e uma útil proteção solar. (...) Estes "parques a céu aberto" podem equilibrar a massa inorgânica do volume do edifício com uma massa vegetal que colabore para um ecossistema mais equilibrado.[tradução nossa][68]

Mas, assim como foi dito anteriormente, essa necessidade tomada como um objetivo prioritário ao mesmo tempo em que outras considerações são postas em um segundo plano pode contribuir para criar um edifício que, apesar de possuir árvores e arbustos nas fachadas, seja absolutamente antiecológico. Se a opção pela presença de espécimes vegetais em determinados pontos do edifício vai requerer por exemplo um maior esforço estrutural, demandará obrigatoriamente maior quantidade de concreto ou aço. Isso implicará maior consumo de matérias primas, maior gasto energético na produção, transporte e construção, maior impacto ambiental. Não se pretende afirmar que o uso de massas vegetais na epiderme das construções não contribua de alguma forma para a melhoria da qualidade arquitetônica de uma edificação. De fato, está provado que a presença da vegetação na construção melhorara o micro-clima gerado em seu interior, no que diz respeito à temperatura, umidade e também em questões psicológicas e outros aspectos subjetivos. O que se pretende afirmar é que a presença da vegetação num dado edifício quer seja em seu interior ou nas fachadas não o torna necessariamente um edifício ecológico ou ambientalmente correto. (Fig. 2.2.8)

Outro aspecto que tem reduzido a aplicabilidade prática do discurso ecológico na arquitetura é que, em alguns, exacerba-se a consideração do ambiente natural pré-existente no processo de elaboração do projeto. O discurso metodológico da ecológica aplicada à arquitetura, dá ao sítio natural e seu entorno, durante a análise de impactos, importância tal que ele passa a ser prioritário sobre o próprio projeto. Desta forma, para a realização de uma proposta arquitetônica realmente ecológica, no estudo de impacto devem ser levantadas todas espécies bióticas presentes no local e nas imediações, estabelecidas as relações das espécies com os processos físicos e biológicos significativos, criada uma hierarquia de espécies em relação à sua importância para o ecossistema, e finalmente aplicadas as conclusões biológicas ao projeto e à planificação geral. Esse cuidado excessivo com o meio ambiente e com os ecossistemas existentes em um determinado sítio faz todo o sentido quando se trata de uma construção em

---

[68] *Como alternativa a los dispositivos de protección solar, el edificio puede disponer de unos espacios de transición entre el interior y el exterior retranqueados respecto a la fachada: lugares cubiertos al aire libre, que proporcionan un interesante desahogo al edificio y una útil protección solar. (...) Estos "parques a cielo abierto" pueden equilibrar la masa inorgánica del volumen del edificio con una masa vegetal que colabore para un ecosistema más equilibrado.* YEANG (2001: 233).



Figura 2.2.8a – Biblioteca e Centro Cultural, Herten, 1994
Arquitetos: Dieter Schempp
Fonte: (JONES, 2002)

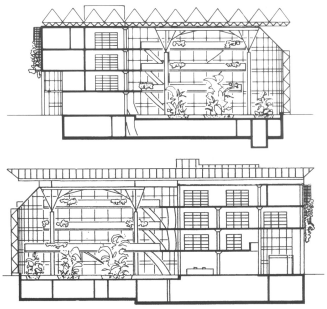


Figura 2.2.8b – Biblioteca e Centro Cultural, Herten, 1994
Arquitetos: Dieter Schempp
Fonte: (JONES, 2002)



Figura 2.2.8c – Academia Yasuda, Tokio, 1994
Arquiteto: Nihon Sekkei Inc.
Fonte: (JONES, 2002)

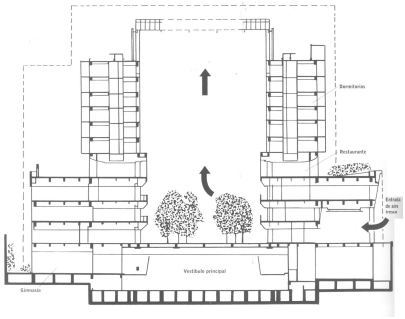


Figura 2.2.8d – Academia Yasuda, Tokio, 1994
Arquiteto: Nihon Sekkei Inc.
Fonte: (JONES, 2002)



Figura 2.2.8e – Sede Central do Commerzbank, Frankfurt, 1997
Arquiteto: Foster & Partners
Fonte: (JONES, 2002)

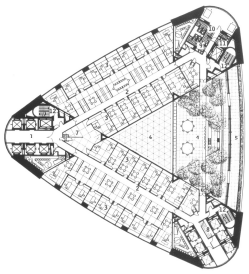


Figura 2.2.8f – Sede Central do Commerzbank, Frankfurt, 1997
Arquiteto: Foster & Partners
Fonte: (JONES, 2002)



Figura 2.2.8g – Sede Central do Commerzbank, Frankfurt, 1997
Arquiteto: Foster & Partners
Fonte: (JONES, 2002)



Figura 2.2.8h – Sede Central do Commerzbank, Frankfurt, 1997
Arquiteto: Foster & Partners
Fonte: (JONES, 2002)

um ambiente natural. No entanto esses princípios aplicados a construções no meio urbano, como ainda acontece nos dias de hoje, servem mais para atrofiar a indústria da construção civil nas grandes cidades do que para proteger espécies em extinção.

O que se viu até hoje na arquitetura verde ou ecológica, foram edificações pensadas mais por ecologistas-arquitetos do que por arquitetos-ecologistas. A Arquitetura pressupõe inevitavelmente a construção, a modificação de um sítio natural, a substituição de uma determinada área verde natural por outra construída. Nada impede que essa construção tenha espaço reservado para vegetação, obviamente não-natural. É daí que decorre a maior incompatibilidade entre a arquitetura tomada em sua essência, como "arte e técnica de organizar espaços e criar ambientes para abrigar os diversos tipos de atividades humanas, visando também a uma determinada intenção plástica", [69] e a ecologia radical, inflexível, para a qual, o ideal seria se não houvesse nenhuma alteração nas condições naturais de um determinado lugar, mesmo no meio de uma grande cidade. Os problemas da arquitetura ecológica descritos até aqui refletem de certa forma, problemas gerados ao se isolar meios e fins no que diz respeito à divulgação de métodos e estratégias de uma prática ambientalmente corretas.

Mas ainda há outros problemas na arquitetura verde que vem sendo amplamente divulgada nos últimos anos. Há também uma estranha mistura de ciência e religião que quase sempre é feita ao se tratar de ecologia, até mesmo na Arquitetura. Alguma confusão tem sido feita na catequização do *design* ecológico pelo fato de ele estar fundamentado na ecologia mais ortodoxa. O radicalismo ideológico tenta estabelecer os parâmetros dessa nova arquitetura, numa mistura entre ciência e religião própria do ambientalismo mais exaltado. Muitos dos que abraçam a causa da arquitetura ecológica defendem a idéia de uma nova ordem religiosa mundial que reconecte o homem á terra e ao cosmos, através da qual novos parâmetros construtivos, baseados na ecologia, poderiam ser mais rapidamente disseminados. Desta forma, na tentativa de estabelecer parâmetros objetivos para uma construção ambientalmente correta, alguns ecologistas acabam misturando interesses objetivos com questões místicas e filosóficas. Alguns defensores da arquitetura ecológicos propõem para o estabelecimento de um pensamento que norteie a cultura humana do século XXI, uma nova ordem teológica, misturando religiões orientais, budistas, taoistas, hinduístas, feng-shui, meditação, espiritismo e até mesmo religiões trogloditas pré-históricas [70]. A falta de um maior número de construções ambientalmente corretas hoje,

[69] HOUAISS (2001).

[70] O motivo da adoção destas religiões mais remotas da humanidade estaria, segundo seus defensores, no fato de serem elas as únicas que não se baseiam em divindades antropomórficas e, portanto estariam mais ligadas aos elementos da natureza.

questão que motiva essa pesquisa, é atribuída à falta de um pensamento filosófico-religioso direcionado para as questões ambientais, como afirma Wines:

> O suprimento de literatura de base filosófica lidando com a arquitetura ecológica ainda é limitado. (...) É difícil ignorar o fato de que as sociedades industriais em toda parte parecem estar curso de autodestruição. Como resposta, há hoje centenas de publicações sobre a reforma ambiental e na sua relação com cada aspecto de sobrevivência – incluindo conservação de recursos, uso da terra, reciclagem, legislação governamental, políticas econômicas e cuidados de saúde. Uma pequena parte dessa literatura aceitou o fardo da responsabilidade de remodelar as atitudes mentais das sociedades contemporâneas para com a Terra e o incrível desafio de preparar o terreno para o possível surgimento de filosofias e religiões eco-cêntricas. [tradução nossa] [71]

O discurso ecológico na arquitetura apresentou, até hoje, algumas fragilidades que limitaram a possibilidade de construção de edificações ambientalmente corretas em larga escala. A ecologia se impôs na arquitetura, como prioritária sobre qualquer outra demanda, mesmo as que lhe eram inerentes, o que barrou qualquer possibilidade de utilização dessa doutrina de forma ampla. Em outros casos, existiu a tentativa de desviar as prioridades na elaboração do projeto arquitetônico para questões metafísicas. De forma geral, o discurso verde defendeu uma inflexibilidade total com relação à defesa do meio ambiente, quer fosse através de princípios científicos, ou por questões místicas. E exatamente por se basear em uma obediência rigorosa e literal a um conjunto de princípios básicos, mesmo que para isso ignorando outras questões cruciais, é que o discurso ecológico na arquitetura se caracterizou, até agora, por uma espécie de "fundamentalismo verde".

Nos últimos dez anos porém, foram construídos vários exemplos de uma nova arquitetura ecológica, principalmente na Europa, que consegue eliminar várias das incongruências apresentadas pelos arquitetos adeptos do fundamentalismo verde. O simples fato de essas propostas estarem sendo construídas em um maior número, já indica que alguma mudança ocorreu. (Fig. 2.2.9) Foram deixados de lado, os radicalismos ecológicos que barravam o desenvolvimento das construções preocupadas com o meio ambiente. Essa arquitetura consegue conciliar os objetivos apregoados até então pela doutrina ecológica na Arquitetura, mas sem os preconceitos formais e ideológicos de antes. Mais do que isso, a nova arquitetura ecológica faz largo uso exatamente da linguagem formal modernista, geométrica, abstrata e não-

---

[71] *The supply of philosophically based literature dealing with ecological architecture is still limited.* (…). *It is difficult to ignore the fact that industrialized societies everywhere appear to be on an earth-ravaging suicide course. In response, there are now hundreds of publications on environmental reform and its relationship to every aspect of survival – including resource conservation, land use, waste disposal, government legislation, economic policy, and heath care. Very little o f this literature places the burden of responsibility on re-shaping contemporary societies' mental attitudes toward the earth and the awesome challenge of setting the stage for the possible emergence of eco-centric philosophies and religions. (…).* WINES (2000: 15).



Figura 2.2.9a – Instituto de Investigação, Wageningen, 1993-98
Arquitetos: Behnisch, Behnisch & Partner
Fonte: (GAUZIN-MÜLLER, 2002)



Figura 2.2.9b – Instituto de Investigação, Wageningen, 1993-98
Arquitetos: Behnisch, Behnisch & Partner
Fonte: (GAUZIN-MÜLLER, 2002)

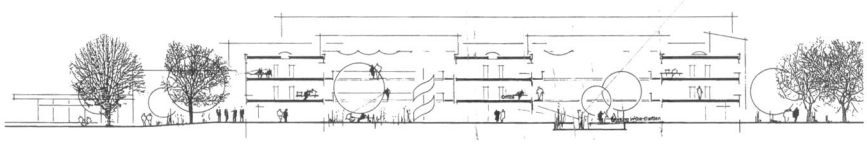


Figura 2.2.9c – Instituto de Investigação, Wageningen, 1993-98
Arquitetos: Behnisch, Behnisch & Partner
Fonte: (GAUZIN-MÜLLER, 2002)



Figura 2.2.9d – Liceo Leonardo da Vinci, Calais, 1995-98
Arquitetos: Isabelle Colas e Fernand Soupey
Fonte: (JONES, 2002)

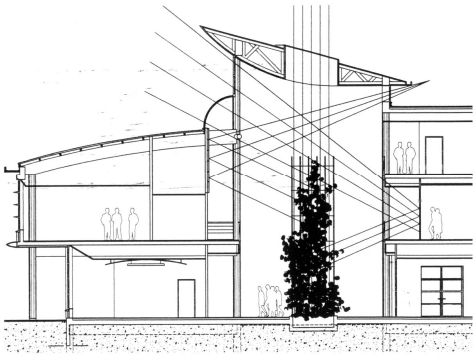


Figura 2.2.9e – Liceo Leonardo da Vinci, Calais, 1995-98
Arquitetos: Isabelle Colas e Fernand Soupey
Fonte: (JONES, 2002)

orgânica tão desprezada pelos primeiros defensores da arquitetura ecológica. Essas novas arquiteturas aliam altíssima tecnologia construtiva, eficiência ambiental e soluções formais felizes. Despindo-se assim, da preocupação em associar a preocupação ambiental com uma imagem arquitetônica que remeta à natureza, os novos arquitetos verdes conseguiram colocar suas propostas em uma relação de continuidade com o pensamento arquitetônico que estava esquecido desde a primeira metade do século XX, no sentido de apresentar uma arquitetura que alie conhecimento das técnicas construtivas disponíveis, absoluto domínio das demandas funcionais e grande sensibilidade formal sem deixar de considerar o ambiente natural em nenhum momento.

Mesmo apesar de algumas vezes carregar alguns exageros e às vezes até mesmo alguns equívocos, os movimentos ecologistas tiveram ao longo dos mais de trinta anos de sua existência, inegáveis méritos. O mais importante deles para a sociedade como um todo, está na formação de uma mentalidade para o século XXI de maior consciência e preocupação com relação ao meio natural, aos ecossistemas, a natureza em geral. Especificamente no universo da Arquitetura esses movimentos foram muitíssimo importantes. Além da contribuição citada, o advento dos paradigmas ecológicos nos últimos anos trouxe de volta para a Arquitetura a perspectiva de uma retomada da relação entre a construção e o meio ambiente de forma mais correta. Assim como o movimento pós-moderno na arquitetura teve grande importância para o desenvolvimento da arquitetura ao apontar as graves falhas que a arquitetura do pós-guerra apresentava, devido ao esvaziamento de fundamentos do *International Style*, o discurso ecológico ajudou a trazer questões como a eficiência energética para a ordem do dia na arquitetura atual.

A disseminação da ecologia como ciência - e não como instrumento místico de re-conexão do homem com a terra – entre os arquitetos promoverá certamente a formação de arquitetos com maior consciência ambiental. A falta de elementos ligados à ecologia e de fundamentos científicos na formação dos arquitetos tem sido motivos pelos quais o projeto ecológico tem sido pouco experimentado na prática até hoje, como afirma Yeang:

> Uma das razões pelas quais até agora o "projeto ecológico" foi tão pouco pensado e quando pensado, o foi de modo incompleto, é que a maioria dos arquitetos carecia de conhecimentos ecologia, biologia, e outros campos do saber que intervêm nos assuntos ambientais.
>
> (...)
>
> Obviamente, o ensino tradicional de arquitetura deverá ser modificado. O programa das escolas de arquitetura terá que incluir as disciplinas de ecologia e biologia ambiental. Além disso, outras disciplinas afins, como conservação de recursos, reciclagem, gestão de energia e dos

> materiais e controle de contaminação, também estão relacionadas com o projeto ecológico e, conseqüentemente, deverão também se incluir nestes programas. [tradução nossa] [72]

No entanto, essa inclusão de áreas das ciências ligadas às preocupações com o meio ambiente no ensino de arquitetura deve ser estabelecida com o claro objetivo de um conhecimento aplicado à Arquitetura e não como uma disciplina autônoma, sob pena de cair nos erros cometidos quando os aspectos ambientais prevalecem sobre a necessidade de se construir como já foi dito. Esta autonomia de conteúdos acontece quando um conhecimento é colocado de forma estanque no processo de aprendizagem da Arquitetura e principalmente em relação à pedagogia do projeto arquitetônico, espinha dorsal do curso.

Passados mais de quarenta anos desde a divulgação das primeiras teorias ecológicas, a noção quanto à importância e o cuidado com o meio ambiente já parece estar bastante sedimentada em todos os segmentos da sociedade. Não parece ser pela falta de noção das pessoas quanto à importância da preservação dos recursos naturais que mais edifícios ambientalmente corretos não tenham sido erguidos. Não parece também ser pela falta de uma religião ou de uma filosofia global de maior capacidade persuasiva da ecologia junto ao grande público que as preocupações ambientais não consigam passar da teoria à prática nas construções de hoje. Tão pouco parece ser por uma questão de gosto das pessoas que a arquitetura dotada de desenhos orgânicos e que remetem à natureza não tenha sido levada a sério. No entanto, parece claro que se existe alguma possibilidade de conciliação entre Arquitetura e ecologia em larga escala, ela deverá começar pela consideração da Arquitetura como arte e técnica da construção e da ecologia como ciência, sem entrar em nenhum momento em divagações religiosas e metafísicas ou rejeitar formas ortogonais porque não lembram as formas da natureza. O projeto de uma edificação que possua eficiência ambiental deve estar baseado em fundamentos científicos que levem considerações como o uso racional de energia elétrica e água para dentro da elaboração arquitetônica.

---

[72] *Una de las razones por las que hasta ahora el "proyecto ecológico" se ha pensado tan poco y cuando se ha pensado se ha sido de un modo tan incompleto, es que la mayoría de los proyectistas carecían de conocimientos de ecología, biología y otros campos del saber que intervienen en los asuntos ambientales. (...)*

Obviamente, la enseñanza tradicional de la arquitectura ha de ser modificada. El programa de las escuelas de arquitectura tendrá que incluir las disciplinas de ecología y biología ambiental. Además, otras disciplinas afines, como conservación de recursos, reciclaje, gestión de la energía y los materiales, y control de la contaminación, también están relacionadas con el proyecto ecológico y, en consecuencia, deberán también incluirse en dichos programas. YEANG (2001: 281)

3 . Eficiência Ambiental nas Edificações: Revisão Tecnológica

Este capítulo falará sobre alguns recursos utilizados nas edificações para a racionalização do uso de energia e água e que não dependem da elaboração arquitetônica, mas que, no entanto, precisam ser bem compreendidas pelo arquiteto para que as considere desde as etapas iniciais do seu projeto. Os conceitos que serão discutidos aqui são próprios das engenharias e normalmente são incorporados aos projetos em suas fases mais maduras. Porém, o conhecimento prévio dos princípios gerais que orientam esses recursos pode garantir mais qualidade ao projeto final e, conseqüentemente, à edificação construída.

Qualquer alteração em um projeto arquitetônico é mais facilmente assimilada nas fases iniciais, quando as soluções ainda não se encontram tão sedimentadas e têm menos amarrações com outras áreas envolvidas no processo. Nesse sentido, o conhecimento sobre o funcionamento destes recursos dá ao arquiteto, condições de incorporá-las às definições preliminares de sua proposta. Mesmo nas fases mais adiantadas do projeto arquitetônico, quando outros profissionais especialistas nas diversas áreas são incorporados ao processo, o arquiteto que conhece melhor tecnicamente as soluções que serão desenvolvidas por eles, está mais apto a coordenar a compatibilização entre os projetos e as discussões técnicas que fazem parte dessas etapas de desenvolvimento das propostas.

Os assuntos a serem abordados tratam de inovações técnicas e tecnológicas nas áreas da construção civil e das instalações prediais. Serão empreendidas algumas análises sobre essas novas tecnologias que começam a se difundir nas edificações com o objetivo de reduzir o consumo de recursos energéticos e água. Nesse sentido o objetivo aqui será o de constituir este capítulo como um estado da arte das tecnologias da eficiência ambiental em edificações. Assim, fica admitida a possibilidade de analisar sistemas em estágio de desenvolvimento e que, exatamente por isso, deverão ser re-analisados brevemente pela rápida processo evolutivo em que se encontram.

Apesar de tratar de assuntos ligados à arquitetura de forma indireta, o objetivo principal dessa revisão é o de extrair e sintetizar as informações que podem ser úteis ao arquiteto nas fases iniciais da elaboração do seu projeto. Neste capítulo os assuntos estarão reunidos em cinco grupos e apresentados na forma de artigos, onde são discutidos de maneira mais distendida. Serão abordadas maneiras de tornar mais eficientes os sistemas de iluminação e climatização artificiais através da arquitetura. Em seguida serão discutidas estratégias de geração autônoma e fontes alternativas de energia. Depois serão analisados os sistemas eletrônicos de automação predial que estabeleceram o conceito de “edifício inteligente”.

Por último, será feita uma análise dos processos de reutilização de água nas edificações.

Uma revisão do estado da arte das tecnologias disponíveis que contribuem para a eficiência ambiental nas edificações se mostrou necessária a partir da experiência com a disciplina optativa. O conhecimento bastante reduzido por parte dos estudantes de arquitetura sobre o que há de novo nas engenharias correlatas à arquitetura em termos de racionalização energética, geração de energia, reutilização de água e outros aspectos, demonstrou a necessidade de uma abordagem que proporcionasse essa revisão tecnológica. Dando prosseguimento ao princípio estabelecido na apresentação da pesquisa, de tentar se estabelecer fundamentos para proporcionar uma elaboração de projetos arquitetônicos mais ambientalmente eficientes, é que foram escolhidos os temas que serão abordados nesse capítulo e dentro de cada um deles, extraídas as informações mais importantes para o arquiteto.

3.1 . Eficiência na Iluminação Artificial

A iluminação artificial não só é admitida numa edificação ambientalmente correta como deve ser muito bem estudada, para que, uma vez admitida sua condição de imprescindibilidade em qualquer edificação, deve permitir a realização das tarefas humanas de forma eficiente e consumir a menor quantidade de energia possível. [73] Assim, eficiência na iluminação artificial fica colocada já a princípio como a capacidade de gerar a maior quantidade de luz com o menor consumo de energia. É definida portanto, pelo fluxo luminoso* produzido por uma dada potência elétrica, e por isso, medida em Lumens/Watt. Acompanhando a boa eficiência luminosa, o sistema de iluminação deve apresentar uma luz de alta qualidade, longa vida útil e baixo custo. A qualidade da iluminação está associada a sua capacidade em reproduzir as cores que enxergamos sob a luz natural, vinda do sol. Este índice é chamado IRC, ou índice de reprodução de cor.

As lâmpadas utilizadas nas edificações são divididas em dois grupos principais: aquelas que produzem luz através da irradiação por aquecimento de um filamento, sendo por isso chamadas de lâmpadas de filamento e aquelas que produzem luz através da descarga elétrica em um ambiente gasoso, sendo chamadas de lâmpadas de descarga. O grupo das lâmpadas de filamento inclui as incandescentes comuns, as incandescentes com bulbo espelhado, e as halógenas. As lâmpadas halógenas recebem este nome por apresentarem dentro de um bulbo de quartzo um gás do grupo dos halogênios*, normalmente o iodo. São as lâmpadas halospot, AR, Mastercolour, palito e, as mais conhecidas, as lâmpadas dicróicas*. (Fig. 3.1.1)

No grupo das lâmpadas de descarga, as mais utilizadas são as lâmpadas fluorescentes. Estas incluem as lâmpadas comuns, tubulares e mais antigas. Similares à elas, são as de tubo de alta eficiência, mais modernas, e mais finas. Existem também as fluorescentes compactas, símbolos da mobilização popular no Brasil em virtude do racionamento de energia.[74] Entre as lâmpadas de descarga, existem também as chamadas de vapores metálicos dentre as quais existem: a de vapor de mercúrio, a de multivapores metálicos ou HQI, a de vapor de sódio de alta pressão e a de vapor de sódio de baixa pressão. (Fig. 3.1.2) Uma comparação entre as lâmpadas descritas pode ser feita em vários aspectos e proporcionar ao arquiteto a escolha mais adequada para cada circunstância. (Fig. 3.1.3)

---

[73] O que se enquadra no conceito de "conservação de energia". Segundo o PROCEL, "a conservação deve ser entendida como a utilização de uma menor quantidade de energia para obtenção de um mesmo produto ou serviço através da eliminação de desperdício, do uso de equipamentos eficientes e do aprimoramento de processos produtivos."

[74] A respeito dos "apagões" e do racionamento de energia elétrica no Brasil nos últimos anos, ver ROSA (2001).

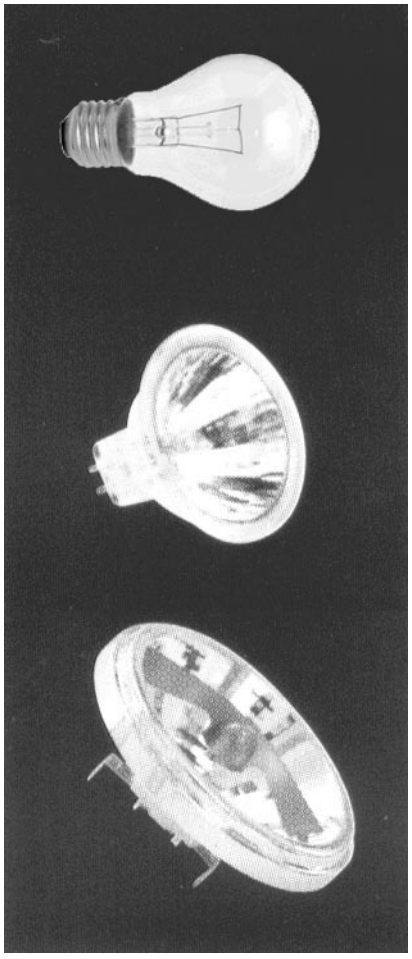


Figura 3.1.1 – Lâmpadas de filamento
Fonte: Manual Philips 2001

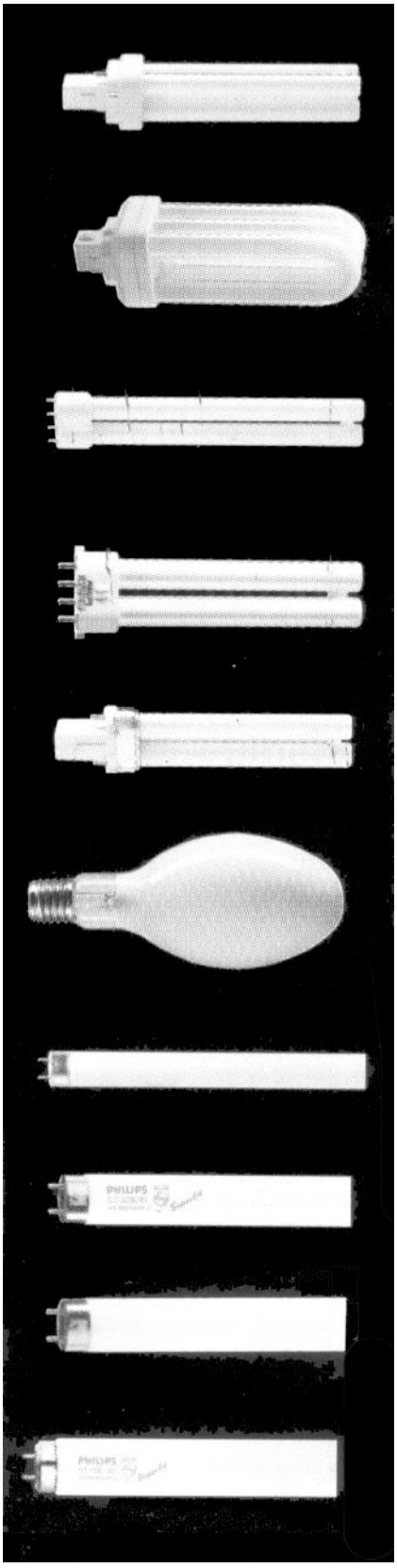


Figura 3.1.2 – Lâmpadas de descarga
Fonte: Manual Philips 2001

Característica	TIPOS DE LÂMPADAS							
	Incandescentes	Halógenas	Fluorescente	Fluorescente compacta	VMAP	Vapor metálico	VSAP	VSBP
Potências mais comuns (W)	15 até 400	10 até 2000	15 até 110	5 até 13	50 até 1000	70 até 2000	50 até 400	18 até 180
Eficiência luminosa (lm/W)	6 até 19	16 até 22	49 até 84	9 até 23	32 até 58	77 até 85	70 até 120	100 até 183
Vida média (H)	1.000	2.000	10.000	8.000	15.000	10.000	24.000	24.000
Equipamento auxiliar	Não é necessário	Necessário transformador (para dicróicas)	Necessita de reator e starter em função do tipo de lâmpada	Necessita de reator em função do tipo de lâmpada	Necessita de reator em função do tipo de lâmpada	Necessita de reator e ignitor em função do tipo de lâmpada	Necessita de reator e ignitor em função do tipo de lâmpada	Necessita de reator e ignitor em função do tipo de lâmpada
Custo do sistema inicial / Operacional	baixo / alto	médio / alto	médio / baixo	baixo / baixo	médio / médio	alto / médio	alto / baixo	alto / muito baixo
Cor da luz	Branca quente	Branca quente	Branca quente Branca neutra Luz do dia	Branca quente	Branca neutra	Branca quente Branca neutra Luz do dia	Branca quente	Amarela
Temperatura de cor	2.800 K	3.000 K	4.200 K	2.700 K	5.900 K	6.000 K	2.100 K	1.800 K
Reprodução de cor	Ótima	Muito boa	Boa	Boa	Boa	Muito boa	Ruim	Péssima

Figura 3.1.3a – Tabela comparativa da Eficiência das Lâmpadas
Fonte:(ALMEIDA,1996)

Tipo de lâmpada		Potência (W)	Fluxo Luminoso (lm)
Fluorescentes	Super Luz do dia	15	800
		30	2.000
		85	5.900
		110	8.200
	Alvorada 35	20	1.150
		40	3.000
	Super 84	16	1.150
		32	2.850
Vapor de Sódio	Alta pressão	50	3.500
		70	5.600
		150	14.000
		250	25.000
		250T	27.000
		400	47.000
		400T	48.000
	Baixa pressão	18	1.800
		26	3.700
		35	4.800
		36	5.700
		55	8.000
		66	10.700
		90	13.500
		91	17.000
		131	26.000
		135	22.500
		180	33.000
Incandescente Modelo 127 V Clara	Comum	25	230
		40	430
		60	730
		75	960
		100	1.380
		150	2.150
	Econômica	36	445
		54	765
		90	1.440

Tipo de Lâmpada	Potência (W)	Fluxo Luminoso (lm)
Vapor Metálico	70	5.000
	150	13.000
	250	19.000
	400	33.000
	400/T	31.500
	1000/T	80.000
	2.000	170.000
	3.500	300.000
Halogênio	100	1.620
	150	2.500
	200	3.200
	300	5.000
	400	7.000
	500	9.500
	1.000	22.000
	2.000	44.000
Vapor de Mercúrio	50	1.800
	80	3.800
	125	6.300
	250	13.000
	400	22.000
	700	40.000
	1.000	58.000
Luz Mista	160	3.100
	250	5.600
	500	14.000

Figura 3.1.3b – Tabela comparativa da Eficiência das Lâmpadas
Fonte: (ALMEIDA, 1996)

Existem, já há mais de dez anos, pesquisas nos Estados Unidos para o desenvolvimento de uma lâmpada de microondas (*sulfur microwave lamp*). (Fig. 3.1.4) Essa lâmpada, segundo os especialistas, pode ser a grande revolução da iluminação eficiente para o século XXI. Seu funcionamento se baseia num bulbo com uma mistura de gás argônio com enxofre, que é convertida numa espécie de plasma ao ser submetida a microondas e, dessa forma, emite luz. Tem altíssimo IRC, vida útil maior do que qualquer outra lâmpada e altíssima eficiência luminosa. Acredita-se que pela sua vida útil e grande semelhança com a luz do dia, essa iluminação terá largo uso em espaços públicos e locais de grande fluxo de pessoas em que seu alto custo possa ser assimilado.

Nem sempre o critério da eficiência luminosa é o único parâmetro para a escolha do tipo de iluminação no projeto de arquitetura. Muitas vezes outras variáveis são importantes, como o custo. Há casos em que a dificuldade de manutenção e troca é tamanha que a vida útil da lâmpada passa a ser o principal critério, como acontece em postes públicos, galpões, fábricas, etc. O arquiteto deverá sempre levar em conta todos os aspectos relacionados aos tipos de lâmpadas para poder escolher corretamente qual a melhor iluminação para o seu projeto. A eficiência luminosa, em virtude da realidade de crescente busca por eficiência energética nas edificações passou a ser sem dúvida, o primeiro critério de escolha, mas os demais itens deverão sempre ser observados.

No entanto, não basta a definição quanto ao tipo de lâmpada. O tipo de luminária também deverá ser definido e, quanto a isso, o arquiteto deve atentar para não colocar a perder os ganhos obtidos na escolha da lâmpada. Existe um índice de rendimento da luminária que normalmente é calculado com a razão entre a luz emitida pela lâmpada na luminária pela luz emitida pela lâmpada sozinha. Esse índice é conhecido com rendimento da luminária ou fração de emissão de luz e medido como percentual. Luminárias que tem paredes com alta absortividade são menos eficientes porque absorvem parte significativa da luz emitida pela lâmpada. [75] As luminárias de alta eficiência, normalmente associadas a lâmpadas fluorescentes, têm interior espelhado e aletas que ajudam a direcionar o fluxo luminoso para o plano de trabalho. (Fig. 3.1.5) As luminárias para lâmpadas fluorescentes devem também, em proveito da eficiência energética, utilizar sempre reatores eletrônicos. Os reatores são indispensáveis ao funcionamento das lâmpadas de descarga e os modelos eletrônicos, por serem mais modernos, conseguem consumir menos energia do que os reatores de partida rápida ou os convencionais, mais antigos.

[75] A simples limpeza periódica das luminárias pode aumentar cerca de 15% da sua iluminância. Fonte: ALMEIDA (1996:49)

Além da escolha dos equipamentos, o arquiteto deve, sempre que possível, trabalhar com o conceito da iluminação de tarefa. Este conceito preconiza a incidência de luz concentrada próximo de onde serão realizadas tarefas que exigem maior carga luminosa. Assim o restante do recinto pode ter uma iluminação mais branda, economizando energia. Esta estratégia é bastante útil quando aplicada em larga escala como, por exemplo, em escritórios, sobre as mesas de trabalho ou em salas de leitura, como bibliotecas. (Fig. 3.1.6) Recomenda-se, a fim de evitar desconfortos com contrastes ofuscamento, que razão entre a luminância* do plano de trabalho e do entorno imediato seja inferior a 3:1 e a razão entre a luminância do plano de trabalho e a do ambiente seja inferior a 9:1. A utilização dessa estratégia é importante também na possibilidade de relação entre luz natural e artificial, uma vez que o arquiteto pode ficar desobrigado de criar grandes janelas em um local onde há grande necessidade de luz, o que poderia ocasionar devido a maiores trocas térmicas, um gasto energético maior do que com algumas lâmpadas para iluminação da área de trabalho. A iluminância de um plano de trabalho aumenta muito se a altura da fonte de luz for reduzida, o que pode ser um artifício muito útil no projeto para aumentar a eficiência da iluminação de tarefa e conseqüentemente, sua eficiência energética. (Fig. 3.1.7)

Com o objetivo de aumentar a eficiência da iluminação artificial, o arquiteto deve também ter em mente que as superfícies tem grande influência na capacidade de reflexão da luz que está sendo utilizada. Assim, materiais mais escuros e porosos são menos refletores do que as superfícies claras e lisas, o que faz com que os primeiros necessitem de um nível mais alto de iluminância. Muitas vezes a opção por um revestimento para os ambientes internos pode encontrar na eficiência luminosa seu maior aliado. (Fig. 3.1.8)

Também pode ser útil, com vistas à eficiência energética, a adoção de comandos independentes para as lâmpadas de um mesmo espaço. Isso permite a utilização de setores isolados da iluminação de acordo com a necessidade de luz em cada área dentro do mesmo recinto, caso contrario seria necessário acender todas as lâmpadas de uma só vez. [76] Dentro desse mesmo conceito, em grandes áreas de trabalho como escritórios, o arquiteto pode, com ajuda do engenheiro responsável pelo projeto de instalações elétricas, propor setores de iluminação lineares, com comandos independentes e paralelos às fontes de iluminação natural. Assim eles podem ser ligados na medida em que a luz natural vai diminuindo, primeiramente nos pontos mais distantes até chegar nos locais próximos das aberturas. Essa estratégia é bastante

[76] Sobre recursos para automação de iluminação setorizada, falar-se-á mais no capítulo 3.4.



Figura 3.1.4 – Lâmpada de microondas (*sulfur microwave lamp*). Fonte: Lamptech. Disponível em <http://www.lamptech.co.uk/Spec%20Sheets/Sulphur.htm> Acesso em 10 de fevereiro de 2005

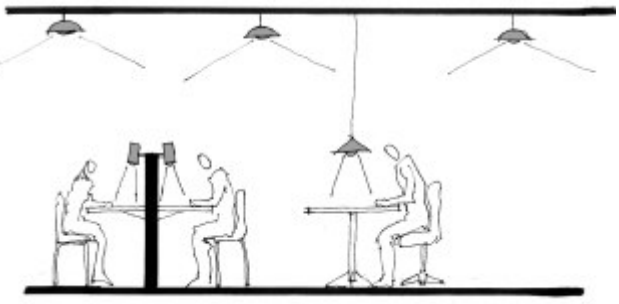


Figura 3.1.5 – Iluminação de tarefas
Fonte: Desenho do autor

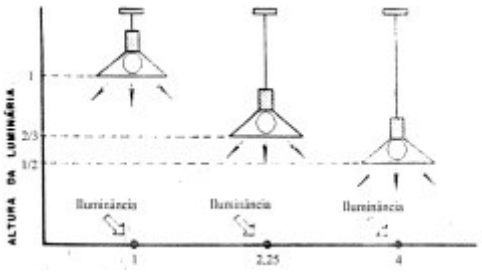


Figura 3.1.7 – Influência da altura da fonte de luz na iluminação de tarefa
Fonte: (ALMEIDA, 1996)

Material	Reflexão (%)
Parede branca	80
Mármore branco	60 a 65
Parede amarela	35
Concreto (ou pedra)	25
Concreto (ou pedra) escuro	5 a 10
Tijolo vermelho	20
Granito	10 a 15
Concreto sujo	5 a 10
Prata polida	90 95
Alumínio	55 a 90
Vidro transparente	6 a 8

F erfícies nos níveis de iluminância
LMEIDA, 1996)









Figuras 3.1.9a,b,c,d – Led 3mm, Led 10mm, Led luxeon star emitter LXHL MWEC, Superflux led 2000mcd
Fonte: PPP Eletroknik. Disponível em <http://www.ppp-shop.de/index.php?cat=39> Acesso em 10 de fevereiro de 2005

eficiente uma vez que os horários de diminuição de luz natural no Brasil estão próximos do final do expediente na maioria dos escritórios, atividades comerciais e serviços públicos, o que pode reduzir consideravelmente o consumo de energia com iluminação artificial neste período do dia.

O arquiteto pode também, sempre contando com o auxílio técnico dos engenheiros envolvidos no projeto, exigir através do projeto a utilização de alguns equipamentos eletrônicos bastante simples e que diminuem os desperdícios de energia com iluminação. O primeiro deles é o acionamento de luz através do sensor eletrônico de presença. Este recurso simples é já bastante utilizado para sistemas de segurança e permite que a iluminação de determinados espaços de pouco uso só seja acionada quando uma pessoa nele adentra. Por isso deve ser usado em locais de passagem como circulações ou áreas externas, tomando-se o cuidado de não utiliza-lo com lâmpadas fluorescentes devido à redução de sua vida útil com o acionamento contínuo.

Há também o controle de acionamento através da falta de luz. Um sensor fotoelétrico é instalado junto ao sistema de iluminação, permitindo que a luz só se acenda quando a luminância ambiente está baixa o suficiente para justificar esse acionamento. Esse recurso é especialmente útil para iluminação de áreas públicas, onde já é utilizado em postes urbanos, por exemplo. Neste caso, permite grande economia de energia uma vez que evita que a iluminação seja ligada cedo demais ou desligada muito tarde. O arquiteto pode fazer uso deste recurso em áreas externas, jardins, espaços públicos ou mesmo em recintos que precisem de luz durante toda à noite.

Outro recurso bastante utilizado e do qual o arquiteto não pode abrir mão é do sistema de programação de acionamento por tempo, ou temporizadores. Estes podem ser programados para acender e apagar um sistema de iluminação em determinadas horas do dia ou ainda podem ser programados para sempre apagar algum tempo depois de serem acionadas. Neste último caso, têm especial utilidade em prédios de apartamentos, nos vestíbulos entre os elevadores e as portas dos apartamentos. Por se tratar de uma área de curta permanência, são programados para apagarem a luz alguns minutos depois do acionamento. Os potenciômetros ou como são mais conhecidos comercialmente, os *dimmers* também podem ser utilizados para redução de consumo de energia com iluminação na medida em que reduzem a potência consumida para reduzir sua iluminância*.

A tecnologia mais nova na iluminação é a dos LEDs. Ainda em desenvolvimento, esse promete ser o grande trunfo da iluminação eficiente para os próximos anos. O LED (Light Emitting Diode) é um diodo* que emite luz e trabalha em corrente contínua. Já utilizado há alguns anos em circuitos eletrônicos, esse componente provou poder ser utilizado para iluminação. Para isso, são instalados vários LEDs em uma placa eletrônica, com um retificador e um estabilizador de

corrente, além de uma lente para aumentar a difusão de luz. O mecanismo vem sendo testado em países desenvolvidos em semáforos, com resultados surpreendentes: economiza 90% da energia, tem maior nível de confiabilidade por ser mais resistente a água e reduziu os custos de manutenção graças à sua maior vida útil. A economia se deve à maior eficiência energética do LED, que produz 24 lumens/Watt, ao passo que uma lâmpada comum de filamento produz 10 lumens/Watt, o que o torna 104% mais eficiente. A lâmpada incandescente quando comparada com o LED se mostra bastante obsoleta, pois para o seu funcionamento há uma grande perda de energia que é transformada em calor, o que chega a quase 90% do gasto energético. A tecnologia de iluminação com LED tende a se aprimorar nos próximos anos principalmente na qualidade da luz emitida, afim de ganhar maior espaço no mercado mundial de iluminação. Se isso acontecer, considerando as perspectivas de economia energética que esse sistema demonstra ter, será dado um enorme passo em direção a uma redução do consumo de energia com iluminação em escala global

Todos os recursos descritos anteriormente podem ser combinados de forma a criar um sistema integrado de recursos de incremento da eficiência energética na iluminação artificial de uma edificação. O arquiteto deve sempre atentar para a iluminação artificial no seu projeto, mesmo que ela vá ser posteriormente desenvolvida no projeto elétrico com relação ao dimensionamento de cargas, circuitos, cabos, disjuntores, etc. É importante que o arquiteto tenha um conhecimento básico sobre iluminação artificial para que possa trabalhar com os efeitos que a luz artificial pode proporcionar na falta da luz natural, de maneira ambientalmente correta.

3.2 . Eficiência na Climatização Artificial

A edificação energeticamente eficiente não é hoje aquela que impõe aos seus usuários somente sistemas passivos de climatização, banindo o uso de qualquer equipamento elétrico de correção de temperatura ou umidade. De fato, há circunstâncias em que nem mesmo o mais eficiente sistema de ventilação natural seria capaz de abrandar o desconforto gerado pelo calor ou frio excessivo. Partindo desse pressuposto, como aliás o fazem atualmente aqueles que difundem ideais de projetos arquitetônicos ambientalmente corretos, pretende-se abordar neste capítulo a eficiência na climatização artificial dentro dos limites da interface com a arquitetura. Assim como foi feito no capítulo anterior com a iluminação artificial, o assunto será abordado através de uma visão panorâmica sobre a eficiência nos sistemas de climatização artificial e sobre os aspectos que interessam ao projeto de arquitetura.

Entre os equipamentos de climatização artificial, existem os sistemas de ventilação e exaustão mecânica, de refrigeração e de aquecimento. O conhecimento elementar sobre estes sistemas pode ajudar o arquiteto a encontrar soluções arquitetônicas que os abrigue de forma adequada e evite situações em que decisões de projeto comprometam sua eficiência. Várias das soluções discutidas para a climatização natural são úteis também para a consideração dos sistemas artificiais. Um projeto que, desde o princípio, considere questões relativas às trocas térmicas da edificação com o meio, mesmo que com o objetivo da climatização passiva, criará condições para que os sistemas passivos, caso necessários, sejam utilizados minimamente.

Os sistemas de exaustão e ventilação mecânica são similares. Os exaustores criam artificialmente uma pressão negativa que suga o ar. São normalmente utilizados em banheiros e cozinhas com o objetivo de tirar o ar de espaços onde há alguma fonte de contaminação. Os ventiladores, fixos ou móveis, criam uma corrente de ar artificial que gera conforto frente às condições de temperatura e umidade altas, aumentando a evaporação do suor e as trocas e perda de calor do corpo através da convecção. Os ventiladores de teto normalmente também podem ser utilizados como exaustores. A grande vantagem desses sistemas está em seu custo de instalação e manutenção muito baixos, além do pequeno consumo de energia. (Fig. 3.2.1)

Os sistemas de refrigeração ou de condicionamento de ar têm princípios de funcionamento interno semelhantes: “Seu princípio de funcionamento se baseia na passagem de um gás refrigerante (normalmente o freon) por uma tubulação que o submete a uma alta pressão no lado quente do sistema (condensador) e a baixa pressão no lado frio do sistema (evaporador). Se o ar for forçado a passar pelo evaporador, se resfriará, e se for forçado a passar pelo

condensador (ciclo reverso), se aquecerá". [77] Suas maiores diferenças estão na capacidade de resfriamento e no custo de instalação e manutenção.

O mais simples de todos os sistemas é o aparelho de janela, que recebe este nome por ter que ficar obrigatoriamente numa parede que tem contato com o exterior. Tem como grandes vantagens o baixo custo de instalação e manutenção além da relativa facilidade de relocação. Suas maiores desvantagens são o alto nível de ruído e a limitação física de ser instalado num recinto que tenha uma parede para o exterior. O arquiteto, ao considerar a utilização destes modelos, deve se lembrar que eles funcionam melhor quando posicionados no meio da menor parede do recinto, para distribuir igualmente o ar frio, e numa altura de no mínimo 1,70 de altura para que o ar frio, ao entrar pelo alto, promova a circulação do ar interno. É importante lembrar que estes aparelhos necessitam de um ponto de drenagem próximo do corpo do aparelho para recolher a água que é condensada no processo de resfriamento do ar. Também é importante que o arquiteto tenha sempre em mente que, como o aparelho fica externo à edificação, está sujeito a receber incidência de radiação solar, o que diminui seu rendimento. O arquiteto terá que levar em conta que o uso destes aparelhos criará volumes nas fachadas da edificação e caberá ele escolher a melhor estratégia para lidar com estes elementos do ponto de vista formal. Nem sempre tentar ocultá-los é uma boa saída. O desenho de cápsulas e invólucros para esconder estes aparelhos deve levar em conta que caso o fluxo de ar que sai do aparelho fique obstruído o rendimento do aparelho cairá e seu consumo de energia aumentará, além de sua vida útil diminuir. Uma opção aos aparelhos de parede igualmente simples e destinada a pequenos ambientes é o aparelho portátil. Esses aparelhos, de tamanho pequeno, normalmente são menos potentes do que a média dos aparelhos de parede e por isso são menores. Ficam totalmente do lado de dentro do ambiente, trocando ar com o exterior através de um tubo flexível que pode ser colocado em um furo na parede. (Fig. 3.2.2)

As chamadas minicentrais de pequeno porte podem ser instaladas em cômodos que não têm paredes externas, uma vez que as unidades condensadora e evaporadora ficam separadas. A primeira deve ficar externa, em um local arejado e sem incidência de sol. A segunda fica no cômodo que vai ser condicionado e ligada a primeira através de uma tubulação de cerca de 80mm de gás refrigerante. As maiores vantagens desse sistema são a possibilidade de condicionar um cômodo que não tem parede externa e o baixo nível de ruído. As maiores desvantagens são o alto custo inicial e de manutenção. (Fig. 3.2.3)

---

[77] LAMBERTS Et. Al (2004: 89)

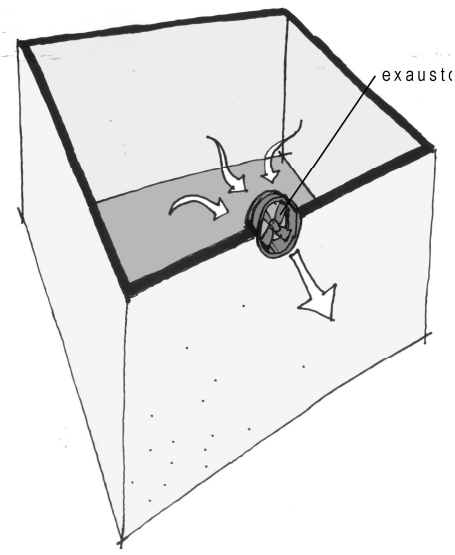


Figura 3.2.1a – Exaustor
Fonte: Desenho do autor.

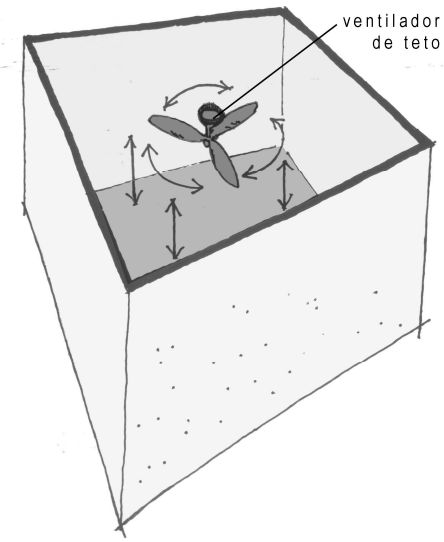


Figura 3.2.1b – Ventilador de teto
Fonte: Desenho do autor

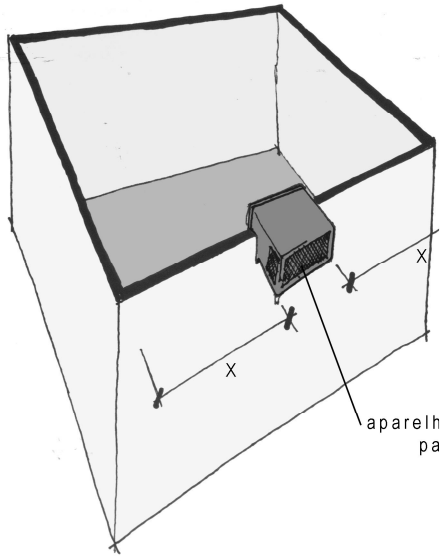


Figura 3.2.2a – Aparelho de parede
Fonte: Desenho do autor



Figura 3.2.2b – Exemplo de edificação com elementos para ar condicionado: Omni Center, Belo Horizonte, 1994
Arquiteto: João Diniz
Fonte: (DINIZ,2002)

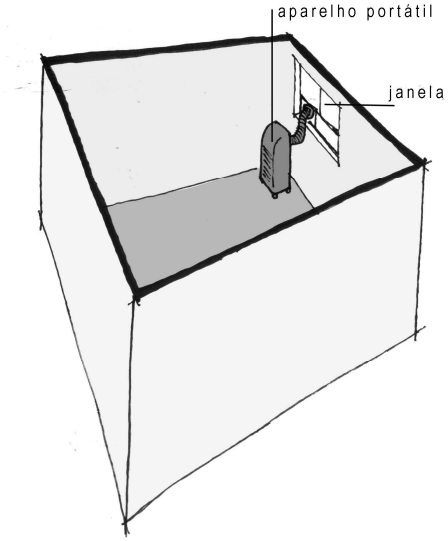


Figura 3.2.2c – Aparelhos portáteis com ligação externa flexível
Fonte: Desenho do autor

Se existe a necessidade de se condicionar mais de um cômodo, o sistema que pode ser indicado é o de minicentrais tipo *multisplit*. Este sistema tem o funcionamento muito semelhante ao das minicentrais de pequeno porte, com uma unidade condensadora e outra evaporadora, mas podem ser utilizados para condicionar vários cômodos. Este equipamento tem também a vantagem sobre as minicentrais de pequeno porte de terem maior capacidade de refrigeração. Possuem a desvantagem de possuir apenas um termostato, o que faz com que se crie uma variação de temperaturas dos ambientes segundo a variação da carga energética de um único ponto. (Fig. 3.2.4)

Outro sistema utilizado usualmente é o de *self-contained*. Este sistema tem capacidade de refrigeração maior ainda e é, portanto, utilizado em grandes espaços, geralmente comerciais, e que necessitam de maior carga de condicionamento. É um equipamento que tem uma unidade evaporadora que envia o ar resfriado para vários espaços através de dutos e grelhas difusoras. Essas unidades têm o tamanho de um armário e podem ou não ter uma unidade condensadora acoplada. Quando o condensador não fica acoplado, encontra-se externo à edificação, assim como uma minicentral. Existem também modelos de *self* com condensadora a água, o que requer uma linha alimentadora. (Fig. 3.2.5)

O sistema mais complexo e de maior porte dentre os que são normalmente utilizados é conhecido como sistema de *chiller*/*fan-coil*. Este sistema pressupõe a criação de uma tubulação de água gelada que irá ligar as duas unidades. O *chiller* normalmente fica do lado de fora da edificação e é o responsável pela refrigeração da água. O *fan-coil* é a unidade que fica nos cômodos a serem refrigerados e força a circulação de ar fazendo com que ele perca calor em contato com a água gelada. É o sistema utilizado em edificações de grande porte e grande necessidade de condicionamento de ar, como os *shopping centers*. (Fig. 3.2.6)

Os sistemas de aquecimento têm sua utilização bastante restrita no Brasil. Nos países de clima temperado com invernos frios, como na Europa, o aquecimento artificial é o maior impacto energético nas edificações. Estes sistemas muitas vezes não utilizam eletricidade, sendo acionados através de combustíveis fósseis como óleo ou gás natural, o que aumenta seu impacto ambiental. Para o aquecimento existem os aparelhos simples de irradiação de calor através de refletores parabólicos; os radiadores a água ou a óleo, estes últimos elétricos; os convectores elétricos; os sistemas de bomba de calor (ar condicionado com ciclo reverso) e os sistemas de aquecimento central, indicados para grandes edificações como hotéis, edifícios públicos, etc.

A grande maioria dos autores que trataram da relação da arquitetura com o meio ambiente até os anos noventa não faz qualquer menção aos sistemas de climatização artificial,

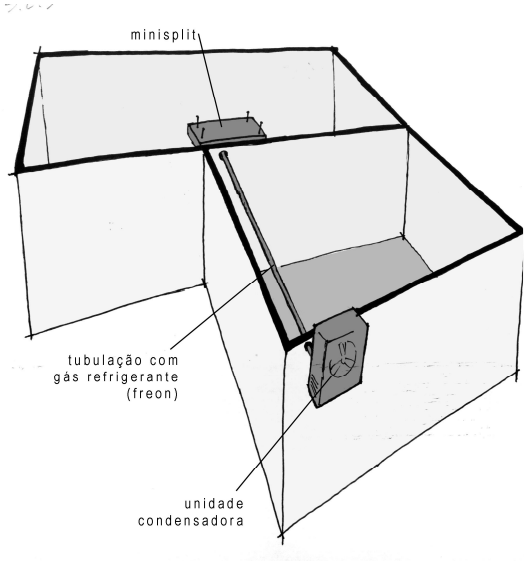


Figura 3.2.3 – Minicentrais
Fonte: Desenho do autor

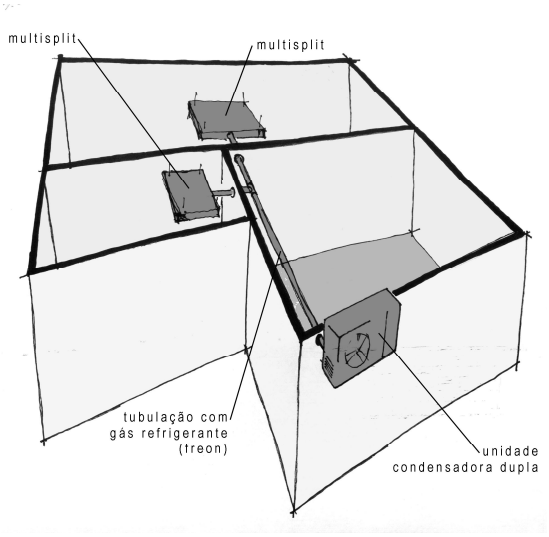


Figura 3.2.4 – Multisplit
Fonte: Desenho do autor

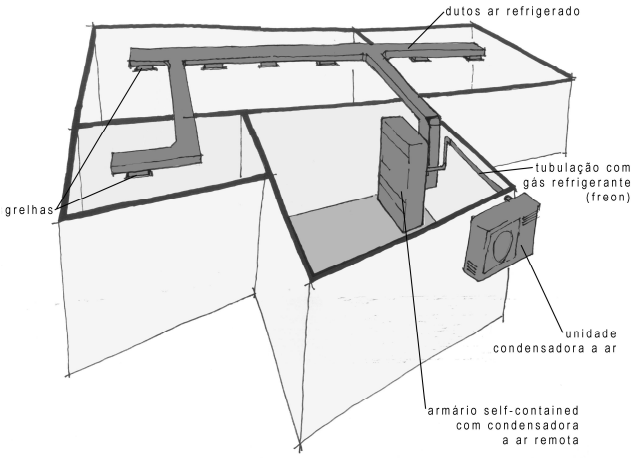


Figura 3.2.5 – Modelo de *Self Contained*
Fonte: Desenho do autor

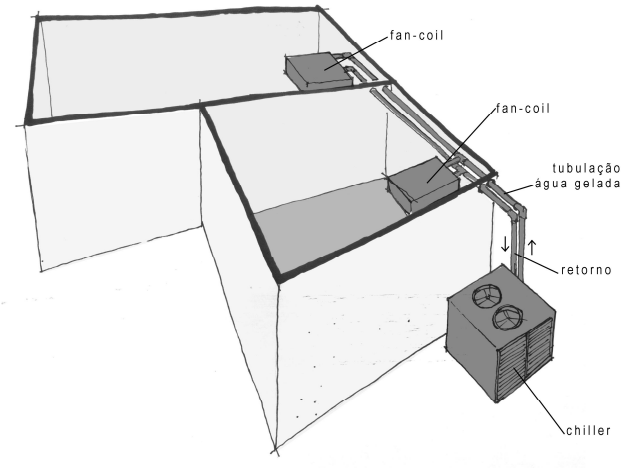


Figura 3.2.6 – Chiller / Fan-Coill
Fonte: Desenho do autor

preferindo somente abordar estratégias de climatização natural. Mesmo no Brasil, onde o clima tropical impõe em certas cidades e em certas épocas do ano, condições de temperatura e umidade extremas, a consideração desses sistemas foi apartada dos tratados de arquitetura, que preferiram desconsiderar as limitações dos sistemas passivos. Livres desses preconceitos, os autores mais recentes, ao contrário, tratam do assunto e discutem formas de tornar o uso desses sistemas menos oneroso energeticamente. [78]

Corbella e Yannas (2003) fazem um interessante estudo em que comparam dois *Shopping Centers* do Rio de Janeiro: o Rio-Sul, com sistema totalmente artificial de climatização, e o Fashion Mall, com sistema de climatização misto em que as lojas são climatizadas mas as áreas de circulação são abertas com iluminação e climatização natural e vegetação abundante. Apesar da economia com iluminação nas áreas de circulação, o segundo *shopping* consome mais energia, exatamente em virtude desse princípio de trazer áreas abertas às condições externas:

> O projeto arquitetônico do Shopping Rio Sul é um típico exemplo do estilo internacional, sem nenhuma preocupação bioclimática. Porém, o seu consumo e energia é menor que o aparentemente "bioclimático" Fashion Mall, cujo projeto, em primeira análise, poderia ser considerado mais "correto".[79]

Dessa forma, pode-se perceber o quão valioso é o conhecimento por parte do arquiteto sobre a correta utilização destes sistemas de climatização artificial, desde as suas considerações iniciais, no projeto arquitetônico. Igualmente importante para o arquiteto no início do processo de desenvolvimento do projeto, é a correta definição das necessidades arquitetônicas geradas pela escolha da utilização de sistemas passivos ou ativos e os limites da utilização dos dois sistemas integrados. O desenvolvimento da eficiência energética nos sistemas de condicionamento artificial faz parte do seu processo de desenvolvimento tecnológico num sentido amplo. Isso justifica o acompanhamento das novas tecnologias na área de climatização artificial que devem ser seguidas de perto pelos arquitetos. Também fica clara a necessidade de que, uma vez que seja definida a necessidade de um sistema de climatização artificial no projeto de uma edificação, o arquiteto tenha conhecimento das formas como introduzi-lo no projeto proporcionando a máxima eficiência energética desses sistemas. A ambigüidade entre assumir ou não o uso de sistemas de climatização artificial torna-se ponto de enfraquecimento da eficiência ambiental de uma edificação, mesmo que acompanhada de preocupações ecológicas. Quando o arquiteto verifica a necessidade de utilização de sistemas de ar condicionado, deve proporcionar através do seu

---

[78] Cf. LAMBERTS Et. Al. (2004)
[79] CORBELLA; YANNAS (2003: 73 – 87)

projeto, condições para que haja um ótimo isolamento entre as áreas condicionadas e não condicionadas, a fim de evitar problemas como os que foram mostrados no exemplo dos *shopping centers.* Pode-se perceber também que, se uma determinada edificação foi projetada com vários cuidados com relação à redução dos ganhos térmicos externos, como proteções contra a radiação solar, paredes envoltórias termicamente eficientes e outros recursos passivos, mesmo que ela utilize sistemas artificiais, o fará minimamente, em virtude dessas preocupações presentes no projeto de arquitetura.

A eficiência energética é a maior preocupação dos engenheiros mecânicos, técnicos e demais profissionais que lidam com os projetos e instalações dos sistemas de climatização artificial hoje. [80] Existem várias publicações a esse respeito assim como novos produtos lançados pelos grandes fabricantes do setor visando atender a demanda por redução do consumo de energia com o máximo rendimento. No entanto, o detalhamento desses sistemas aqui, distanciaria demais a discussão com relação ao foco desse estudo que é a obtenção de informações necessárias ao projeto de arquitetura. Por isso, a discussão da eficiência energética nos sistemas de climatização não se aprofundará mais adiante, mantendo seu ponto focal. Assim, alguns aspectos da eficiência energética dos sistemas de climatização artificial que tem relação direta com o projeto arquitetônico devem ser ressaltados [81]: a procura através dos profissionais responsáveis pelos projetos de climatização, dos equipamentos com comprovada eficiência energética; a utilização de sistemas de climatização lógicos do ponto de vista energético; a adoção de mecanismos de controle eficientes energeticamente e precisos, integrando sempre que possível os sistemas de climatização com os sistemas de automação predial [82] ; uma instalação criteriosa dos equipamentos e tubulações, lembrando que a exposição à radiação solar de algumas partes pode prejudicar o funcionamento do sistema; evitar qualquer tipo de contato entre os ambientes condicionados e os ambientes não condicionados, isolando-os totalmente, para evitar perdas; evitar qualquer tipo de construção posterior que crie prejuízos ao funcionamento dos equipamentos em relação à situação original, criada de acordo com os dados especificados pelos fabricantes e pelos profissionais responsáveis pelo projeto de ar condicionado; evitar a instalação de um outro equipamento próximo dos equipamentos de climatização de forma a prejudicar seu rendimento.

---

[80] A revista CLIMATIZAÇÃO, especializada no assunto traz como seu sub-título: “Eficiência Energética, Processo, Conforto”.

[81] NICOLÓSI; Di RIENZO (2002)

[82] Sobre a automação predial, ver capítulo 3.4.

3.3 . Fontes alternativas de energia e geração autônoma

Dentre os conhecimentos e tecnologias externos à arquitetura, mas que estão ligados ao pensamento de uma edificação energeticamente eficiente, estão os sistemas de geração alternativa de energia em pequena escala. Esses sistemas são aqueles que fornecem energia elétrica para uma edificação, independentemente das fontes que chegam através da rede pública, em que o fornecimento é feito por uma empresa que tem a concessão de gerar, distribuir e vender energia elétrica em uma determinada região. Esse capítulo tem por objetivo analisar alguns desses sistemas alternativos de geração de energia que podem ser importantes se levados em conta por um arquiteto durante o projeto de uma edificação que pretende ter um desempenho energético diferenciado. Serão abordados alguns aspectos relativos ao funcionamento desses sistemas, de modo a fornecer uma visão geral necessária à sua integração dentro do projeto arquitetônico. Não serão abordados nesse capítulo, as fontes alternativas de geração de energia em larga escala, pela sua falta de relação com o projeto arquitetônico, foco da pesquisa.

Apesar da necessidade de se abordar esses aspectos, é importante lembrar que até hoje no Brasil nenhum dos sistemas de geração alternativa de energia conseguiu atingir um patamar de viabilidade econômica que o torne mais vantajoso do que a simples conexão com a rede de energia da concessionária. Isso porque os equipamentos ligados à geração alternativa ainda são, em sua grande maioria, bastante caros.

A demanda por energia elétrica cresce a cada ano, apesar de seus níveis de crescimento serem limitados pelo crescimento da oferta de energia, que já há alguns anos não consegue acompanhar o desenvolvimento do país. [83] A matriz energética brasileira ainda é fortemente dependente das usinas hidrelétricas, da lenha e seus derivados, do petróleo e gás natural e ainda do carvão mineral, como mostra o balanço energético da CEMIG. (Fig 3.3.1). Nos últimos vinte anos porém, o crescimento da oferta de energia se deu mais em função do aumento da oferta de energia das hidrelétricas e do petróleo e gás natural, uma vez que a utilização da lenha e do carvão mineral caíram bastante. (Fig. 3.3.2) Todas essas matrizes são altamente impactantes para o meio ambiente e mesmo assim não conseguem atender satisfatoriamente a demanda de energia elétrica. Uma análise sobre as formas alternativas de geração de energia que possibilitam autonomia parcial ou total em relação às redes de abastecimento parece, portanto, bastante válida atualmente. Sua validade se confirma na busca por uma geração de energia mais correta ambientalmente, pela menor dependência dos setores públicos de abastecimento e ainda em última instância, por uma questão econômica, haja visto

[83] A respeito das mazelas do setor energético brasileiro nos últimos anos, ver: ROSA (2001).

mil tEP
%

Setor	Lenha e Derivados	Energia Hidráulica	Petróleo, Gás Natural e Derivados	Carvão Mineral e Derivados	Outras Fontes	Total
Industrial	5.473 73,2	6.964 53,2	2.959 33,8	3.257 100,0	1.362 66,8	20.015 57,8
Residencial	1.873 25,0	2.302 17,6	673 7,7	-	55 2,7	4.903 14,2
Transportes	-	7 0,1	4.757 54,3	-	610 29,9	5.374 15,5
Agropecuário	25 0,3	511 3,9	350 4,0	-	-	886 2,6
Outros Setores e Perdas	107 1,4	3.295 25,2	23 0,3	-	13 0,6	3.438 9,9
Total	7.478 100	13.079 100	8.762 100	3.257 100	2.040 100	34.616 100

Figura 3.3.1a – Relação entre a Matriz Energética em Minas Gerais e a demanda de energia por setor
Fonte: CEMIG, 1999

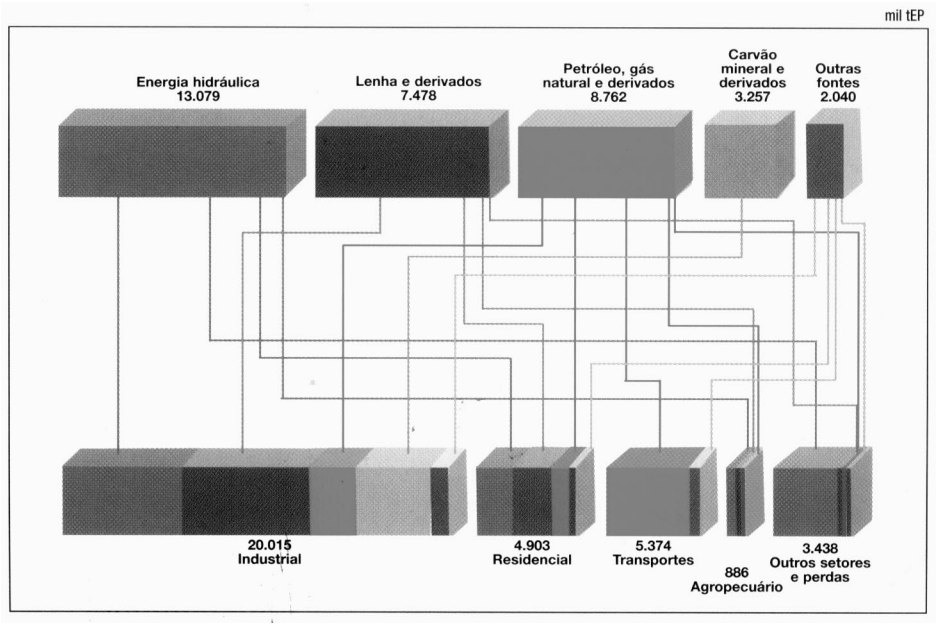


Figura 3.3.1b – Relação entre a Matriz Energética em Minas Gerais e a demanda de energia por setor
Fonte: CEMIG, 1999

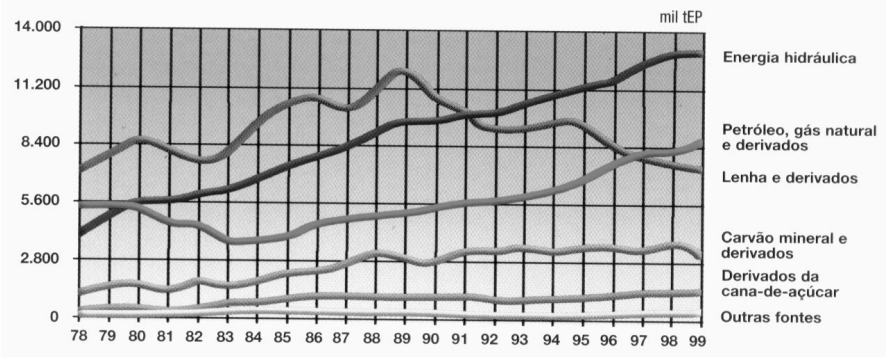


Figura 3.3.2 – Gráfico de crescimento da oferta de energia em Minas Gerais
Fonte: CEMIG, 1999

que a energia elétrica tende a ficar cada vez mais cara e sua geração em larga escala cada vez mais difícil.

Para uma discussão sobre a geração autônoma de energia no Brasil, inicialmente é preciso esclarecer que serão abordados neste capítulo os princípios ligados às chamadas microcentrais de geração de energia elétrica. De acordo com a ELETROBRÁS, as microcentrais são aquelas centrais de geração de energia que utilizam qualquer fonte de energia disponível na natureza, passível de ser economicamente convertida em energia elétrica até o limite legal de 100kW (em outros países o limite é de 50kW).[84] Essas microcentrais, pela pequena capacidade de carga, só atendem a um usuário isolado ou a um pequeno grupo de usuários, estando praticamente livre de obrigações legais quanto aos parâmetros de qualidade da tensão e da freqüência gerada.

Normalmente, essas microcentrais, mesmo sendo capazes de gerar energia suficiente para abastecer um determinado usuário, não são totalmente isoladas das redes de abastecimento de modo a configurar, segundo Farret [85], três situações distintas: a energia gerada pela microcentral é suficiente apenas para o consumo próprio, venda ou troca com a concessionária de energia; a geração de energia é menor do que o consumo próprio para evitar a venda do excesso, sendo que a potência gerada pode ser vista como uma redução aparente da carga do usuário; a microcentral gera energia para acumulação e conseqüente redução de demanda nas horas de pico da rede pública. No Brasil, as obrigações legais e burocráticas para a criação de uma microcentral são pequenas, ao contrario de centrais acima de 100kW. É necessário, entretanto, que caso se configure uma interconexão com a rede de abastecimento público de energia, a concessionária seja consultada quanto aos níveis admitidos de variação de tensão e freqüência, além dos valores do quilowatt-hora. De forma geral, as microcentrais trabalham convertendo fontes primárias de energia em energia elétrica. Hoje, as principais fontes primárias utilizadas nessas microcentrais são: a energia hidráulica, a energia eólica, a energia térmica, a energia solar e a energia dos gases ou de biomassa.

As microcentrais hidroelétricas são o sistema alternativo mais utilizado hoje em dia, pelo fato de terem sido pioneiras como de geração de energia em pequena escala. [86] São largamente utilizadas em propriedades rurais quando cortadas por rios com cachoeiras ou quedas d'água. Existem basicamente dois tipos de microcentral hidroelétrica: a que utiliza um curso d'água

---

[84] A ELETROBRÁS considera que entre 100 e 1.000 kW, a central geradora é uma minicentral, entre 1.000 e 10.000 kW é uma central de pequeno porte e acima de 10.000 kW é uma central de grande porte. FARRET (1999:15)

[85] Idem, (p.17)

[86] São também chamadas PCH's (Pequenas Centrais Hidrelétricas).

desviado a partir de um rio ou de um riacho, fornecendo exatamente a quantidade de água necessária para gerar a energia solicitada, ou a que utiliza um reservatório de acumulação de água. Esse último tipo é mais oneroso e causa maiores impactos ambientais, exatamente devido ao represamento de um curso natural de água. Esse impacto causado ao sistema hidrológico local, ao solo, e ao ecossistema de maneira mais ampla é proporcional ao tamanho do reservatório de acumulação, o que pode significar um impacto ambiental mais agressivo se a demanda de energia do usuário for grande. As microcentrais hidroelétricas têm a grande desvantagem de ter seu uso vinculado a um curso d'água.

Qualquer um dos dois sistemas de geração hidrelétrica necessitará obrigatoriamente de uma central onde ficarão abrigados os equipamentos. Normalmente há a máquina hidráulica primária que converte o movimento da água em energia motriz, um gerador e equipamentos complementares como um regulador, uma válvula de admissão da água, um quadro de comando e o volante inercial. Esses equipamentos têm a função de coordenar a transformação da energia elétrica e manter a tensão e a rotação dentro dos limites de variação da demanda de energia. As maquinas hidráulicas mais simples e mais antigas são as rodas d'água. São construídas em madeira ou aço e são acionadas na medida em que o fluxo de água passa tangencialmente por elas, movimentando pás colocadas em sua periferia. O empuxo nas pás cria um torque no eixo central que faz movimentar a roda d'água. Existem dois tipos de rodas d'água: aquelas em que o fluxo de água chega por cima – e por isso são chamadas de rodas de alcatruzes de cima – e as que o fluxo as movimenta passando por baixo – e que são conhecidas como rodas de alcatruzes de baixo. (Fig. 3.3.3) No entanto, em ambos os casos esses equipamentos são pouco eficientes na transformação de energia elétrica, devido ao seu principio de funcionamento bastante arcaico, o que resulta numa grande perda de energia devido ao atrito e ao turbilhonamento. Do ponto de vista do funcionamento eletro-mecânico, esses sistemas rudimentares têm a inconveniência de ter sua velocidade pouco constante, o que acarreta uma série de complicações no processo de transformação de energia. Ainda sim, as rodas d'água têm suas maiores vantagens exatamente em sua extrema simplicidade, o que torna fácil sua manutenção e custo de instalação e operação. Além disso, elas não têm seu funcionamento afetado em função da qualidade ou pureza da água, o que em certos casos onde há muitos sólidos em suspensão no curso d'água pode ser uma grande vantagem.

As turbinas são a evolução das rodas d'água. Seu princípio de funcionamento é semelhante, fazendo a água passar por uma roda com paletas que a faz girar, o que rotaciona um eixo central ligado a um gerador. Porém sua configuração física e os materiais utilizados são mais modernos, tornando mais eficiente a transformação de energia cinética em energia elétrica.

As turbinas podem ser bombas comuns de água funcionando de forma inversa: ao invés da energia elétrica ser transformada em energia cinética movendo a água de um lugar para o outro, é justamente o movimento da água que gera a energia elétrica. Há, no entanto, uma perda nessa inversão de transformação energética quando se utiliza uma bomba comum. Isso significa que a energia elétrica gerada com a queda de uma determinada quantidade de água de uma altura inicial até uma altura final mais baixa não é suficiente para bombear de volta a mesma quantidade de água para o ponto mais alto. A utilização da bomba comum como uma turbina para gerar energia tem a grande vantagem no fato de utilizar um equipamento simples, relativamente barato e de fácil manutenção. Existem turbinas fabricadas especialmente para essa função, e por isso com rendimento eletro-mecânico maior. Normalmente são feitas em metal fundido e sua escolha varia basicamente em função da vazão da água que é utilizada e da altura de queda. Os principais tipos de turbinas para esse fim, fabricadas no Brasil são a turbina Pelton, a turbina Francis, a turbina Michel-Banki e a turbina Kaplan. (Fig. 3.3.4)

As obras necessárias para a implantação de um sistema como esse podem ser extremamente complexas se for feita a opção pelo represamento de um curso d'água natural. Os estudos nesse caso envolverão, além de licenças de órgão ambientais e de regulação de recursos hídricos municipais, estaduais e federais, também estudos hidrológicos, geológicos além de cálculos estruturais para a mini-barragem. O mais importante, no entanto, é que uma opção como essa, mesmo que viabilizada do ponto de vista técnico, legal e financeiro, pode gerar grandes impactos ambientais no local, mesmo se tratando de uma pequena central geradora de energia.

Uma opção à construção de uma mini-barragem é a utilização das turbinas em um ponto próximo ao curso d'água, utilizando um pequeno canal de água paralelo a ele desviado artificialmente apenas para movimentar a turbina e que retorna ao curso normal logo em seguida. Este princípio é conhecido como "usina a fio de água" e se mostra muito menos agressivo ao meio natural do que a primeira opção. (Fig. 3.3.5) Em ambos os casos, a utilização do sistema com turbinas necessitará de uma casa de máquinas, uma pequena edificação próxima do reservatório ou do fio de água, onde serão abrigados, além da turbina, os demais equipamentos necessários. O dimensionamento dessa casa de máquinas dependerá primordialmente do modelo de turbina escolhido.

Outra importante fonte de energia para geração em pequena escala é o vento. A utilização do vento como fonte energética está, ao lado da utilização da radiação solar, entre as formas menos impactantes de geração de eletricidade. A energia eólica tanto pode ser transformada em energia elétrica, através de geradores, como pode ser utilizada diretamente

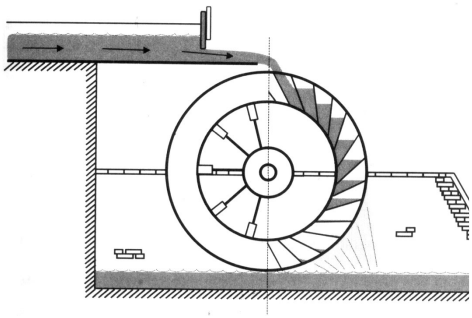


Figura 3.3.3a – Roda com alcatrazes de cima
Fonte: (FARRET, 1999)

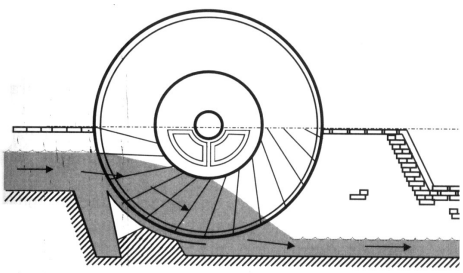


Figura 3.3.3b – Roda com alcatrazes de baixo
Fonte: (FARRET, 1999)

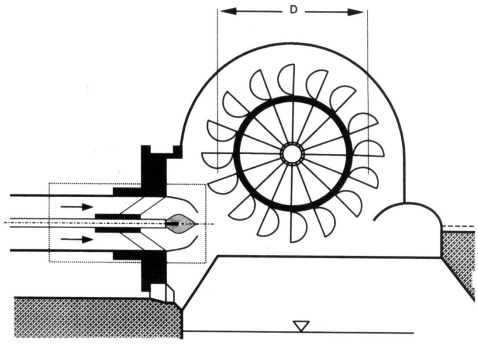


Figura 3.3.4a – Turbina Pelton
Fonte: (FARRET, 1999)

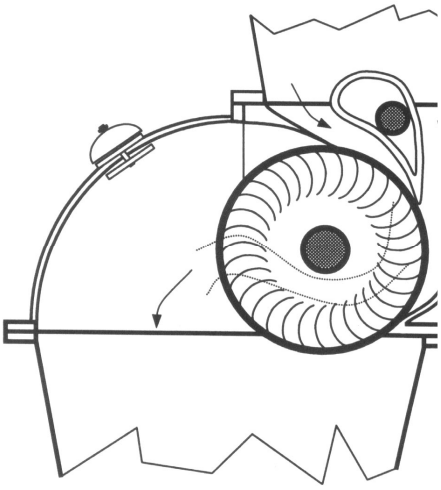


Figura 3.3.4b – Turbina Michel-Banki
Fonte: (FARRET, 1999)

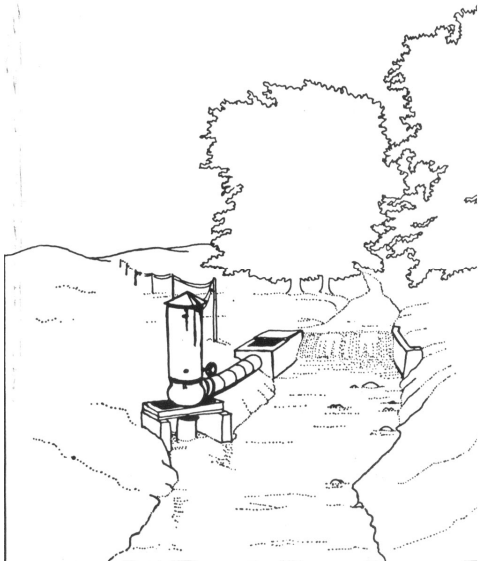


Figura 3.3.5 – Usina a fio de água
Fonte: (STEADMAN, 1982)

para a realização de algum tipo de força mecânica como o bombeamento de água ou a moagem de grãos. A energia elétrica gerada a partir da energia eólica é especialmente vantajosa em lugares específicos onde há ventos de velocidade razoável e freqüência constante. Estes locais com melhor potencial de utilização da energia eólica são chamados sítios eólicos e no Brasil se concentram principalmente na região Nordeste, de forma geral, e na faixa litorânea do Sul e Sudeste.[87] O país tem um potencial enorme para utilização desses sistemas e que não foi até hoje bem explorado, mesmo apesar das crises energéticas enfrentadas nos últimos dez anos.[88] Na Europa e nos Estados Unidos há uma utilização já bastante sistemática dessa fonte de energia. A Alemanha é o país que mais investe nessa tecnologia, através de incentivos governamentais, sendo responsável mais de 35% da produção de energia elétrica eólica no mundo inteiro.

Para que um local seja caracterizado como um sítio eólico, é necessário que seja feito um criterioso estudo sobre a intensidade e constância dos ventos. É preciso que, para isso, sejam consultados dados meteorológicos que determinem as velocidades médias e direções dos ventos em um período de pelo menos cinco anos. Os períodos em que o vento tem velocidade abaixo de 3 m/s são chamados períodos de calmaria e neles o vento não consegue gerar energia. Por isso o sistema deverá ser capaz de acumular energia nos períodos de maior intensidade dos ventos, gerando energia além da demanda, de forma que consiga suprir a falta de ventos dos períodos de calmaria. Além disso, é necessário que haja um certo equilíbrio no regime de ventos do local, pois locais com ventos irregulares podem tornar difícil a previsão de armazenamento, e locais com ventos de velocidade muito alta podem danificar os equipamentos. Nos locais caracterizados como sítios eólicos, os cata-ventos devem ser instalados em linha, no sentido perpendicular ao vento dominante. Em locais de topografia acidentada devem ser instalados nas cristas das encostas e girados de forma a permanecerem perpendiculares ao vento dominante. Árvores de maior porte podem prejudicar o funcionamento do sistema, por isso locais descampados são potencialmente melhores para a captação dos ventos.

Em termos físicos, a potência de um aerogerador varia com o cubo da velocidade do vento, ou seja, se ela triplicar, a potência será aumentada vinte e sete vezes. Quando o vento atinge velocidades muito grandes, normalmente acima de 30m/s, os sistemas costumam girar os cata-ventos para que fiquem no sentido do vento evitando danos ao sistema de geração de

---

[87] Em Minas Gerais os poucos sítios eólicos encontram-se na região norte do estado. Nessa região, a CEMIG, concessionária de energia do estado, construiu a usina eólica de Morro do Camelinho, a primeira usina eólica conectada ao sistema integrado de energia. Outros sítios importantes onde existem usinas eólicas são: a região da Lagoa dos Patos, no Rio Grande do Sul e o litoral do Ceará.

[88] Estima-se que o potencial de geração de energia elétrica através do vento no Brasil está na casa dos 63 milhões de MWh/ano. Fonte: FARRET (1999:62)

energia. Isso é feito através do chamado sistema de alinhamento que ajusta a posição das pás em função dos ventos. Fisicamente, a captação da energia se dá através das pás do cata-vento que movimentam um rotor, acoplado a um sistema que multiplica as rotações e que por sua vez está ligado em um gerador de energia. (Fig. 3.3.6) Para adequar a energia elétrica gerada com o padrão da concessionária, nos casos em que o sistema se interliga à rede, há também um transformador junto ao gerador.

Existem várias configurações para captação e transmissão de energia nos sistemas eólicos. Há os sistemas com eixos horizontais e com eixos verticais. Há cata-ventos com uma, duas, três pás e ainda os com múltiplas pás. Na medida em que os cata-ventos foram evoluindo, as pás foram cada vez aumentando de tamanho, de forma a aumentar o torque no eixo central. (Fig. 3.3.7) No ápice dessa evolução, foram criados cata-ventos com enorme diâmetro que acabaram criando alguns problemas onde são instalados, como interferências eletromagnéticas e aumento da mortalidade de pássaros, além do grande impacto visual. Os sistemas de geração de energia eólica mais modernos não utilizam cata-ventos ou aerogeradores de hélice. São os geradores TARP™ e WARP™.[89] O sistema TARP™ consiste na utilização de um toróide* como um abrigo aerodinâmico para as turbinas. O vento acelera-se em torno do abrigo, aumentando a densidade disponível de energia eólica, impulsionando dois rotores dispostos a 180º um do outro em torno do canal formado pelo toróide. Esse sistema, ainda em estágio de aprimoramento, apresenta baixíssimos custos de energia gerada [90] além de eliminar os impactos causados pelos aerogeradores de hélices com grandes pás. (Fig. 3.3.8) O sistema WARP™ nada mais é do que vários TARP's™ empilhados. (Fig. 3.3.9) O desenvolvimento desses sistemas pode ser o futuro da geração de energia elétrica através da energia eólica. Para a arquitetura, o desenvolvimento desse sistema pode ser interessante por oferecer uma alternativa de utilização da energia eólica que não é obtida através de um cata-vento.

Contudo, o maior problema das microcentrais eólicas não é nem a dificuldade de se encontrar bons sítios eólicos, nem os impactos gerados pelos geradores de hélice, e sim o sistema de armazenamento da energia gerada. Quando os aerogeradores não estão conectados à rede pública e a energia precisa ser armazenada, cria-se um problema que normalmente inviabiliza a utilização da energia eólica. Isso porque o método mais utilizado para armazenamento de energia elétrica em sistemas eólicos através de baterias é muito caro e de

---

[89] TARP (*Toroidal Accelerator Rotor Platform)* – Plataforma Toroidal Aceleradora de Rotores Eólicos; WARP (*Wind Amplified Rotor Platform)* – Plataforma de Rotores com Vento Amplificado.

[90] Cerca de 2 a 5 centavos de dólar americano. Fonte: FARRET (1999)

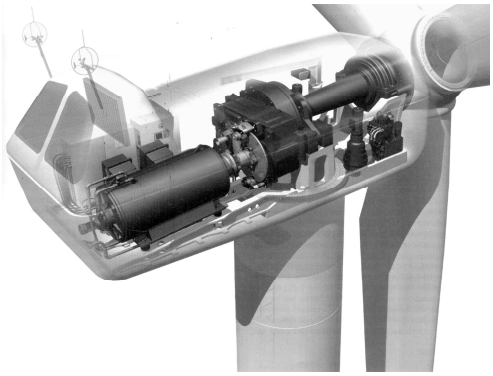


Figura 3.3.6 – Funcionamento de um aerogerador
Fonte: DEUTSCHLAND n.6, Dezembro de 2002 / Janeiro de 2003

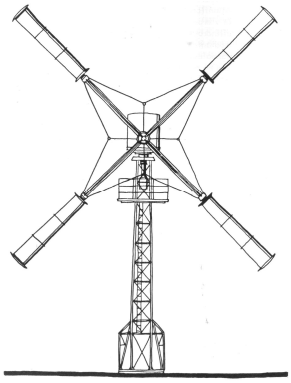


Figura 3.3.7a – Catavento Flettner, Alemanha, 1925
Fonte: (STEADMAN, 1982)

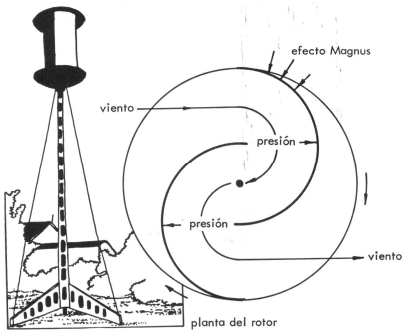


Figura 3.3.7b – Catavento Savonius, Helsink, 1924
Fonte: (STEADMAN, 1982)

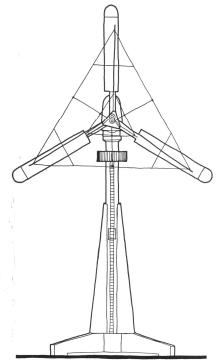


Figura 3.3.7c – Catavento Dinamarquês, 1957
Fonte: (STEADMAN, 1982)



Figura 3.3.7d – Parque eólico offshore na Alemanha, 2002
Fonte: DEUTSCHLAND n.6, Dezembro de 2002 / Janeiro de 2003

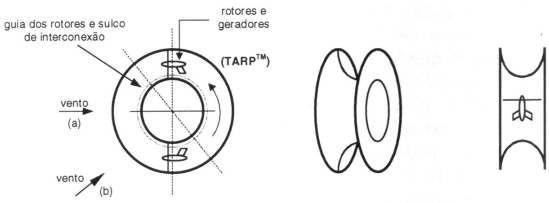


Figura 3.3.8 – TARP
Fonte: (FARRET, 1999)

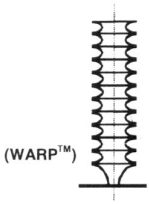


Figura 3.3.9 – WARP
Fonte: (FARRET,1999)

difícil manutenção, mesmo apesar de serem eficientes energeticamente e versáteis. Por isso mesmo, alguns sistemas mais modernos de energia eólica são ligados à rede de abastecimento para que, nos momentos em que a geração de energia superar a demanda (momentos de muito vento), ela seja injetada no sistema público e nos momentos de calmaria, possa ser utilizada a energia da concessionária.

O sol também pode ser utilizado como uma fonte de energia de forma gratuita e sem causa impactos ao meio ambiente. A energia que nos chega através da radiação solar é especialmente atraente nos países situados dentro da faixa intertropical sujeitos a uma maior incidência de sol ao longo dos dias e ao longo do ano. O Brasil tem um ótimo potencial para utilização da energia solar, cerca de 2.500 MW.[91] Nas edificações, a energia solar pode ser utilizada basicamente de duas maneiras: gerando energia elétrica diretamente ou sendo utilizada para esquentar água, o que reduz a utilização de aquecedores, chuveiros e outros aparelhos elétricos usados para esse fim.

A transformação da luz do sol em energia elétrica diretamente, sem nenhuma forma de energia intermediária é conhecida como efeito fotovoltaico. Essa conversão é feita através da exposição de materiais semicondutores* à radiação solar direta. Os materiais semicondutores mais utilizados nos módulos fotovoltaicos são o silício cristalino e o silício amorfo hidrogenado. Porém, essa conversão de energia é muito pouco eficiente, conseguindo transformar apenas 10 a 12% da energia solar em energia elétrica, no caso dos painéis com o silício amorfo hidrogenado. Os painéis fotovoltaicos mais modernos utilizam o silício cristalino e conseguem rendimento maior, na casa dos 20%, mas têm custo altíssimo, o que eleva o preço do kWh gerado. Os painéis que utilizam o silício amorfo hidrogenado têm custo mais baixo, mas têm metade da eficiência e são bem menos duráveis.

Os sistemas de geração de energia elétrica a partir da luz solar, de maneira geral, são compostos de alguns elementos básicos. A começar pelos módulos solares ou painéis fotovoltaicos, formados de células de silício protegidas por um vidro temperado anti-reflexivo. A quantidade de painéis dependerá da quantidade de energia a ser gerada. Estes devem estar sempre voltados para a direção norte e com a inclinação correspondente a latitude do lugar, a fim de garantir a maior exposição possível à radiação solar.[92] Lugares com muitas árvores e edificações no entorno, que prejudicam a quantidade de sol incidente, são pouco recomendados para a utilização desses sistemas, assim como os locais que possuem ventos muito intensos.

---

[91] Este potencial é cinco vezes maior do que o dos Estados Unidos, por exemplo. Fonte: FARRET (1999:99)
[92] Ver capítulo 4.1 – topografia.

A energia gerada nos painéis é transmitida para as baterias onde é acumulada. Normalmente são utilizadas baterias de 12V de chumbo-ácido como as utilizadas em carros ou em caminhões, sendo que aquelas que não precisam trocar água são mais recomendadas. Podem ser utilizadas baterias de níquel-cádmio de maior confiabilidade mas a um custo muito alto. As baterias são ligadas em série e conectadas à rede elétrica da edificação, podendo ser colocadas em um cômodo cujas dimensões serão função do número de baterias, que por sua vez é dimensionado em função da quantidade de energia que se deseja armazenar. Juntamente com as baterias é instalado um controlador de carga, que ajuda a evitar sobrecargas e sobredescargas excessivas. O arquiteto deve reservar um espaço para abrigar as baterias, no caso de utilização desse sistema, como uma casa de força. (Fig. 3.3.10)

No entanto, mesmo que sejam utilizadas grandes quantidades de painéis, é difícil que uma edificação tenha toda sua demanda de energia elétrica suprida somente pela fonte solar. A utilização de painéis fotovoltaicos consegue suprir a demanda de energia gerada pela iluminação e por pequenos eletrodomésticos. Na medida em que a demanda do usuário começa a crescer muito, a quantidade de painéis coletores de energia e de baterias de acumulação cresce em demasia, tornando esse sistema inviável economicamente. Os sistemas de coleta e transformação da energia solar em energia elétrica ainda estão em desenvolvimento, o que pode ser visto na evolução do rendimento ocorrida entre com os semicondutores. Pelo fato de se tratar de um sistema ainda pouco eficiente e em fase de pesquisas, sua utilização não foi tão generalizada. O que não significa que seu futuro desenvolvimento esteja comprometido. Há algumas aplicações possíveis desses sistemas para a arquitetura, como foi dito, desde que restrito a utilização para iluminação e aparelhos de pequena potência. Os sistemas de energia solar são muito vantajosos para lugares remotos de difícil acesso, onde a manutenção é pouco viável, pois são bastante confiáveis e dispensam visitas técnicas. Segundo Reis *et. Al*, "As células fotovoltaicas podem também ser utilizadas para suprir picos de demanda, o que é geralmente caro para as concessionárias, principalmente em áreas urbanas de regiões quentes e ensolaradas e onde o uso de aparelhos de ar condicionado é maior durante o dia." [93]Essa situação interessa particularmente a essa pesquisa, em virtude de sua grande aplicabilidade nas cidades brasileiras. Para o arquiteto, fica a possibilidade de incorporar os painéis à linguagem da edificação de forma livre em função da possibilidade de modulação dos coletores, desde que respeitando a inclinação e orientação adequadas.

---

[93] REIS, *et. al.* **Geração de Energia Elétrica.** *In* REIS; SILVEIRA (2001:108)

A utilização mais economicamente viável da energia solar nas edificações hoje em dia está, no entanto no aquecimento de água. Tanto que seu uso é largamente incentivado em vários países do mundo, principalmente no Brasil, [94]através da AESBRA (Associação Pró-Energia Solar), do PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica) e da ABRAVA (Associação Brasileira de Refrigeração, Aquecimento, Ventilação e Aquecimento). [95] A grande vantagem desse sistema está no fato de limitar ao mínimo a utilização do chuveiro elétrico, o grande vilão do consumo elétrico residencial no país. O chuveiro elétrico esquenta a água através de uma resistência térmica, transformando energia elétrica em energia térmica. Mas para isso, gasta uma boa quantidade de energia, principalmente no inverno.[96] E seu uso se dá, estatisticamente entre as 18 e 19h, quando há um pico no consumo de energia elétrica nas redes públicas e quando normalmente o sistema corre maiores riscos de blecaute. Isso é um problema bastante grave para os sistemas de abastecimento, pois toda a rede acaba tendo que ser dimensionada para essa hora de pico, ficando superdimensionada durante todo o resto do dia. Num país como o Brasil, que recebe uma enorme quantidade de radiação solar e que tem no inverno os dias mais claros do ano, o uso do aquecimento solar de água torna-se quase obrigatório, não fosse sua limitação de custo para construções de baixa renda. No entanto, a popularização desse sistema no país nos últimos quinze anos foi tamanha que seu custo já caiu bastante nesse período, o que cria uma expectativa de redução ainda maior nos próximos anos. Sistemas cada vez mais simples vêm sendo desenvolvidos exatamente para tentar fazer com que ele chegue até as camadas menos favorecidas da população, contribuindo para uma redução ampla da utilização do chuveiro elétrico. Até mesmo as COHAB's e órgãos financiadores de habitação popular, como a CEF, vem dando amplo incentivo para a instalação de sistemas de aquecimento solar de água em conjuntos habitacionais.[97]

O sistema mais simples utilizado no país é composto pelas placas coletoras, semelhantes àquelas descritas para o sistema fotovoltaico, mas com a diferença fundamental de permitirem a passagem da água em seu interior. A placa, que também deve ficar voltada para o

---

[94] Havia em Belo Horizonte, em 2002, 860 edifícios com sistema de aquecimento solar de água. Fonte: MACHADO (2002)

[95] Segundo a ABRAVA, para cada metro quadrado de coletores solares para aquecimento de água que são instalados, deixam de ser: inundados 56m² para geração de energia hidrelétrica, gastos 55Kg de GLP/ano, gastos 66 l de óleo diesel/ano, consumidos 73 l de gasolina/ano ou ainda queimados 215 Kg de lenha/ano.

[96] Um chuveiro elétrico consome normalmente 3,5 kW na posição "verão" e 4,5 kW na posição "inverno", o que é equivalente a 45 lâmpadas de 100 W acesas.

[97] Segundo reportagem na revista da ABRAVA, a implantação de sistemas de aquecimento solar de água em condomínios de baixa renda, ao diminuir o gasto familiar mensal com energia elétrica entre R$ 15,00 e R$ 18,00, facilita o pagamento das prestações, reduzindo a inadimplência no setor e por isso está sendo amplamente incentivado. MACHADO (2002)

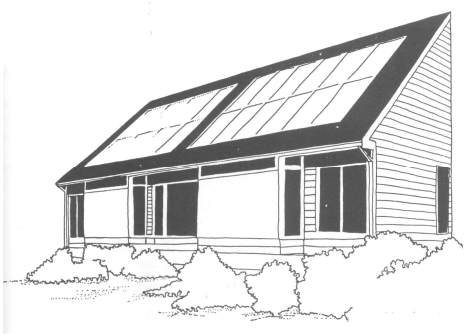


Figura 3.3.10a – Casa “Solar One”
Fonte: (STEADMAN, 1982)

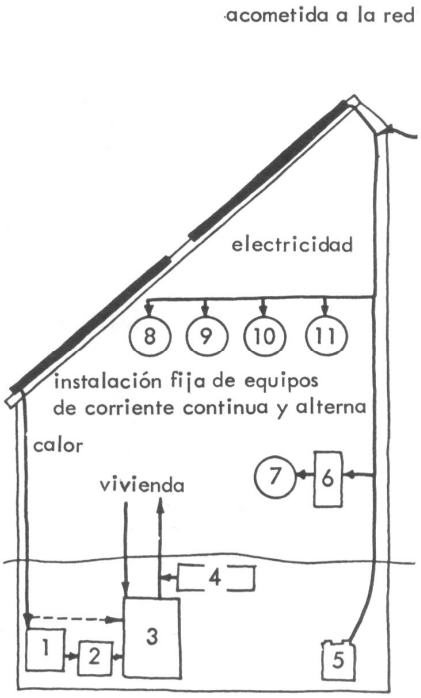


Figura 3.3.10b – Casa “Solar One”: corte esquemático
Fonte: (STEADMAN, 1982)

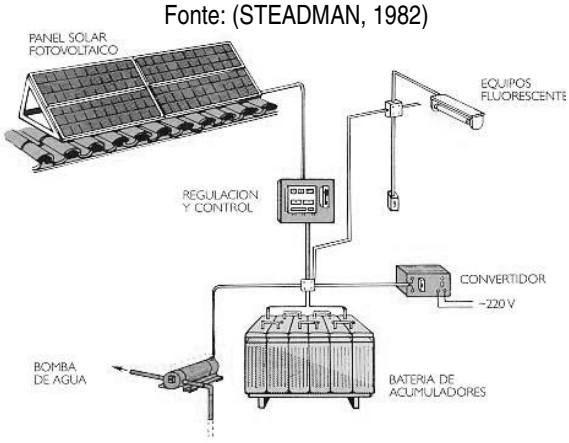


Figura 3.3.10c – Funcionamento do sistema solar fotovoltaico
Fonte: Inersol. Disponível em <http://www.inersol.com/Solar_Fotovoltaica.htm> Acesso em 10 de fevereiro de 2005)

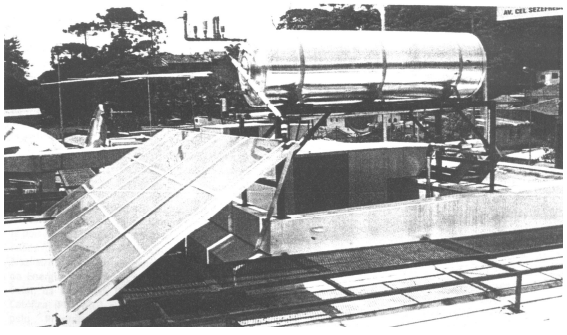


Figura 3.3.11a – Foto sistema de aquecimento solar água
Fonte: ABRAVA, outubro de 2002

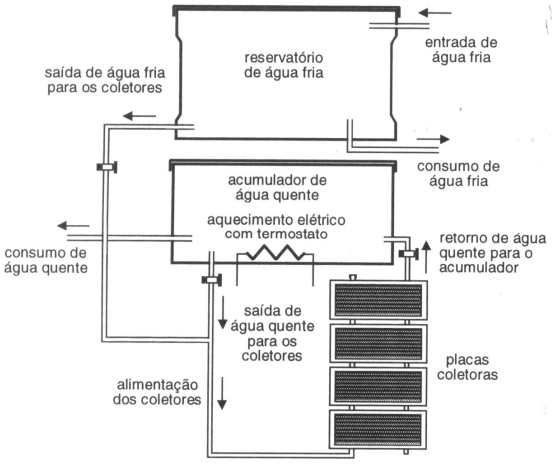


Figura 3.3.11a – Esquema sistema de aquecimento solar água
Fonte: (FARRET, 1999)

norte e na mesma inclinação da latitude do lugar, tem uma entrada de água na parte inferior e uma saída na parte superior. A água fria sai da caixa d'água, entra pela parte inferior da placa, entra em contato com o coletor, aquece e, como fica mais leve do que a água fria, começa a sair pela ligação superior. Esta água quente é encaminhada para um acumulador de água quente (boiler) que tem um termostato elétrico que ajuda a manter a temperatura. Do acumulador a água é distribuída através de uma tubulação própria, normalmente em cobre e revestida com materiais isolantes para minimizar as perdas de calor. (Fig. 3.3.11)

É importante que o arquiteto tenha em mente que para esse sistema funcionar sem a necessidade de bombeamento e, portanto economizando energia de fato, os três elementos que compõe o sistema devem estar posicionados obrigatoriamente no seguinte sentido: a caixa d'água numa altura maior, o acumulador de água quente abaixo da caixa d'água e os coletores abaixo do acumulador. Isso faz com que a água passe de um lugar para o outro simplesmente pela ação da gravidade e por termosifonagem. [98] Se o arquiteto não levar esta ordem em conta na elaboração do projeto, fazendo com que os elementos não fiquem dispostos dessa forma, criará a necessidade de uma bomba para a água quente, aumentando o consumo de energia e criando um equipamento a mais para manutenção dentro do sistema hidráulico da edificação. O arquiteto precisa também ter em mente que o correto posicionamento das placas coletoras está ligado diretamente à eficiência do sistema e, portanto, deve ser levado em conta desde o início do projeto. O número de placas utilizadas é função da quantidade de água a ser aquecida e deve ser um dado para o arquiteto levar em conta o quanto antes, com ajuda dos engenheiros responsáveis e a partir do tipo de uso e do número de usuários. [99] Nos EUA, esse dimensionamento é feito em função da área da edificação e do tipo de uso. (Fig. 3.3.12)

Assim como no sistema fotovoltaico, árvores e prédios vizinhos podem prejudicar o funcionamento do sistema, assim como locais de ventos intensos. Dias nublados também diminuem a eficiência do sistema. O arquiteto deve sempre alertar seu cliente para a necessidade de prever, já na época da construção, a instalação de uma rede interna de água quente, com tubulação apropriada para tal fim, mesmo que o sistema de aquecimento solar só venha a ser implantado futuramente. A instalação de um sistema de aquecimento de água, quer seja ele solar ou a gás, depende da existência de uma rede de água quente na edificação e, caso não tenha sido prevista na construção, será sempre muito mais trabalhosa e onerosa sua implantação numa edificação já construída.

---

[98] Processo no qual a água mais quente sobe em relação à mais fria.

[99] Duas placas comuns para aquecimento solar de água, de 1x2M, são suficientes para aquecer XXl de água por dia, o que equivale ao consumo médio de água quente de uma pessoa.

	Consumo de água quente não-residencial gal/pé², ano (l/m², ano)	
Ocupação	Econômico	Convencional
Escola primária	20 (0,5)	35 (0,8)
Edifício de escritórios	30 (0,7)	50 (1,2)
Escola secundária	40 (0,9)	65 (1,6)
Locais de reunião	70 (1,7)	135 (3,3)
Comércio e serviços	100 (2,5)	170 (4,1)
Ginásio	215 (5,3)	460 (11,3)
Residencial	265 (6,5)	485 (11,9)
Clínica de saúde	305 (7,5)	365 (8,9)
Hospedagem	430 (10,5)	540 (13,3)
Hospital	575 (14,1)	750 (18,4)

Figura 3.3.12 – Tabela de consumo de água quente não-residencial anual
Fonte: (BROWN, 2004)

Existem ainda outros sistemas de utilização da energia solar para geração de energia elétrica diferentes dos que foram descritos. Os sistemas de energia térmica solar ou termossolar convertem a energia solar em energia térmica, que por sua vez é convertida em energia elétrica. Os sistemas mais utilizados misturam os princípios do aquecimento solar de água com os da energia hidráulica que já foram discutidos. São compostos de uma tubulação na forma de uma serpentina, por onde passa água ou algum tipo de óleo, exposta à radiação solar o que faz com que se crie um movimento do fluido interno pela ação do termosifão. A tubulação se liga a uma bomba d'água e o movimento do fluido faz que ela gire acionando um gerador de energia. Existem dois sistemas mais conhecidos de geração de energia desta forma: a calha parabólica e a torre de energia. No primeiro caso, onde existe a serpentina, a tubulação passa dentro de calhas espelhadas parabólicas, paralelas umas às outras, o que faz com que a energia solar se concentre nesses tubos. Quando é utilizado o óleo, este chega a atingir temperaturas de 400ºC, convertendo a água de uma caldeira em vapor que por sua vez movimenta o gerador de uma turbina. O outro sistema é constituído de uma série de espelhos, dispostos ao redor de uma torre com um reservatório no alto. Os espelhos direcionam a radiação solar para o reservatório esquentando o líquido que também aciona uma turbina, gerando energia. São sistemas ainda em desenvolvimento e por isso pouco utilizados. Existe também o sistema de disco parabólico, constituído de um coletor parabólico que acompanha o movimento do sol em dois eixos, concentrando a radiação solar em um ponto focal, onde se localiza um fluido circulante. Este, ao se aquecer, movimenta um turbogerador acoplado no próprio receptor. (Fig. 3.3.13)

A biomassa representa também uma importante fonte de energia alternativa. Seu maior benefício do ponto de vista ambiental está no fato de utilizar o lixo orgânico como fonte de energia, reduzindo seu impacto no meio ambiente. O funcionamento desse sistema se baseia na utilização do biogás, composto principalmente do gás metano produzido pela fermentação anaeróbica de matérias orgânicas, chamadas de biomassa. A composição do biogás e a quantidade de gás metano presente podem variar em função do tipo de material orgânico que compõe a biomassa utilizada. O metano é um gás incolor, inodoro e altamente combustível. Quando entra em combustão, produz uma chama azul-lilás com manchas vermelhas, não produz fuligem, emite uma quantidade mínima de poluição e faz com que o biogás tenha uma capacidade calorífica entre 5.000 e 6.000 Kcal/m^3. [100] Historicamente, é a fonte energética alternativa mais explorada nos

[100] FARRET (1999:125)

países em desenvolvimento, principalmente na Índia, devido a suas implicações benéficas para eliminação de lixo e sua simplicidade tecnológica. [101]

A biomassa se compõe de todo o tipo de material orgânico que entram em processo de decomposição por efeito biológico, graças à ação de bactérias. As matérias orgânicas mais utilizadas como biomassa são os dejetos de animais, restos de culturas, restos de alimentos e subprodutos da indústria de alimentos, plantas, algas e o lixo orgânico urbano de forma geral. O pH das matérias orgânicas utilizadas como biomassa não deve ser mais baixo do que 6, caso contrário facilitará o crescimento de bactérias ácidas e impedirá o crescimento de bactérias metanogênicas. O processo de fermentação da biomassa ocorre dentro de um reservatório, chamado biodigestor e demora de 20 a 50 dias dependendo da composição da biomassa e do tamanho do biodigestor.

O dimensionamento do biodigestor é feito em função do número de usuários atendidos e de sua demanda de energia. O modelo de biodigestor mais utilizado no Brasil no uso doméstico é o do tipo indiano. O sistema é composto por três compartimentos principais. O tanque de carga é uma caixa de alvenaria aberta por cima, onde a matéria orgânica é depositada. Este tanque se liga ao digestor através de um tubo. O digestor é um reservatório cilíndrico, construído debaixo da terra em alvenaria ou concreto, com uma parede no meio que funciona como um septo, com altura inferior à altura do reservatório. A biomassa, que já começa a ser fermentada no tanque de carga, desce pelo tubo e se deposita em um dos lados do septo. No biodigestor a biomassa sofrerá a ação das bactérias metanogênicas e produzirá o biogás que será captado, armazenado e pressurizado pelo gasômetro. A biomassa que já sofreu ação da fermentação se transforma em biofertilizante e sai por um tubo na mesma altura do tubo de entrada, em direção a um tanque de descarga, também construído em alvenaria, mas menor do que o tanque de carga. (Fig. 3.3.14) Nesse tipo de biodigestor, 1 m^3/h de biogás produzem 1.428 kWh. O biogás, depois de armazenado, passa por uma turbina e aciona um gerador acoplado a ela, gerando energia elétrica. Os sistemas mais utilizados hoje em dia, têm capacidade relativamente limitada e funcionam como um mecanismo para aliviar o consumo total de eletricidade, da mesma forma como foi descrito nos sistemas anteriores. A utilização desse biodigestor indiano tem grande utilidade em sítios e fazendas, onde há grande produção de lixo orgânico, boa disponibilidade de espaço e grande demanda para utilização do biofertilizante que é gerado como subproduto.

[101] Apesar disso, também os países do primeiro mundo passaram a investir na geração de energia a partir da biomassa. Na Suécia, por exemplo, ela responde por 20% da matriz energética. Fonte: REIS; SILVEIRA (2001: 81)

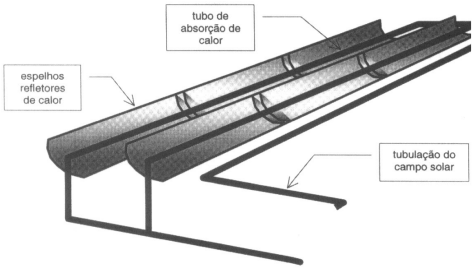


Figura 3.3.13a – Calha parabólica
Fonte: (FARRET, 1999)

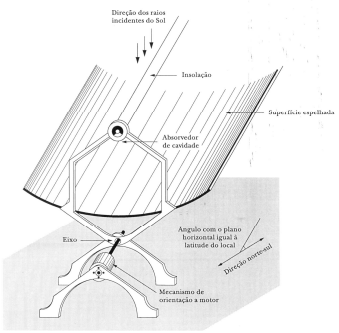


Figura 3.3.13b – Calha parabólica
Fonte: (REIS, 2001)

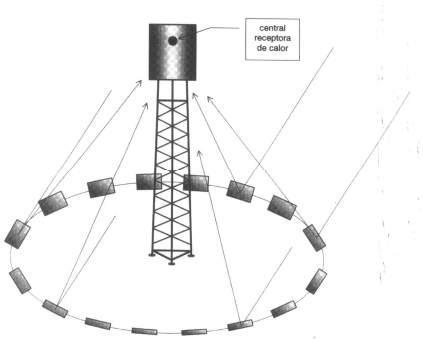


Figura 3.3.13c – Torre de energia
Fonte: (FARRET, 1999)

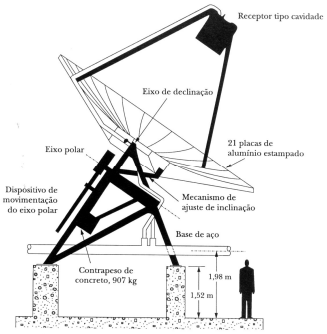


Figura 3.3.13d – Torre de energia
Fonte: (REIS, 2001)

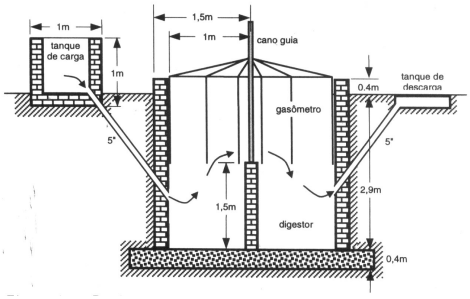


Figura 3.3.14 – Biodigestor Indiano
Fonte: (FARRET, 1999)

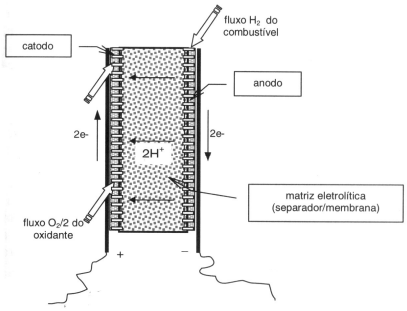


Figura 3.3.15a – Diagrama de uam célula de combustível
Fonte: (FARRET, 1999)

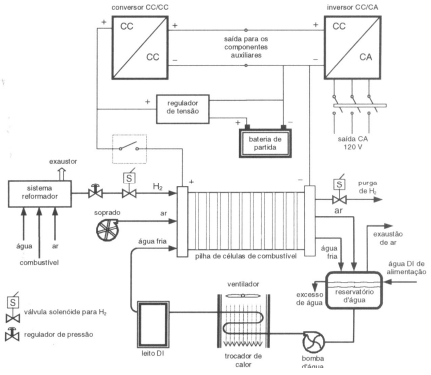


Figura 3.3.15b – Diagrama Microcentral a célula de combustível tratado
Fonte: (FARRET, 1999)

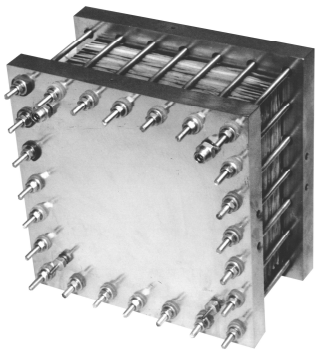


Figura 3.3.15c – Célula CEMIG
Fonte: CEMIG, 2000

O arquiteto precisa prever em seu projeto uma casa de maquinas onde serão instalados motor, gerador, turbina e outros equipamentos para transformação do biogás em energia elétrica. Além disso, deve também escolher o melhor local para a instalação do biodigestor. Este não deve nem ficar longe demais da casa de máquinas nem longe demais da fonte produtora de biomassa. No caso de uma propriedade rural, essa fonte pode ser, por exemplo, o curral, sendo utilizado o esterco animal como biomassa. Um biodigestor de tamanho médio, para a produção de cerca de 6m³/dia de biogás, suficiente para atender uma família de 5 a 6 pessoas, tem cerca de 2,5 m de diâmetro e 2,85 m de altura.

Existem outras formas de geração de energia em pequena escala. Entre elas, provavelmente a mais utilizada no Brasil em localidades que não são abastecidas pelas redes de energia elétrica é a geração a óleo diesel. Os geradores a óleo diesel são bastante comuns, mas utilizam um derivado do petróleo, combustível fóssil em vias de extinção. A queima de petróleo nos processos de combustão de seus derivados contribui para mais de 50% da emissão global de dióxido de carbono na atmosfera. Pelo seu impacto negativo no meio ambiente, a utilização dos sistemas de geração de energia autônoma através da queima do óleo diesel deve ser evitada.

A forma de geração de energia elétrica em pequena escala que desperta o maior interesse dos pesquisadores da área hoje em dia é a célula de combustível. É uma forma de geração de energia limpa, compacta, silenciosa, sem emissão de poluentes e que vem sendo pesquisada hoje por vários grandes grupos da indústria elétrica, eletrônica e até mesmo automotiva.

A célula combustível é uma célula eletroquímica semelhante a uma bateria de automóvel, mas que gera energia a partir da reação eletroquímica do hidrogênio e de um outro gás combustível. Seu funcionamento se dá a partir da ingestão de gás hidrogênio e gás oxigênio, que ao se combinarem num processo de eletrólise* invertida, produzem energia a partir dessa combinação e água como subproduto. Segundo Farret [102], as células de combustível baseiam-se no fluxo de gás (combustível rico em hidrogênio, podendo ser puro ou sob forma de algum derivado, como metanol, gás de carvão, gás natural, gasolina e a nafta*, e de um oxidante, como oxigênio ou o ar), respectivamente, através de um ânodo* e um cátodo* porosos separados por um eletrólito* propriamente dito ou por uma membrana porosa. A partir daí, os gases são descarregados separadamente, talvez no único sistema de combustão onde nunca se encontram. Com resultado da reação dos gases, há geração de calor, e como subproduto, a água potável pela

[102] FARRET (1999:160)

combinação quase pura de hidrogênio e oxigênio, reaproveitados a partir da mistura e queima convencionais.

Esse sistema ainda está em franco desenvolvimento sendo pesquisado em várias partes do mundo os tipos de gases e combustíveis utilizados. [103] Como a obtenção de hidrogênio e oxigênio puros ainda é pouco viável economicamente, o sistema seria hoje inviável do ponto vista comercial. A utilização da célula combustível nos dias de hoje é pouco atraente do ponto de vista econômico devido ao seu estágio inicial de pesquisa e desenvolvimento e, portanto, ao alto custo dos seus componentes. Uma única célula produz apenas algumas centenas de watts, sendo que para produzirem uma quantidade razoável de energia, precisam ser colocadas várias células em linha, o que torna mais cara ainda a utilização do sistema. No entanto, seu potencial de utilização futura é enorme. Isso pode ser concluído devido à limpeza do processo, a geração de água potável como subproduto e à natureza modular da célula, o que a torna aplicável para praticamente todas as necessidades de energia. Para a arquitetura, as aplicações são muito promissoras, mas ainda têm poucos exemplos práticos. Sistemas completos de microcentrais de geração de energia elétrica a célula de combustível já foram testados e começam a ser experimentados em edificações. No entanto, ainda é cedo para que a utilização do sistema possa ser avaliada e dimensionada na arquitetura. Precisam ser ainda pesquisadas, formas de melhorar sua viabilidade econômica para uso em geração de pequena escala, mínimas demandas de espaço físico, além dos melhores combustíveis e tipos de célula a ser empregados nas edificações. (Fig. 3.3.15)

Existem ainda outras pesquisas para geração de energia alternativa com fontes renováveis como por exemplo, a utilização de energia dos oceanos. O mais conhecido desses sistemas utiliza o movimento das marés. Seu funcionamento se baseia no aproveitamento da cheia das marés para encher reservatórios próximos a estuários de rios fazendo com que seu nível suba consideravelmente. Durante a maré baixa, a água do reservatório é expulsa por gravidade, fazendo movimentar turbinas semelhantes às das centrais hidrelétricas. Para que sejam movimentadas as turbinas, é necessário que a diferença de nível da água na maré baixa seja suficiente. Existem também sistemas baseados na geração de energia através da movimentação das ondas. Esses sistemas utilizam normalmente bóias presas por cabos ao sistema gerador no fundo da água. Como a bóia sempre flutua, ao subir e descer com o movimento das ondas, movimenta o equipamento gerando energia. Há ainda, um sistema de

[103] A CEMIG, concessionária elétrica de Minas Gerais, desenvolve desde 2000, um dos projetos mais avançados para pesquisa do uso de célula combustível no país. O projeto, para uma célula a combustível de polímero condutor iônico a hidrogênio e a etanol direto, é desenvolvido em parceria com empresas privadas e com o instituto de química da USP-São Carlos.

geração de energia a partir do calor da água dos oceanos. Em regiões tropicais, a diferença de temperatura entre a água do mar na superfície (25ºC) e a aproximadamente 1000 metros de profundidade (5ºC) é suficiente para movimentar um fluido de trabalho (normalmente freon como nos aparelhos de ar condicionado) que movimenta uma turbina. Essas pesquisas no entanto são recentes e têm menor ligação com a arquitetura por estarem baseadas em estações em alto mar ou na praia.

Como os aspectos ligados à geração de energia através de fontes alternativas e autônomas são assuntos relativamente novos, quase tudo o que foi discutido neste capítulo pode ser considerado como resultado de pesquisas tecnológicas recentes, ainda em desenvolvimento. A crise mundial de energia iniciada nos anos setenta impulsionou o rápido desenvolvimento destas pesquisas e seus resultados já são vistos desde então. Mesmo assim, como essa área está processo evolutivo, é importante que o arquiteto interessado em aprimorar a eficiência energética das edificações que ele elabora, mantenha-se a par dessas pesquisas. Obviamente, o conhecimento das tecnologias de energias alternativas para os arquitetos, não é necessária em níveis aprofundados de conhecimento técnico e científico, como o dos profissionais que as desenvolvem. O arquiteto precisa, no entanto, saber dentre as tecnologias de geração alternativa de energia, aquelas que se tornam viáveis de serem implantadas nas edificações e ter um conhecimento básico para adaptá-las ao projeto arquitetônico sem nenhum prejuízo. Além disso, é necessário avaliar sempre, qual a viabilidade real da utilização de um sistema de geração autônoma de energia em relação à eficiência ambiental, analisando seu funcionamento num sentido mais amplo do que o meramente energético para não incorrer nas mesmas contradições cometidas pelos arquitetos ecologistas dos anos setenta quando tentou-se a autonomia energética das edificações a qualquer custo. [104] Dentro de limites do bom senso, os sistemas de geração autônoma podem se constituir em uma redução brutal no consumo de energia elétrica e serem facilmente integrados ao projeto arquitetônico.

[104] Ver capítulo 2.2

3.4 . Edifícios inteligentes e automação predial

Atualmente, tornam-se comuns termos como “edifício inteligente”, “casa inteligente”, “prédio inteligente”, normalmente associados a edificações dotadas de modernos aparatos eletrônicos. No entanto, a noção exata quanto à significação dessa terminologia permanece pouco clara, bem como o sentido de sua utilização. Por isso, torna-se pertinente uma discussão com o objetivo de esclarecer alguns pontos relativos a este “edifício inteligente”. Pretende-se principalmente verificar, através da análise do uso dessa nomenclatura, como a utilização de sistemas eletrônicos pode contribuir para a racionalização de recursos naturais e energéticos na elaboração do projeto arquitetônico, o foco de interesse da pesquisa.

Antes de passar a essa análise, é preciso voltar a algumas definições primeiras, a começar por “inteligente”, adjetivo utilizado para caracterizar os edifícios em questão. Sabe-se que “inteligente” é aquele que tem, que revela “inteligência”. “Inteligência”, por sua vez, é definida em vários dicionários como a faculdade de conhecer, compreender, aprender, apreender, entender. De forma mais específica, “inteligência” pode ser dita como sendo o “a compreensão da natureza das coisas e do significado dos fatos”. [105] Ou ainda, a “aptidão para compreender, a percepção clara e fácil, o juízo, o discernimento”.[106] De posse destas definições, poder-se-á verificar adiante, se tratam-se de edificações dotadas de características que justificam o uso do adjetivo “inteligente” ou não.

É clara hoje, a noção de que a possibilidade de um “edifício inteligente” decorre da associação entre as edificações e a tecnologia computacional. Desde o final dos anos sessenta, já existiam experiências nos Estados Unidos com computadores que, já naquela época, monitoravam informações básicas do funcionamento de prédios comerciais, como comentam os autores Wong e So em um artigo sobre automação predial:

> Nos anos sessenta, o surgimento de companhias de controle para edifícios comerciais ajudou o surgimento de novas tecnologias. Sistemas eletromecânicos múltiplos surgiram, resultando em uma redução nos custos de instalação e manutenção.(...) O controle automático de sistemas, como unidades de ar-condicionado, tornou-se possível. Temperatura, umidade, pressão e outros parâmetros dos equipamentos passaram a ser monitorados no console.(...) A primeira central de controle de automação predial computadorizada foi vendida no final dos anos sessenta (...). [tradução nossa] [107]

---

[105] HOUAISS (2001)

[106] AULETTE (1980)

[107] *In the 60’s the introduction of control companies for commercial buildings helped the development of new technologies. Electromechanical multiplexing systems were introduced, resulting in reduction in installation costs and maintenance. (…) Automatic control of systems, like air-handling units (AHU´s) became possible. Temperature, flow, pressure and other equipment parameters were monitored on the console. (...) The first computerized building automation control center was marketed late in the 60’s (…).*WONG (1997: 819)

Após a crise do petróleo no começo dos anos setenta, diversos setores da sociedade passaram a se preocupar com a questão da conservação energética. Nesse contexto, foram desenvolvidas pesquisas que criaram sistemas de monitoramento e controle de consumo de energia nas edificações.[108] Graças a eles, os novos prédios poderiam consumir menos energia do que os demais. Na medida em que esses sistemas de monitoramento de energia se desenvolveram no começo dos anos oitenta, começou a circular na mídia especializada o termo "edifício inteligente" para designar os prédios que possuíam tais sistemas de controle.[109] Cabe esclarecer que estes edifícios traziam as mesmas características dos prédios comuns em termos arquitetônicos, mas eram mais eficientes na conservação energética por possuírem mecanismos de gerenciamento do consumo de energia elétrica e, por isso, foram chamados de "edifícios inteligentes".

Ao longo dos últimos vinte e cinco anos, esses sistemas de controle predial se desenvolveram bastante e além de gerenciar o consumo de energia elétrica, passaram também a interligar os demais sistemas prediais (sistema elétrico, telefônico, ar condicionado, de prevenção à incêndios, segurança, etc) de forma a integrá-los, tornando possível a troca de informações entre eles. Esse sistema que gerencia e controla todos os sistemas prediais passou a ser chamado, nos Estados Unidos, de *Building Automation Systems* (*B.A.S.*). No Brasil foi adotada a denominação genérica "Sistemas de Automação Predial" e mais recentemente "Domótica" [110] para os sistemas eletro-eletrônicos de monitoramento de edificações. Os sistemas de automação predial têm como funções básicas: controlar, gerenciar e monitorar o funcionamento de um edifício, através da interligação de todos os sistemas prediais, sendo utilizados principalmente em grandes centros empresariais verticais. Corrobora esta afirmação, Carlson, especialista nesses sistemas, para quem:

> Os Sistemas de Automação Predial (B.A.S.) podem ser considerados uma ferramenta que nas mãos do pessoal de operação predial, garante um controle mais efetivo e mais eficiente sobre

[108] Nesta época, o termo utilizado para esses equipamentos era o de "Sistemas de Gerenciamento de Energia" – *Energy Management Systems* (*EMS*).

[109] Coggan mostra isso: No início dos anos oitenta, revistas da área do comércio começaram a circular histórias sobre 'edifícios inteligentes'. Publicações relacionadas a sistemas mecânicos escreveram artigos sobre sistemas de automação fazendo com que os edifícios ficassem mais eficientes na economia de energia. Revistas ligadas à industria da comunicação contaram como sistemas avançados de telecomunicações tornaram os prédios mais eficientes e portanto mais inteligentes. [tradução nossa]

In the early 1980's, trade magazines began running stories on ' intelligent buildings'. Publications concerned with the mechanical systems did articles on automation systems making buildings more energy-efficient. Magazines serving the communications industry told how advanced telecommunications systems made buildings more efficient and therefore more intelligent. COGGAN (2004: 01)

[110] A palavra deriva do latim *domus*, que significa casa acrescido do sufixo "ótica" utilizado no termo "robótica". Designa de forma ampla, a engenharia de instalações e sistemas prediais mais modernos, ligados aos sistemas computacionais.

todos os sistemas do edifício. [tradução nossa] [111]

Segundo Bolzani, [112] existem diferenças significativas entre os termos automação predial e automação residencial. Para ele, a automação predial se refere na idéia de centralização e integração de sistemas prediais em edificações de maior porte, para que eles possam trabalhar de maneira mais eficiente do que se estivessem isolados. Os sistemas de automação predial se baseiam num usuário "padrão", o que direciona o planejamento do seu uso para atender as preferências da maioria das pessoas que nem percebem a existência dos dispositivos. Já no caso da automação residencial, o usuário do espaço interage com o sistema a qualquer momento, sem que para isso precise ser um especialista. Para tanto, o sistema deve ser orientado para uma interface simples e adaptável ao espaço de uma residência. Pelo menor número de sistemas gerenciados, o equipamento para automação residencial é muito mais simples.

No caso da automação predial, em virtude da crescente complexidade dos sistemas prediais nos grandes edifícios comerciais, sua completa integração operacional provou-se vantajosa economicamente, simplificando a interação entre os sistemas. Esta interação se dá em vários níveis de complexidade. Um exemplo mais simples e já bastante usual é um sistema de detecção de fogo e fumaça ligado a campainhas de alarme de incêndio no prédio e, através de linha telefônica, conectado à central do Corpo de Bombeiros e ainda conectado aos sistemas de chuveiros de incêndio (*sprinklers*). No entanto, possibilidades de interação mais complexas e que proporcionam redução no consumo de energia já são possíveis. É possível, por exemplo, monitorar o número de usuários em um determinado espaço durante um determinado horário e, em função desta demanda, aumentar ou diminuir a potência de sistemas de iluminação e condicionamento de ar. Normalmente os sistemas prediais são dimensionados para os piores casos e trabalham à plena força mesmo que em dado momento isso não seja necessário. Quando se utiliza um sistema como este, no caso de uma diminuição no número de usuários, os sistemas passam a ficar superdimensionados e, portanto passam a consumir energia desnecessariamente. O sistema então diminui a potência do sistema de ar condicionado e de iluminação para adequá-los à necessidade daquele momento, fazendo com que não seja gasta desnecessariamente nenhuma energia. Neste exemplo, trabalham em conjunto, além do sistema de eletricidade e do sistema de ar condicionado, também um controlador de demanda. Esta integração torna-se possível graças aos sistemas de automação predial.

Estes sistemas operam hoje normalmente através de uma rede controlada por um equipamento central. As pesquisas que estão sendo feitas tentam, no entanto, descentralizar as

---

[111] CARLSON, R.A. e DI GIANDOMENICO, R.A. eds. *Understanding Building Automation Systems*. Kingston: R.S. Company , 1991. APUD: WONG (1997).

[112] BOLZANI (2004:60)

plataformas de controle de forma a permitir que seja possível acessar o sistema de mais de um local dentro da edificação. Também estão em curso pesquisas que tentam cada vez mais incluir funções de multimídia que misturem voz, caracteres, gráficos, imagens em movimento, tornando a operação do sistema mais fácil. A maior evolução dos sistemas de automação predial, porém, está na sua interação às redes mundiais de informação. Graças à Internet, esses sistemas estão dando um grande salto no sentido de aumentar as possibilidades de troca de informações em nível global. E é claro que o nível de opções para as aplicações aumenta na medida em que temos um rápido aumento na velocidade de transmissão de dados, graças às redes de banda larga e principalmente ao uso da fibra ótica.

Devido ao fato das grandes corporações empresariais estarem cada vez mais conectadas à redes mundiais de informação e orientadas em função de *softwares*, tornou-se grande a demanda de edificações dotadas de sistemas de automação predial cada vez mais modernos, principalmente nas grandes cidades, para abrigá-las em um ambiente de alta tecnologia onde possam desenvolver seus "Sistemas de Informações Estratégicas"[113]. Essas edificações aparelhadas com os mais modernos sistemas de automação predial são construídas com o objetivo de atender as exigências criadas nos últimos anos por empresas de ponta. Sua tipologia mais comum é a torre vertical de grande porte e normalmente são chamadas de "Edifícios Inteligentes".

Além dos prédios dotados de sistemas de automação de controle e monitoramento, também estão sendo chamados de "inteligentes" edificações dotadas de mecanismos eletrônicos cujo objetivo primário é criar ambientes sensíveis à presença humana. Ambientes que interagem com o usuário executando algum tipo de tarefa a partir de uma programação pré-estabelecida. Várias aplicações deste princípio podem ser imaginadas e algumas estão sendo testadas no mundo inteiro, desde paredes que mudam de cor em função da aproximação de pessoas até ambientes que identificam o usuário que está entrando através de seu código de acesso ou da sua chave pessoal, ajustando luz, temperatura ou música de acordo com as preferências pessoais daquela pessoa. Existem hoje portanto, edificações interativas as quais vem sendo chamadas também de "edifícios inteligentes".

Um outro emprego do termo "inteligente" para edificações está na utilização de sistemas eletrônicos de automação para a criação de cenários, principalmente através de diferentes combinações de iluminação. Através desses sistemas, podem ser criadas várias ambiências

---

[113] O termo SIS, abreviatura do termo em inglês "*Strategic Information Systems*" é mais comum nos meios empresariais.

diferentes em um determinado espaço, uma vez que tenham sido nele instaladas várias luminárias diferentes. Quanto maior for a variação nas características das luminárias, mais combinações serão possíveis e, portanto, mais completo ficará esse sistema. Para ampliar a diversidade na iluminação, as luminárias podem trabalhar com lâmpadas de diferentes graus de abertura de foco, diferentes temperaturas de cor, vários níveis de potência e iluminância*, e ainda, serem dispostas fisicamente em vários pontos do ambiente. A partir da instalação dessa parafernália de iluminação e desses sistemas de automação, poderão ser criadas diferentes cenas em um ambiente. Vários fabricantes da indústria eletrônica entraram nesse mercado oferecendo cada vez mais possibilidades de integração com outros sistemas domésticos, como por exemplo, os sistemas de ar condicionado, de maneira a complementar determinados cenários. As edificações dotadas com esses sistemas têm sido chamadas também de "edifícios inteligentes".

Foram relacionadas três variações bastante próximas, do uso do termo "edifício inteligente". Essas tipologias estão por trás praticamente de todo a utilização que se faz do termo hoje em dia.[114] A partir dessa identificação, pode-se dizer que o uso do termo está associado a prédios dotados de sistemas eletrônicos de automação predial, sejam eles destinados a monitoramento e controle do edifício, ou a criação de algum tipo de interatividade com os usuários dos espaços, ou ainda a criação de cenários distintos.

Esses sistemas eletrônicos, no entanto, não são capazes de fazer com que os edifícios tenham a capacidade de "conhecer a natureza das coisas e do significado dos fatos". Tão pouco, dão aos prédios "aptidão para compreender" ou ainda, a "percepção clara e fácil, o juízo, o discernimento". Pode-se afirmar que, até o presente momento, nem mesmo o mais moderno e mais completo sistema eletrônico de automação predial consegue fazer com que um prédio se torne "inteligente". Quando se ouve o termo "edifício inteligente", trata-se de uma metáfora, o que já era presumível desde o início. Porém, cumpre apontar alguns problemas no seu uso.

Primeiramente, a "inteligência" em nenhum dos casos pode estar associada ao edifício, ainda que de forma tropológica. A qualidade poderia, no máximo, estar associada ao sistema de automação predial empregado para deixar o prédio "inteligente". Isso porque se, considerando um "edifício inteligente", dele for retirado o sistema de automação predial e, em seguida, colocado em

---

[114] Pesquisou-se o uso, no Brasil e no resto do mundo, do termo "edifício inteligente" tanto em revistas que tratam do assunto como também com alguns especialistas nas áreas de automação predial e instalações prediais. Os engenheiros e as publicações ligadas à automação, na grande maioria estrangeiras, quase sempre utilizam o termo para designar a primeira tipologia identificada, a do prédio dotado do sistema de automação predial que monitora e gerencia o prédio, criando interfaces entre os sistemas. Já na área de instalações prediais, tanto os engenheiros quanto as publicações, normalmente utilizam o termo para designar a terceira tipologia listada, a do edifício dotado de espaços capazes de criar cenários através de diferentes efeitos luminotécnicos, mas também, às vezes também o utilizam de forma que abrange tanto a primeira tipologia quanto a terceira. A segunda tipologia foi identificada somente em publicações que tratam de experimentos de caráter acadêmico ou de protótipos ainda em testes.

um “edifício burro”, este se tornará “inteligente” e o inverso acontecerá ao primeiro. [115]Nesse caso, a “inteligência” deveria ser uma qualidade associada ao sistema, e como este, podendo ser colocada ou retirada de qualquer edificação. Mas como esses sistemas são formados por um conjunto de circuitos eletrônicos, cabos, terminais, monitores, enfim, um sistema informatizado, não faz sentido algum associar “inteligência” a ele. Como não se chama um computador de “computador inteligente”, por mais moderno que seja, por analogia, também não são “inteligentes” os sistemas de automação predial e menos ainda os prédios que os utilizam.

Quando são levados em consideração os espaços “inteligentes” associados à capacidade de interatividade, por outros motivos, o uso da metáfora se mostra problemático. Isso porque, já fazem parte do dia-a-dia, vários exemplos de ambientes não-arquitetônicos que respondem de maneira muito mais eficiente à presença humana do que esses ambientes experimentais e que, nem por isso, são chamados de “inteligentes”. Por exemplo, existem alguns carros que têm gravados seleções de preferências pessoais de cada membro da família, e que são codificados através da chave de cada um. Quando um deles coloca a chave na porta, o banco, o volante, se ajustam na posição preferida daquela pessoa. Mesmo com o conforto trazido por esse sistema, esses veículos não são chamados de “carros inteligentes”. Isso porque não há novidade alguma na possibilidade de interação entre uma pessoa e um determinado objeto através de circuitos eletrônicos. A idéia de interação entre um sistema eletrônico e o ser humano é investigada há pelo menos cinqüenta anos e mostrou resultados práticos na área da computação há pelo menos trinta. Os programas de computador desde os anos oitenta, com o surgimento dos computadores pessoais, tentam cada vez mais aumentar as possibilidades de interação, chegando quase a tentar antever qual será a próxima ação do usuário, baseado em informações gravadas anteriormente. Quando a transposição dessa interatividade que já existe nos computadores para os espaços reais é considerada, surgem questões bastante pertinentes a serem discutidas, como por exemplo, o limite de interação desejável em um espaço arquitetônico. Essas questões, no entanto, fogem ao objetivo desse estudo, mas servem como analogia para reforçar a opinião que não há “inteligência” nesses espaços, mas sim a execução de tarefas baseadas em uma programação pré-estabelecida.

Por fim, resta mostrar que também não há “inteligência” nos edifícios dotados de sistemas que criam diferentes ambientações. Como foi dito, esses diferentes cenários são criados principalmente através de um aparato de iluminação. Os efeitos desses cenários serão maiores na medida em que for mais completo o sistema de iluminação. Com isto, normalmente é instalada

[115] A introdução de um sistema eletrônico de automação predial à uma edificação já construída é chamada de *retrofitting* pelos especialistas da área. BOLZANI (2004:51)

uma quantidade de luminárias muito maior do que seria necessário para iluminar de forma eficiente um determinado ambiente. Mesmo que nem sempre todas as lâmpadas estejam ligadas, durante grande parte do tempo a iluminação será superdimensionada para a realização de tarefas naquele ambiente, unicamente para atender a exigência da criação de cenários luminosos. Pesa também o fato de que as luminárias instaladas para esse fim, normalmente trabalham com lâmpadas especiais, exatamente para obter de forma mais contundente, os efeitos desejados. Por esses motivos, esses sistemas geram um consumo de energia maior de o que seria gerado por uma iluminação comum, que atendesse aos requisitos mínimos de iluminação do mesmo ambiente.[116] Tais características poderiam dar a um determinado espaço, ou até a um edifício, a qualidade de "cenográfico" mas não de "inteligente". Além disso, se é considerada a realidade brasileira de racionalização do uso da energia elétrica, a utilização desses sistemas, além de não ser "inteligente", poderia ser extremamente preocupante, não fosse seu custo elevado, o que acaba por restringir seu uso a um número muito pequeno de residências.

Além de não corresponder à realidade, o uso da metáfora antropomórfica da inteligência tem por trás de si uma justificativa mercadológica. Chamar um prédio de inteligente é uma estratégia empresarial de otimização de lucros através da adequação da produção e da oferta de mercadorias – os sistemas de automação ou os próprios edifícios – às necessidades e preferências dos consumidores, no caso grandes empresas ou pessoas de alto poder aquisitivo. O uso do termo "edifício inteligente" ainda causa algum impacto, mesmo apesar de não ser uma novidade, e cria a impressão de que o edifício é dotado de qualidades extraordinárias quando, na verdade, o que o diferencia dos demais edifícios – o sistema eletrônico – já faz parte do cotidiano da grande maioria das pessoas. Pode-se reforçar tais afirmações quando a definição de "edifício inteligente" dada pela indústria de sistemas de automação predial é analisada, através de um artigo escrito por um consultor de uma grande empresa da área de cabeamento estruturado, e publicado em uma revista especializada:

> O termo 'Edifício Inteligente' já está em uso há algum tempo. Então o que é exatamente um 'Edifício Inteligente'?
> Nos Estados Unidos, foi adotada para o edifício inteligente, a seguinte definição: 'O Edifício Inteligente é aquele que fornece um ambiente produtivo e de baixo custo com a otimização de seus quatro elementos básicos: sistemas, estruturas, serviços, e gerenciamento, e a inter-relação entre eles. A única característica que todos os edifícios inteligentes têm em comum é uma estrutura projetada para acomodar mudanças de maneira conveniente e de baixo custo.'
> Por outro lado, o European Intelligent Building Group (EIBG) afirma: 'Um Edifício Inteligente cria um ambiente que permite organizações para atingir os objetivos empresariais de seus ocupantes,

[116] Esses dados foram verificados com especialistas na área de instalações prediais.

> enquanto, ao mesmo tempo, permite uma gerência eficiente dos recursos com custos de vida útil mínimos.' Ambas as definições apontam para conclusões similares, mas através de caminhos diferentes.
> Baseado nas definições acima e em outras, a interpretação da NORDX [empresa da qual ele é consultor] sobre o Edifício Inteligente é a seguinte: o Edifício Inteligente é aquele que fornece um ambiente confortável e produtivo aos ocupantes através de sistemas de controle automatizados tais como: aquecimento, ventilação, e condicionamento de ar (HVAC); segurança contra incêndios; segurança patrimonial; e gerenciamento de energia e iluminação. É aquele em que estes sistemas de controle são integrados e interagem entre si. (...).Um Edifício Inteligente é também o que integra telecomunicações e serviços do controle através de um sistema único de redes de cabeamento estruturado e de sistemas de gerenciamento compatíveis com as tecnologias atuais e com as futuras e com as demandas do edifício e seus usuários. [grifo nosso - tradução nossa]. [117]

A afirmação de que o uso da metáfora da "inteligência" é essencialmente uma questão comercial pode ainda ser mais explicitada. Em um artigo sobre edifícios inteligentes, Donald Coggan, especialista na área de sistemas de controle, comenta que o Simpósio Internacional sobre Edifícios Inteligentes, realizado em Toronto, em 1985 (*International Symposium on the Intelligent Buildings*), dá ao edifício inteligente a seguinte definição:

> Um edifício inteligente combina inovações, tecnológicas ou não, com gerenciamento completo, para maximizar o retorno com investimentos.
> (…) De fato, novos edifícios incorporando as mais recentes tecnologias podem ser chamados de inteligentes e, portanto, mais facilmente comercializados. [tradução nossa] [118]

Isso também ocorre no Brasil. A utilização do termo "inteligente" tem sido quase que sempre associada a finalidades publicitárias. Bolzani [119] defende que o termo pode ser utilizado na automação predial desde que se refira a um dispositivo e mesmo assim se ele for capaz de gerir outros sistemas. Ainda sim, o autor reconhece que:

---

[117] - *The term 'Intelligent Building' has been around for quite a while. So, what exactly is an Intelligent Building?*

In the United States, the Intelligent Building has adopted the following definition: 'An intelligent building is one that provides a productive and cost-effective environment through the optimization of its four basic elements: systems, structures, services, and management, and the interrelationship between them. The only characteristic that all intelligent buildings have in common is a structure designed to accommodate change in a convenient, cost-effective manner.'

On the other hand, the European Intelligent Building Group (EIBG) states: 'An Intelligent Building creates an environment that allows organizations to achieve their business objectiveness of its occupants, while at the same time allowing efficient management of resources with minimum life-time costs.' Both definitions point toward similar conclusions but their approach differs.

Based on the above and other definitions, the NORDX interpretation of an Intelligent Building is the following: 'An Intelligent Building is one that provides a comfortable and productive environment to the occupants through automated control systems such as: heating, ventilation, and air-conditioning (HVAC); fire safety; security; and energy/lightning management. It is one in which these control systems are integrated and interact with each other. (...) An Intelligent Building is also one that integrates telecommunications and control services through a single structured cabling network and management system that meets current and future technologies and building/user demands. STELCNER (1997: p. 51)

[118] *An intelligent building combines innovations, technological or not, with skilful management, to maximize return on investment*. COGGAN (2004: 01)

[119] BOLZANI (2004: ix)

> (...) o termo tem sido muito utilizado comercialmente e com fins publicitários para enaltecer novas funcionalidades de equipamentos, dispositivos, sistemas ou serviços. Porém, na verdade, muitas vezes não desempenham efetivamente uma capacidade de aprender, compreender, interpretar ou desenvolver alguma forma de intelecto ou perspicácia como descrito nos dicionários [de Holanda Ferreira, 1999]. [120]

Porém, apesar de todos esses problemas no uso do termo "edifício inteligente", a possibilidade de utilização de sistemas eletrônicos de automação predial na arquitetura tem enorme potencial no que diz respeito à conservação de energia e água. Desde que surgiram, esses sistemas têm a capacidade de gerenciar o consumo de energia, sendo que a realização dessa tarefa foi inclusive o maior impulso para o seu desenvolvimento inicial. Com a evolução da tecnologia computacional, é de se esperar que as possibilidades de uso dos sistemas de automação predial com esta finalidade só aumentem. Isso faz com que o uso atual e o desenvolvimento futuro desses sistemas sejam de grande interesse para a construção de um pensamento arquitetônico consciente com relação à conservação de recursos. Se, por um lado, os sistemas de automação predial não criam "edifícios inteligentes", por outro, podem contribuir enormemente para a criação de "edifícios ambientalmente eficientes", o que interessa bastante à esse estudo.

Mas para criar condições para projetar edifícios mais eficientes no uso da energia através da utilização de sistemas eletrônicos, torna-se necessário um maior conhecimento a seu respeito por parte dos arquitetos. Esse conhecimento, ainda que num nível elementar, aumenta as possibilidades de soluções no projeto arquitetônico e nas interfaces entre a arquitetura e os demais projetos. Rafael Serra afirma que a arquitetura a ser proposta hoje deveria ser:

> (...) uma arquitetura que desde o início de sua concepção, incorporasse todas as possibilidades técnicas de hoje em dia. Deveria ser uma arquitetura que aproveitasse a existência dos agentes ambientais naturais para seu melhor funcionamento e, por sua vez, relacionasse-os com os mais complexos sistemas de controle para assim regular suas condições ambientais interiores de acordo com as necessidades e os desejos dos usuários. [tradução nossa] [121]

Ao levar em conta o uso de um sistema eletrônico de automação predial desde o início do processo de criação, o arquiteto pode mediar de forma mais eficaz a sua relação com os demais componentes de um edifício do que quando se esses sistemas são introduzidos após a conclusão do projeto arquitetônico. O surgimento da engenharia de automação não deve tornar-se motivo

---

[120] Idem, (2004: ix)

[121] (...) *una arquitectura que desde el inicio de su concepción, incorporase todas las posibilidades técnicas de hoy en día. Debería ser una arquitectura que aprovechase la existencia de los agentes ambientales naturales para su mejor funcionamiento y, a la vez, los relacionase con los mas complejos sistemas de control, para así regular sus condiciones ambientales interiores de acuerdo con las necesidades y los deseos de los usuarios.* SERRA (1999: 87)

para que os arquitetos abstenham-se de conhecer essas tecnologias. A arquitetura é um campo de conhecimento com enorme horizonte de interfaces com outros campos e que geralmente, durante a elaboração de uma edificação, cumpre a tarefa de ser ela própria a interseção entre esses diferentes conhecimentos. A consideração dos sistemas de automação predial não pode ser desprezada pelos arquitetos, pois a fantasia de uma autonomia arquitetônica pode comprometer uma arquitetura que busque uma pertinência ampla.[122]

A utilização desses sistemas de automação predial de forma integrada ao projeto arquitetônico encontra outras justificativas. Estes sistemas eletrônicos que gerenciam os gastos de energia são, eles próprios, alimentados por energia. Neste sentido, não podem ser deixadas de lado estratégias de redução de consumo energético que não gastem energia. As estratégias passivas de redução do consumo de energia têm sempre vantagem sobre as estratégias ativas, dentre as quais se incluem os sistemas de automação predial. É o que comenta o próprio Serra:

> A aplicação na arquitetura destes sistemas com a integração interativa de todos os controles possíveis nos edifícios, pode ter conseqüências positivas tanto do tipo sociológico como do tipo ecológico. Mas, por sua vez, os sistemas de alta tecnologia utilizados podem promover a aplicação de sistemas de controle ambiental e de serviço com alto consumo de energia artificial, sem falar numa relação pouco eficiente com os usuários, aspectos que representam conseqüências contrárias as que deveriam favorecer. No limite, um controle manual de um sistema de persianas pode ser muito mais eficiente, energeticamente falando, do que um complicado sistema de climatização.
> Além disso, apesar dos mesmos sistemas de controle serem baixos consumidores de energia, pela sua própria estrutura técnica, esta vantagem não deve perder-se com o uso irracional de sistemas artificiais de controle ambiental e de serviço. Neste caso, paradoxalmente, o controle ativo deveria favorecer o uso de sistemas passivos e controle ambiental. [tradução nossa] [123]

Mas quando se considera a capacidade intrínseca que a arquitetura tem de colocar-se como ponte entre áreas distintas, pode-se esperar que ela realize com êxito a tarefa de conciliar as estratégias contemporâneas para redução do consumo de energia, como os sistemas de

---

[122] Reflexão proporcionada pelas considerações do prof. José Cabral dos Santos Filho ao trabalho que originou este capítulo.

[123] *La aplicación en la arquitectura de estos sistemas con la integración interactiva de todos los controles posibles en los edificios, puede tener consecuencias positivas tanto de tipo sociológico como de tipo ecológico. Pero a la vez, los sistemas de alta tecnología utilizados pueden promover la aplicación de sistemas de control ambiental y de servicio con alto consumo de energía artificial, además con un relación con los usuarios poco eficiente, aspectos que a larga representan consecuencias contrarias a las que se deberían favorecer. En el límite, un control manual de un sistema de persianas puede ser mucho más eficiente, energéticamente hablando, que un complicado sistema de climatización. Además, a pesar de que los mismos sistemas de control son bajos consumidores de energía, por su propia estructura técnica, esta ventaja no debe perderse con el uso irreflexivo de sistemas artificiales de control ambiental y de servicio. En este caso, paradójicamente, el control activo debería favorecer el uso de sistemas pasivos de control ambiental.* SERRA (1999: 86)

automação predial, com princípios passivos utilizados há muito tempo. Assim, a “inteligência” não residirá mais no edifício como foi pretendido, mas sim no arquiteto. Isso porque a adoção dessa estratégia conciliadora na elaboração arquitetônica contribui para o estabelecimento de uma melhor relação entre o homem e o meio ambiente ao propor um uso mais racional dos recursos naturais e energéticos através de todos os meios disponíveis. Essa postura poderá contribuir para a formação de arquitetos que, caso sejam chamados de “inteligentes”, estarão fazendo uso do adjetivo de forma estrita e não metafórica.

3.5 . Reuso de água em edificações

Apesar da grande quantidade de água presente no planeta, apenas uma pequena parte pode ser utilizada pelo homem para fins domésticos, o que dá a real dimensão do crescente valor que este bem natural adquiriu nos últimos anos. Com o avanço acelerado em todo o mundo da produção industrial, das culturas agrícolas e dos assentamentos humanos, cada vez mais os cursos d'água tendem a ter sua qualidade piorada, agravando o problema do abastecimento de água tratada em edificações. O Brasil é um país que ainda não sofre tantos problemas nesse sentido de uma forma ampla, devido ao seu alto potencial de água doce, mas já apresenta áreas de dificuldades de abastecimento pontuais. [124] Como o uso deste bem cada vez mais caro - que é a água tratada - se dá em grande parte nas edificações públicas, comerciais e principalmente residenciais, torna-se importante tentar vislumbrar as possibilidades de um uso mais racional através dos projetos dessas edificações. Este capítulo irá abordar a relação entre os recursos que vêm sendo utilizados em outros países e agora começam a chegar no Brasil no sentido de reutilizar água, tanto da chuva como de esgotos cinzas (água proveniente de banhos e lavatórios). A abordagem será a mesma no sentido de tentar extrair dessas estratégias aquilo que mais interessa ao arquiteto no momento do projeto.

Cerca de 71% da superfície da Terra são cobertos por água, sendo que seu volume total é estimado em 1.350.000.000.000 de km³. De toda a água presente no planeta, 97,5% estão nos oceanos, 2% nas geleiras e apenas 0,5% nos corpos d'água nos continentes. E dessa última, 5% encontra-se na superfície e 95% está no subsolo, que se constitui dessa forma, na grande reserva de água doce dos continentes. No entanto, a localização das grandes reservas dessa água dos continentes nem sempre coincide com as áreas de maior adensamento humano, o que acaba gerando problemas de abastecimento na maioria das regiões de maior densidade. O Brasil, que tem 12% da água doce do mundo em seu território, é um bom exemplo. Grande parte desse potencial se encontra na região Norte, onde há as menores densidades populacionais do país. Na região sudeste, onde grande parte da população se concentra, as reservas de água doce são menores do que na região Norte e, por isso, algumas cidades vêm tendo graves problemas de racionamento no abastecimento de água nos últimos anos e estão tendo que buscar água de qualidade cada vez mais longe para abastecer os moradores.

A água que existe na Terra é a mesma há milhões de anos, desde o surgimento do planeta. Graças ao chamado ciclo hidrológico, a água percorre um circuito fechado contínuo: cai nos continentes, sob a forma de precipitações atmosféricas, penetram no solo, correm diretamente

---

[124] Desde abril de 1997, o governo federal criou o Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água – PNCDA, coordenado em âmbito nacional pela Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano da Presidência da República.

para os cursos d'água ou se evaporam novamente. A água que cai nos cursos d'água se dirige para os oceanos, assim como a água que penetra no subsolo e percola por ele, ou seja, atravessa-o lentamente, alcançando os rios que se encaminham aos mares. Isso mostra que a água que encontra hoje a disposição do homem para utilização para as mais diversas atividades é a mesma que sempre esteve presente, o que aumenta a necessidade de utiliza-la de maneira mais sábia. (Fig. 3.5.1)

De acordo com a Agência Nacional das Águas (ANA), a água utilizada hoje no Brasil está dividida em: água para irrigação e uso agrícola em geral (62,7%), água potável para uso doméstico (17,9%), água para fins industriais (14%) e água para animais (5,4%). Em 2010, segundo o Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos (GRH) o consumo de água no país se dividirá basicamente em: irrigação (51%), indústria (26%) e uso doméstico (23%). Como os objetivos desta pesquisa estão relacionados ao projeto arquitetônico de edificações, este capítulo abordará somente o reuso de água no uso doméstico, não serão discutidas técnicas para reutilização de água na agricultura e na indústria, que envolvem técnicas específicas.

Na grande maioria dos grandes centros urbanos brasileiros, a água da chuva é tratada como se fosse esgoto, sendo direcionada para as redes subterrâneas carreando todo o tipo de detritos que se encontrem na superfície. Dessa forma, como um solvente que vai carreando todas as impurezas que encontra, faz a lavagem das superfícies das cidades, dos telhados, dos pisos e se dirigem por gravidade para os cursos d'água mais próximos onde são lançados diretamente. O córrego ou rio que recebe essa água carregada de sedimentos e detritos, muitas vezes vai suprir o abastecimento de uma outra cidade à jusante*, indo parar em uma estação de tratamento de água (ETA). Nessa estação terá que se submeter aos processos de limpeza e separação que podiam ter sido feitos antes de serem lançados no curso d'água. Raros são os casos no Brasil de locais onde a água da chuva não é tratada simplesmente como uma água de limpeza, sendo totalmente desperdiçada. Também a água tratada é fonte de desperdícios absurdos no Brasil. O país tem uma das maiores taxas de consumo de água *per capta* do mundo, utilizadas para o cálculo de dimensionamento de abastecimento. Além disso, a própria cultura brasileira, acostumada à abundância de chuvas em certas épocas do ano e aos numerosos cursos d'água em todo o território nacional, cria hábitos de desperdício de água nas edificações. A utilização de válvulas de descarga, sistemas de varrição com jato d'água, lavagem de carros são alguns dos exemplos de como a água potável é utilizada para fins menos nobres e sem qualquer parcimônia no Brasil.

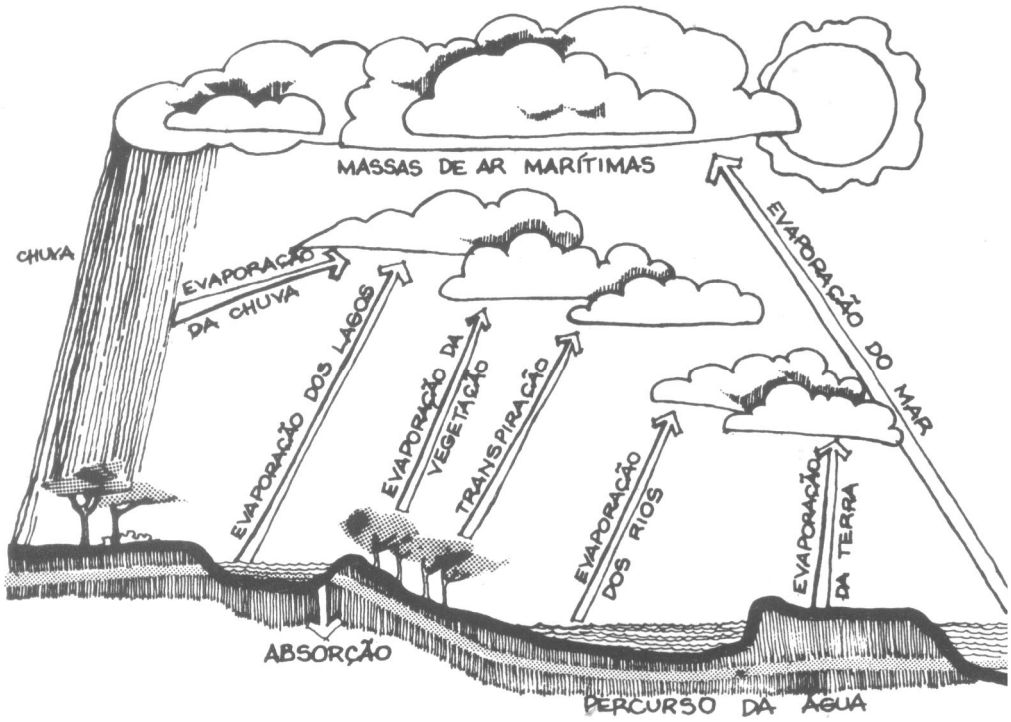


Figura 3.5.1 – Ciclo Hidrológico
Fonte: (ROMERO, 2000)

A possibilidade de reutilização da água de chuva traz uma série de benefícios ambientais. Promove processos de auto-abastecimento de recursos naturais e preserva um recurso tão caro como a água de chuva. Economiza energia dos sistemas públicos de abastecimento de água, diminuindo sua demanda. Diminui a vazão de água de chuva nos sistemas públicos de drenagem urbana, aliviando as redes nos horários de picos de chuva e diminuindo os riscos de erosões urbanas. Há também vantagens qualitativas: a água de chuva é uma das fontes de água mais puras que existe, uma vez que a precipitação pluviométrica se constitui de evaporação seguida de condensação, o que torna a água de chuva em princípio, uma água destilada. A água de chuva só está sujeita á poluição do ar, uma vez que não está em contato com o solo, como a água de rios, córregos, lagos e outros corpos d'água, expostos á contaminações muito mais agressivas. Devido a pouca dureza*, a água de chuva, utilizada na lavagem de roupas, demanda menor quantidade de sabão e detergentes para clareá-las. Também pelo mesmo motivo, os equipamentos em contato com esta água, como bombas e filtros, têm maior vida útil, uma vez estão sujeitos a menores depósitos de cálcio em seus componentes.

Os critérios para avaliação da qualidade de água chuva para utilização doméstica se baseiam principalmente nos níveis de patógenos* que contém. A água coletada deve estar livre de bactérias como *salmonella*, *e-coli*, *legionella* e agentes contaminantes como pesticidas, inseticidas, chumbo e arsênico. Além disso, os critérios de qualidade da água de chuva para uso doméstico se baseiam em sua cor, turbidez, odor, alcalinidade, pH, níveis de cálcio, magnésios, ferro e cloretos. De qualquer forma, a água de chuva por ter passado por um processo de destilação, traz um percentual muito menor de minerais e sais dissolvidos do que as águas que estão no solo e chegam às estações de tratamento.

Grande parte da contaminação da água de chuva ocorre no seu contato com ar. A poluição do ar é a responsável direta por essa contaminação. Segundo a CETESB, a poluição atmosférica é composta de poluentes advindos do escapamento dos veículos automotores, partículas sólidas em suspensão, gotículas de óleo expelidas pelos motores, centrais termoelétricas, fábricas de fertilizantes e de explosivos, fábricas de ácido nítrico, de ácido sulfúrico, sulfonações, queima de derivados de petróleo ou carvão com altas concentrações de CO, CO_2 e SO_x, NO_x etc. Os processos industriais a quente, sejam de combustão ou não, em altas temperaturas, chegam a volatilizar alguns metais e resultam na emissão para atmosfera de pequenas partículas que formam dispersões coloidais também chamadas de aerossóis. Devido ao seu longo tempo de residência na atmosfera, estas podem ser transportadas por longas distâncias, podendo atingir áreas remotas e longínquas. Os aerossóis presentes na atmosfera são removidos por processos interativos dentro das nuvens e abaixo destas durante a precipitação

pluviométrica, influenciando fortemente a composição química da água da chuva. A complexação de metais por matéria orgânica aumenta a solubilidade dos aerossóis na água de chuva. Vários metais são encontrados na água de chuva em regiões de maior concentração de indústrias pesadas, principalmente chumbo, cromo, níquel, cobre, zinco. Os sistemas de coleta e uso doméstico de água de chuva de mais de trinta anos experimentaram alguns problemas devido à presença de agentes patogênicos, que contribuíram para a proliferação de algumas doenças. Hoje, porém, esses agentes já foram identificados e a utilização da água de chuva até mesmo como água potável é muito mais segura.

Em várias regiões do Brasil, outra alteração química que limita o uso da água de chuva acontece com relação à sua acidez. O pH* da chuva em princípio é 7,0, uma vez que a água destilada é neutra. Na medida em que a água se precipita, vai dissolvendo o dióxido de carbono naturalmente presente no ar e seu pH abaixa para aproximadamente 5,6 o que poderia ser considerado uma pequena acidez. No entanto, a presença de outros gases como nitratos e sulfatos no ar abaixa ainda mais o pH da chuva tornando-a mais ácida. Isso acontece também por contaminação do ar devido à presença de industrias. Nesses casos, a água de chuva para determinados usos deverá sofrer um processo de alcalinização para reduzir sua acidez.

A água de chuva pode passar por processos de limpeza e purificação para se tornar potável. No entanto, em determinados casos o custo de purificação dessa água pode ser alto e, mesmo não-potável, a água de chuva pode ser utilizada para diversos fins na edificação. Pode ser utilizada, por exemplo, para descarga de vasos sanitários, responsáveis por grande parte do consumo de água de uma residência. Esta água de chuva não-potável pode ser utilizada também para irrigação de gramados e jardins, áreas esportivas gramadas. Pode ser destinada ainda para lavagem de pisos e áreas externas, lavagem de veículos, torres de resfriamento, parques e cemitérios, reserva de incêndio, limpeza de tubulações, sistemas de paisagismo com água como espelhos d'água, chafarizes, cascatas, fontes, etc. A água de chuva não-potável ainda tem largo uso na construção civil, na compactação do solo, no controle de poeira, na lavagem de agregados, na produção de concreto, entre outros.

A prática coletiva da coleta de chuva, mesmo que para fins não potáveis, traz enormes benefícios para as cidades, através da redução da vazão nos sistemas públicos de drenagem, como foi mencionado. Em algumas cidades brasileiras, como Belo Horizonte e São Paulo, já existem leis específicas sobre o retardo do lançamento da água de chuva na rede pública através de caixas de captação. Normalmente esse recurso é solicitado quando a edificação não apresenta

nenhum tipo de área permeável, o que resultaria numa contribuição total de água de chuva na rede pública.[125]

A prática de captar a água de chuva para o abastecimento de água potável em edificações é bastante antigo [126] e só deixou de ser utilizado quando surgiram nas cidades os sistemas de coleta, tratamento e abastecimento de água em larga escala. Em edificações antigas, de civilizações primitivas, os telhados foram largamente utilizados como coletores de água pluvial de onde ela era conduzida para cisternas escavadas na pedra ou em períodos menos longínquos, para barris de acumulação de água de chuva. A retomada da utilização de água de chuva hoje está ligada à crescente escassez de água potável, ao aumento dos custos dos sistemas centralizados de tratamento, à crescente poluição das fontes de abastecimento e a percepção de que há na água de chuva uma ótima opção em termos financeiros e de qualidade para o consumo doméstico. A utilização de água de chuva vem aumentando em todo o mundo e em alguns lugares já existem várias construções que fazem uso de sistemas de coleta e armazenamento de água pluvial, principalmente na Índia, na Austrália, no Texas (EUA) e no Havaí, sendo que nesse último, cerca de 60.000 pessoas vivem em edificações com sistemas de captação de água de chuva.

Nem toda a água de chuva coletada nas superfícies das edificações é armazenada, pois parte dela é perdida na superfície em que foi captada e ao longo das calhas e tubulações que a conduzem. Essa perda acontece devido à rugosidade dos materiais que transportam a água, principalmente no telhado, onde a água normalmente é captada. Quanto mais lisos estes materiais, menor será a quantidade de água que ficara retida em suas superfícies. No Brasil, adota-se um coeficiente para admitir essas perdas, chamado de coeficiente de *runoff*. [127] Esse coeficiente varia de 0,8 a 0,9 para telhas cerâmicas; 0,7 a 0,9 para telhas metálicas; 0,95 para coberturas de fibra de vidro, uma das mais eficientes; 0,5 para uma superfície gramada, uma das menos eficientes.

No caso da utilização da água de chuva como água potável, os materiais para a cobertura devem ser não-tóxicos e inertes.Telhados de metal, telhas cerâmicas ou ainda pedras como ardósia são os tipos de cobertura mais indicados para propiciar uma coleta de água que pode ser utilizada como água potável. Se receberem algum tratamento químico como uma pintura que diminua sua porosidade, tanto melhor, pois diminuirá o risco de crescimento de bactérias nos

---

[125] No caso de Belo Horizonte, isso ocorre quando um empreendimento não apresenta uma área mínima permeável que varia de 20 a 30% da área do lote, dependendo da região da cidade. Nesse caso, o proprietário do empreendimento é obrigado a criar uma caixa de captação de água de chuva em concreto que lança essa água aos poucos na rede pública. Não há no entanto, nenhuma menção quanto ao aproveitamento dessa água pela lei.

[126] Civilizações antigas como os Maias utilizavam essa prática, através de cisternas e cenotes.

[127] Vazão, escoamento em inglês. Os valores foram dados pelo prof. Hivanildo Espanhol (CIRRA).

poros do material. Coberturas de amianto, mantas asfálticas, e madeiras quimicamente tratadas, além de alguns tipos de pintura, podem contaminar a água com substâncias que a tornam imprópria para o consumo como água potável, sem perder, no entanto, a utilidade para outros fins. É muito importante que nenhum material na cobertura ou nos sistemas de calhas e dutos contenha chumbo nem mesmo nas soldas dos canos. A chuva com pouca acidez, o que é comum, como foi mostrado, consegue dissolver o chumbo e contaminar a água. A utilização de chumbo era comum em dutos antigos ou em tintas que utilizavam esse metal em sua base. Com relação às pinturas, caso seja utilizada algum tipo de pintura nas telhas ou na cobertura, ela não deve conter fungicidas, pois esses elementos químicos em contato com a chuva podem contaminar a água, tornando-a imprópria para beber. Pinturas a base de acrílico nessas partes também podem causar algum tipo de espuma que torna a água imprópria para beber. A capacidade de absorção de água de chuva por uma edificação é proporcional à pluviosidade do local e à área de telhado e superfícies disponíveis para a captação. Vale a pena ressaltar, com relação ao dimensionamento da área de captação, que a área correspondente à coleta de chuva a ser considerada é sempre a projeção horizontal do telhado.

A água coletada na cobertura deve ser encaminhada para o reservatório através de calhas e dutos. Estes devem ser dimensionados para serem capazes de escoar toda a água coletada em chuvas intensas para evitar perdas de água nesses picos. As calhas e condutores verticais devem ser resistentes e preferencialmente externos para facilitar qualquer tipo de manutenção. As calhas devem conter algum tipo de tela para evitar que folhas ou qualquer outro tipo de sujeira se acumule nelas. Os dutos que captam a água a partir das calhas devem descer diretamente até os reservatórios sem nenhum tipo de curva em “U” que crie refluxo ou mesmo um efeito de sifão. Isto pode fazer com que a água fique parada na calha, atraindo animais e acumulando dejetos orgânicos.

As águas que são coletadas em um telhado nos primeiros instantes da chuva são as que contém maior contaminação. Isto porque, quando começa a precipitação, as primeiras águas que caem com a chuva lavam a poluição atmosférica e outros materiais em suspensão como poeira, esporos de fungos, mofos, protozoários, bactérias, algas, micro-organismos, acides, e os supracitados metais na forma de aerossóis. Além disso, a primeira chuva carrega todo o tipo de lixo que está no telhado: folhas, pequenos animais como insetos, e excrementos de animais maiores como pássaros, ratos e gatos. É importante, por isso mesmo, evitar que galhos de uma árvore cresçam sobre a cobertura que coleta a água de chuva, pois isso aumenta o número de folhas que cai sobre ele, além de favorecer a presença de fezes de pássaros e facilitar o trânsito de animais menores pelo telhado.

Muito pouco tempo após o inicio da chuva, a água coletada já adquire muitas das características de água potável, quando comparada com os parâmetros do WHO (*World Health Organization*), superando em qualidade á água tratada fornecida pelas concessionárias em várias cidades do Brasil. Essa água é tão pura que estão praticamente ausentes sais dissolvidos, detectáveis por nosso paladar. Por isso em alguns locais como Austrália e Havaí foram desenvolvidos mecanismos que permitem que as primeiras águas da chuva, carregadas de impurezas, sejam descartadas e somente a água que cai depois dos primeiros instantes seja coletada.

Alguns dos manuais de coleta de água de chuva para fins domésticos como o *Texas Guide to Rainwater Harvesting* [128] e o *Guidelines on Rainwater Catchment Systems for Hawaii* [129] apresentam vários tipos de sistemas de descarte. Há um sistema constituído de uma calha sustentada por um pivô e presa por um cabo em uma das extremidades. As primeiras chuvas caem na calha em direção a um balde que quando está completamente cheio, movimenta pelo seu peso a calha no sentido contrário como uma gangorra fazendo com que as águas seguintes caiam no reservatório. (Fig. 3.5.2)

Outro mecanismo, menos engenhoso mas talvez mais eficiente, constitui-se em um tubo de descida, na parte mais baixa da calha. Este tubo, dimensionado para conter toda a primeira chuva, fica vedado na sua parte mais baixa. Quando a chuva inicial cai, enche esse tubo, e toda a água que cai depois que o tubo já está cheio, vai para a parte mais alta da calha e cai em outro tubo, esse sim ligado ao reservatório de acumulação. Na base do tubo que acumula a água de descarte, há uma válvula que possibilita a liberação dessa água após a chuva. (Fig. 3.5.3)

O professor Ivanildo Hespanhol, do Centro de Referência em Reuso da Água (CIRRA), ligado à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Poli-USP), demonstrou outros tipos interessantes de sistemas de descarte.[130] Estes sistemas se apresentam como reservatórios de descarte e não como mecanismos externos. O primeiro deles é constituído por uma caixa subterrânea, construída em alvenaria ou em concreto, semelhante a uma caixa sifonada, em que a entrada que vem da cobertura e a saída que vai para o reservatório final estão na parte

[128] Texas Water Development Board & Center for Maximum Potential Building Systems, (1997:8)
[129] MACOMBER (2001:9)
[130] Palestra realizada em 2004, dentro da Minascon, feira de construção civil em Belo Horizonte, MG.

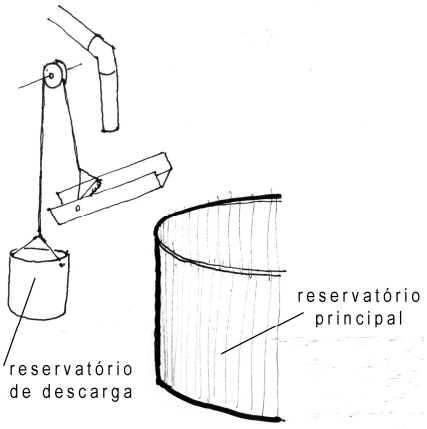


Figura 3.5.2 – Exemplo de reservatório de descarga
Fonte: Desenho do autor

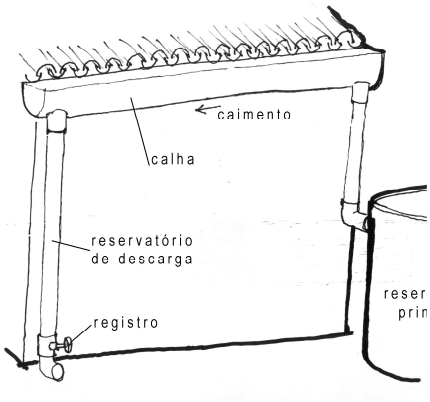


Figura 3.5.3 – Exemplo de reservatório de descarga
Fonte: Desenho do autor

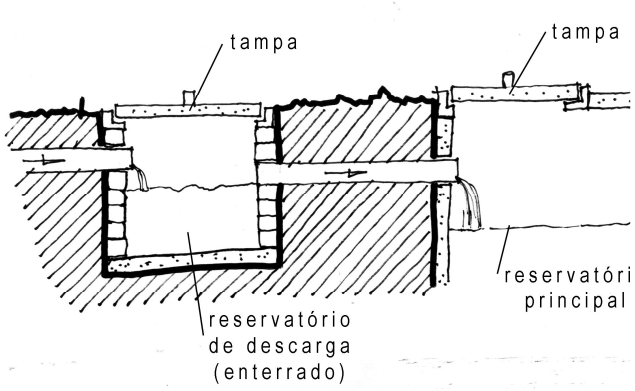


Figura 3.5.4 – Exemplo de reservatório de descarga
Fonte: Desenho do autor

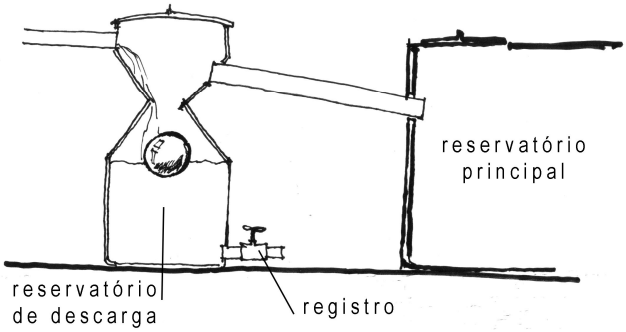


Figura 3.5.5 – Exemplo de reservatório de descarga
Fonte: Desenho do autor

superior. Na parte inferior, há um volume suficiente para abrigar as primeiras águas da chuva e uma saída, ligada à rede de água pluvial urbana e controlada por um registro, para ser esvaziada após a chuva. As primeiras chuvas, portanto, enchem a parte inferior do reservatório e a água que cai em seguida começa a passar direto em direção à saída para o reservatório final. (Fig. 3.5.4)

O outro sistema apresentado pelo professor Hespanhol é semelhante ao primeiro, mas com algumas diferenças, impedindo que a água de descarte entre em contato direto com a água mais limpa que cai depois, como acontece no primeiro sistema. Para tanto, é utilizado um reservatório de descarte cilíndrico, com a parte superior na forma de um tronco de cone e com uma esfera de plástico ou algum outro material leve dentro. Na medida em que a água de descarte entra por esse reservatório, ela faz com que essa esfera suba junto com o nível de água e no momento em que a chuva começa ganhar condições de potabilidade, obture a passagem para o reservatório de descarte, fazendo com que a água limpa vá diretamente para o reservatório final. (Fig. 3.5.5) Naturalmente esses reservatórios de descarte devem ser dimensionados, pelo engenheiro responsável pelos sistemas hidro-sanitários, de forma a permitir que a menor quantidade de água limpa se perca e nenhuma água imprópria entre no reservatório final. A água dos reservatórios de descarte pode também ser utilizada para fins não potáveis, como por exemplo, para irrigação de jardins. Essa solução é mais interessante do que simplesmente lança-la na rede de água pluvial urbana.

O dimensionamento do reservatório final é uma função básica de três fatores: a capacidade de coleta de chuva que a edificação possui, o que inclui tanto a superfície coletora, normalmente o telhado, como as calhas e dutos condutores de água pluvial; a demanda de água dessa edificação; e por último, a pluviosidade do local onde a edificação se localiza. A pluviosidade do local é uma constante, restando ao arquiteto e aos projetistas envolvidos, buscar dados confiáveis sobre as chuvas de recorrência naquela localidade. Resta então, aos responsáveis pelos projetos, buscar uma captação da água de chuva que consiga fornecer a maior quantidade possível de água, levando em conta as demais exigências do projeto com relação às soluções formais, técnicas e em relação às demandas funcionais dos usuários dessa edificação.

O consumo médio de água varia em cada país. No Brasil, a estimativa de cálculo de uma residência gira em torno de 200 litros /pessoa/dia. Na Europa, e na Austrália, que tem maior tradição de conservação de água, as estimativas ficam entre 100 e 150 litros /pessoa/dia. Já nos Estados Unidos, o lugar onde tradicionalmente tem-se um cálculo estimativo mais dilatado, usa-se normalmente valores em torno de 100 galões/pessoa/dia, o que equivale a cerca de 378 litros/pessoa/dia. Estudos científicos mostram que, no entanto, as pessoas que vivem em

edificações com sistemas de coleta de chuva e reuso de água têm, por natureza, uma maior preocupação com a conservação da água e, por isso, vivem confortavelmente com consumo entre 30 e 50galões/pessoa/dia (113,4 a 189 litros /pessoa/dia).[131] O consumo interno de água em uma residência está determinado basicamente pelo consumo na cozinha (cerca de 10%), lavanderia (cerca de 17,5%), banhos (cerca de 32,5%) e descargas dos vasos sanitários (cerca de 40%). Até algumas décadas atrás, o Brasil adotava 50 litros/pessoa/dia para dimensionar as redes de água das cidades, mas hoje esse número quadruplicou. No entanto, em virtude de contingências sócio-econômicas brasileiras de contrastes extremos, uma parte significativa da população é obrigada a se contentar com 10 litros/pessoa/dia, e outra parte gasta mais de 1200 litros/pessoa/dia, sendo que essa média continua subindo.

O tamanho do reservatório de coleta de chuva acaba tornando-se absurdo se destinado ao consumo total de água de uma residência comum. Além da questão do tamanho do reservatório, quando se pensa em todo o consumo de uma residência, é necessário ter em mente que essa água precisará se tornar potável, o que é diferente de uma água limpa. Qualquer água para ser considerada potável tem que satisfazer à legislação brasileira atualizada, a lei federal MS 1469/2000. Para isso são necessários filtros e tratamentos químicos que, às vezes, podem não se justificar do pondo de vista econômico. Ainda que a captação de chuva para o atendimento total das demandas de água seja em muitos casos, economicamente inviável, a utilização parcial dessa água para fins não-potáveis é extremamente bem vinda no quadro atual brasileiro. Isso porque a água de chuva utilizada em fins como, por exemplo, irrigação e descargas sanitárias contribui para minimizar significativamente o consumo de água tratada (quase metade do consumo residencial).

Para os reservatórios principais ou cisternas que abrigarão a água da chuva, existem várias alternativas tecnicamente válidas, embora difiram significativamente no custo: podem ser utilizados tanques prontos como tanques de madeira, metal ou fibra de vidro, ou podem ser construídos no local, especificamente para a edificação.Os tanques construídos podem ser de paredes de alvenaria, isto é, tijolos ou blocos, armados exteriormente com cinta de malha de ferro, apoiados em uma laje de concreto com dupla ferragem, para evitar trincas, e cobertos com laje pré-moldada. Podem ser feitos de concreto moldado *in loco* ou ainda de ferrocimento, com o cimento sendo aplicado sobre uma tela metálica para conferir-lhe resistência à tração. (Fig. 3.5.6)

---

[131] MACOMBER, (2001:10)



Figura 3.5.6a – Tanque de metal
Fonte: (MACOMBER, 2001)



Figura 3.5.6b – Tanque de ferro concreto
Fonte: (MACOMBER, 2001)



Figura 3.5.6c – Tanque de madeira
Fonte: (MACOMBER, 2001)



Figura 3.5.6d – Tanque de fibra de vidro
Fonte: (MACOMBER, 2001)



Figura 3.5.6e – Tanque de poliestileno
Fonte: (MACOMBER, 2001)

Cada tipo de reservatório tem suas desvantagens, em função das suas características específicas: [132]

Vasilhas plásticas, metálicas e latões de lixo – utilizar como reservatório somente se estiverem novos;

Fibra de vidro – o material é degradável e requere camada de proteção interna;

Polietileno ou polipropileno – também é degradável e requere camada de proteção interna;

Barril metálico – estão sujeitos à corrosão e ferrugem;

Tanque de aço galvanizado – sujeito a corrosão e ferrugem;

Ferrocimento – sujeito a fissuras e rachaduras;

Pedra e Blocos de concreto – difícil limpeza e manutenção;

Concreto monolítico ou moldado in loco – potencial para rachaduras;

Madeira – alto custo.

Principalmente quando o reservatório ficar acima do nível do solo, será imprescindível uma boa impermeabilização interna com produtos modernos de argamassa misturada com polímeros que conseguem uma camada elástica impermeabilizante estanque de vários milímetros de espessura. Mas o arquiteto pode perfeitamente trabalhar com o reservatório enterrado, se o seu volume aparente não interessar à solução formal do projeto. Os tanques externos têm a vantagem de eliminar o custo com escavações e contenções de terra, mas os subterrâneos têm a vantagem de manter a água em uma temperatura mais fresca, o que pode ser vantajoso em lugares muito quentes. Em ambos os casos, os reservatórios devem ser colocados o mais próximo possível da área de coleta e da área a ser abastecida para minimizar os custos com as tubulações e tentar evitar a necessidade de bombeamento, o que gera consumo de energia elétrica. Para isso, ele deve também ser posicionado o mais alto possível.

Dependendo da solução arquitetônica da cobertura da edificação, o arquiteto poderá abrigar o reservatório de descarte e o reservatório principal abaixo da cobertura, mas acima da edificação, entre elas. Essa solução faz com sejam eliminados bombas para mandar a água de volta para a cobertura para descer por prumadas específicas, depois de ter descido por gravidade até o chão. De fato é bastante inoportuno, fazer a água da chuva descer toda altura da edificação, desperdiçando sua energia potencial gravitacional para depois bombeá-la de volta, gastando energia elétrica. Nem sempre isso é possível dentro da solução arquitetônica pretendida ou

[132] De acordo com o *Texas Guide to Rainwater Harvesting*.

exigida, mas é importante que o arquiteto tenha em mente que é a solução mais lógica, principalmente em edifícios verticais.

Alguns cuidados são importantes com relação aos reservatórios principais, e precisam ser bem entendidos pelos arquitetos. Se os tanques são externos, devem ter pintura interna de cor preta para bloquear a luz que torna possível a fotossíntese e, portanto, a presença de algas que se proliferam rapidamente e criando cor esverdeada e odor forte na água. Nesse sentido, ao contrário do telhado ou das áreas de captação de chuva, os reservatórios podem se beneficiar de estarem posicionados embaixo de uma árvore, pois receberão menor incidência de luz. É essencial que os reservatórios internos ou externos possuam uma tampa ou qualquer outro tipo de proteção superior que elimine a evaporação de água e, principalmente, qualquer tipo de contaminação com larvas de insetos ou entrada de outros animais. No caso de fazendas ou áreas rurais, o reservatório deve estar a pelo menos 15 metros de estábulos, currais, chiqueiros ou outros locais onde estejam instalados animais assim como de latrinas e fossas, para evitar qualquer tipo de contaminação. Os reservatórios devem também estar posicionados em local de fácil acesso para um caminhão para abastecimento auxiliar de água ou para manutenção, limpeza e remoção de sedimentos decantados em seu fundo.

Caso esteja sendo pensado um sistema de captação de água de chuva para abastecimento de água potável, cuidados especiais terão de ser tomados e um mini-sistema de tratamento deverá ser pensado. Isso pode se justificar, apesar dos custos adicionais, em situações em que o abastecimento público inexista ou tenha pouca eficiência ou ainda em situações em que a qualidade da água seja ruim, o que ocorre, por exemplo, em lugares onde ela é muito dura*. Antes de escolher o sistema de tratamento ideal para melhorar as condições de uso da água coletada da chuva, o ideal é fazer um teste bioquímico em um laboratório confiável, com uma amostra da água coletada. A água coletada deverá primeiramente ser submetida a processos de separação de sólidos como peneiramento de folhas e outros dejetos através de telas protetoras e em seguida sedimentação das partículas sólidas no fundo do tanque. Estes processos devem ocorrer até mesmo quando a água não pretende ser potável, pois torna melhor sua aparência e, desta forma, mais aceitável seu uso. Existem vários tipos de separadores de sólidos para serem colocados antes do reservatório final, na tubulação de descida de água. Eles possuem uma tampa que pode ser aberta para remoção periódica de sujeita.

Para o apuramento químico da água, com finalidade de torná-la potável, tem-se uma série de processos de filtragem que podem ser utilizados dependendo da situação: em linha, com várias cápsulas (peneira os sedimentos); com carvão ativado (remove o cloro da água); de osmose invertida (remove contaminantes); com materiais misturados (em um tanque separado, para filtrar

substâncias específicas); com areia fina (em um tanque separado, para filtrar substâncias específicas). Deve ainda ser efetuada uma desinfecção na água para eliminar microorganismos através de algum dos seguintes processos: por fervura; através de tratamento químico com cloro e iodo; exposição à radiação ultravioleta; sistemas de ozonização. Mesmo com todos esses cuidados, testes periódicos deverão ser realizados para garantir a qualidade de pureza da água. Estes testes são feitos em equipamentos semelhantes aos utilizados para testes de piscina, contaminando a água. Por isso devem ser feitos em porções separadas da água e nunca diretamente nos tanques. De qualquer forma, o arquiteto deverá reservar um espaço para abrigar todos esses equipamentos, como uma casa de máquinas, próxima ao reservatório principal e de fácil acesso para manutenção e testes periódicos. As dimensões desse espaço irão variar em função do tipo de processo de filtragem e desinfecção utilizado.

Além da utilização da água de chuva nas edificações, é possível reutilizar parte da água já utilizada na própria edificação. A água chega tratada dos sistemas de abastecimento em condições de potabilidade. Mas apenas uma pequena parte dela é ingerida pelos habitantes, sendo que a maior quantidade é utilizada para diversos outros fins em pias, vasos, banhos, lavadoras e depois é conduzida às redes de esgoto. Os esgotos são caracterizados em duas classes: o esgoto negro (*blackwater)* é aquele que recebeu excreções humanas, materiais orgânicos como restos de comida e gordura e é proveniente dos vasos sanitários e das pias de cozinha. O esgoto cinza (*graywater*) é composto de águas utilizadas em lavagens de forma geral e é proveniente do ralo do chuveiro, do lavatório e dos demais ralos de piso. A água de esgoto que pode ser mais facilmente reciclada em edificações é aquela que provém do seu esgoto cinza. A recirculação de esgotos negros envolveria processos de separação física e química que implicam na utilização de grandes espaços e maiores custos, o que só se justifica em construções de maior porte.

Para o esgoto cinza, alguns processos simples podem fazer com que a água se torne própria para ser reutilizada na edificação em fins específicos, como será mostrado. Não serão abordadas as possibilidades de recirculação de águas provenientes do esgoto para uso agrícola e industrial, como foi dito, por fugirem às limitações impostas pela pesquisa.

Segundo Maurício Silva [133], as possibilidades de reutilização da água são as seguintes:

- Reuso indireto não planejado da água – ocorre quando a água, utilizada em alguma atividade humana, é descarregada no meio ambiente e novamente utilizada a jusante, em sua forma diluída, de maneira não intencional e não

[133] SILVA (2000:3)

controlada. Esta água esta sujeita a processos de autodepuração e diluição de esgotos.

- Reuso indireto planejado da água – ocorre quando um esgoto é tratado e lançado no corpo d'água superficial ou subterrâneo para ser utilizado a jusante.
- Reuso direto planejado da água – ocorre quando o esgoto é tratado e encaminhado de volta para a edificação para ser utilizado sem ser lançado na rede pública de esgoto ou em algum corpo d'água. A reciclagem de água é um caso particular do reuso direto planejado em que a água do esgoto e recirculada sem se misturar com as redes gerais de esgoto onde caem os esgotos negros.

A água proveniente dos esgotos cinzas que irão recircular na edificação devem antes ser submetidas a alguns processos para que possam se adequar em exigências mínimas de qualidade de água. Os limites de impurezas da água são classificados pelo CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente) para cada determinado uso que ela terá. Usos menos nobres admitem níveis maiores de impurezas. Mas, ainda sim, esta água deve se adequar a alguns parâmetros para que possa ser utilizada sem riscos. Alguns autores como Crook [134] e Valirion [135] enumeram algumas dessas características necessárias à água reciclada de esgotos cinzas:

- A água deve ter cuidados em relação à saúde da população que irá manejá-la, mesmo que indiretamente;
- A flora e fauna naturais no entorno da edificação não devem ser alteradas pela água de reuso;
- A água de reuso deve ter a mesma aparência da água potável, clara, sem cor e sem odor;
- A pressão a que estará submetida à água reutilizada deve ser inferior à das tubulações de água potável, para evitar contaminações com conexões cruzadas;
- Utilização de tubulações em cores diferentes para destacar a presença de água reciclada;
- Deve ser feito um monitoramento periódico de controle dessa água de reuso para garantir que se encontra nos níveis aceitáveis determinados pelo CONAMA.

Como foi dito, a água a ser reciclada deve ser a água utilizada na higiene pessoal, especificamente nos chuveiros e lavatórios. Seu uso imediato se dá nas descargas de vasos

---

[134] CROOK, J. **Revista DAE.** Critérios de qualidade de água de reuso. São Paulo: CETESB, Nº. 174, p10-18, 1993, APUD: SILVA, (2000:5)

[135] VALIRON et al. **La Reutilization des Eaux Useés.** Paris: Lavoisier TEC & DOC, 1983, APUD: SILVA, (2000:5)

sanitários, da irrigação de jardins e gramados e para lavagem de pisos e áreas externas. Para isso, o sistema de esgoto deve contar com tubulações específicas que levem a água proveniente dos chuveiros e lavatórios para um reservatório dos esgotos cinzas da edificação. Após passarem por alguns tipos de tratamento, deverão ser bombeadas para um reservatório superior específico para reuso, de onde a água é encaminhada por gravidade para as prumadas que abastecem os vasos sanitários e torneiras de irrigação e lavagem.

Os equipamentos para tratamento do esgoto cinza devem ser alocados ao lado do reservatório inferior de forma a melhorar a qualidade dessa água antes que ela seja bombeada para o reservatório superior. Os equipamentos para tratamento do esgoto são principalmente os seguintes: um decantador para sedimentar as partículas sólidas carreadas principalmente pela água de banho e diminuir a turbidez da água; um raspador mecânico (Skinner) para retirada de espumas que ficam suspensas na água oriundas do banho e do lavatório; filtros para limpar partículas que podem vir junto com a água como fios de cabelo e flocos. O sistema pode ter um pré-filtro e um filtro rápido de areia, o mesmo equipamento utilizado como filtro de piscinas. É importante que esses procedimentos sejam efetuados para melhorar a qualidade dessa água, uma vez que até mesmo a OMS (Organização Mundial de Saúde) atesta o reuso de águas provenientes de esgotos cinzas, desde que essa água tenha a mesma aparência de água potável e não tenha nenhum odor indesejável.

A utilização desses equipamentos não é complicada e tampouco dispendiosa financeiramente, em especial quando se trata de edificações de maior porte. Segundo estudo realizado por Maurício Silva [136], para edificações com grande número de usuários, esses sistemas se mostram especialmente vantajosos, sendo que em condomínios residenciais seu custo total de implantação representa cerca de US$ 20,00 por habitante. Ainda segundo este estudo, pelos padrões de SP (SABESP) e de acordo com os preços do ano de 2000, a implantação deste sistema se paga em cinco meses. O arquiteto deve sempre procurar se informar com o engenheiro responsável pelo projeto hidro-sanitário a respeito dos equipamentos que serão utilizados no tratamento do esgoto cinza, a fim de dimensionar e posicionar corretamente os espaços que os abrigarão.

Além da opção pelo uso da água de chuva ou da recirculação de esgotos cinzas, o arquiteto deve procurar manter-se atualizado quanto aos equipamentos hidráulicos que proporcionam uso racional da água. Existe hoje uma série de equipamentos que podem ser utilizados nesse sentido como, por exemplo, vasos sanitários menores, com 6 litros em lugar dos

---

[136] SILVA, (2000:12)

vasos mais antigos que tinham até 15 litros; caixas acopladas de descarga em lugar das válvulas de descarga que consomem quantidades enormes de água; torneiras para pias e lavatórios com arejador, que introduzem ar no jato d'água, reduzindo seu consumo; máquinas de lavar com reutilização de água em alguns dos seus processos, etc. É importante que o arquiteto conheça esses equipamentos para alertar seus clientes sobre sua existência e proporcionar juntamente com os engenheiros e técnicos envolvidos no processo, um esforço coletivo para redução do consumo da água na edificação.

4 . Fundamentos e estratégias para a elaboração do projeto arquitetônico a partir do uso racional de energia elétrica e água

O que se buscará neste capítulo constitui o cerne da pesquisa: a tentativa de se estabelecer uma metodologia para concepção projetual de arquitetura que considere a eficiência na utilização de água e energia elétrica na edificação, desde o início do seu processo de elaboração. As razões pelas quais essas considerações são trazidas para a elaboração arquitetônica já foram discutidas.[137] Cabe, no entanto, esclarecer a forma pela qual essas premissas ambientais serão consideradas no processo.

Elas não serão tratadas como dados que devam ser tomados como prioritários no processo de projeto de arquitetura em relação aos demais fatores que normalmente norteiam a concepção arquitetônica. Isto implicaria em conceber edificações nas quais algumas das características básicas da arquitetura são colocadas de lado para que considerações ambientais tornem-se o principal gerador da concepção arquitetural. Tal abordagem mostra-se limitada ao não conseguir dar respostas com igual valor em todas as dimensões que são inerentes à arquitetura.[138]

O que se pretende é discutir um processo capaz de criar edificações que a um só tempo cumpram essa nova tarefa que lhes é colocada, a eficiência ambiental, sem prescindir de todas as demais virtudes que podem torná-la uma boa obra de arquitetura. Tais virtudes residem em aspectos que compõe a edificação em sua essência e que normalmente são considerados desde a sua elaboração, como balizadores do processo de criação do arquiteto. Discutidos há milhares de anos, desde a famosa tríade de Vitrúvio [139], esses aspectos se relacionam às questões técnicas e construtivas, às questões relativas ao lugar, às questões relativas ao usuário e à utilização do espaço, e às questões formais e estéticas da edificação. Alguns autores que tratam da questão da eficiência energética na arquitetura acreditam que tais preocupações deveriam ser tratadas como mais um ponto de sustentação da arquitetura ao lado dos demais aspectos, de forma a fazer dela um quarto aspecto a ser acrescentado à tríade vitruviana.

Esta proposta se baseia em uma abordagem diferente. Isto porque criar um quarto grupo de parâmetros projetuais, no caso, fatores ligados à eficiência ambiental, não contribui para que estes conceitos se misturem de forma natural ao processo de projeto. Ao contrário, cria uma fonte potencial de conflitos na elaboração arquitetônica, principalmente nos primeiros projetos elaborados ainda nas escolas de arquitetura, quando os parâmetros de projeto muitas vezes são tratados de forma isolada e ainda não estão muito bem consolidados para os

---

[137] Ver capítulo 1.
[138] Conforme foi discutido no capítulo 2.2.
[139] *Firmitas, Utilitas* e *Venustas*. Cf. POLIÃO, (1999)

estudantes. No caso do exercício profissional, tal abordagem metodológica também cria alguns riscos, pois torna mais difícil a inserção destes novos valores em situações da prática cotidiana de projeto. Nestas situações de projeto, comparecem outros grupos de variáveis, como restrições financeiras ou ainda restrições impostas por regulamentações, leis, normas, etc. Dentro dessa realidade, a introdução de um novo grupo de premissas de projeto corre o sério risco de ficar em um segundo plano, atrás de todas outras que foram citadas, e, por isso, continuar não sendo levado em conta no processo de projeto. De qualquer forma, em ambos os casos, no ensino de projeto e na vida prática do arquiteto, a consideração das questões ligadas à eficiência ambiental de uma edificação de forma isolada não contribui para integrá-las ao processo de projeto.

O que se pretende, nessa introdução, é discutir a possibilidade de tornar os parâmetros de projeto, que normalmente já são trabalhados nas escolas de arquitetura e na vida prática do arquiteto, permeáveis às considerações ambientais. Desta forma, elimina-se a pretensão de criar um novo operador através do qual será concebida uma arquitetura ambientalmente correta. O procedimento se dará com o objetivo de tornar ambientalmente corretos os operadores arquitetônicos tradicionais. Esta diferença, apesar de parecer simples a primeira vista, traz uma possibilidade muito maior de aplicação prática imediata na medida em que insere valores ambientais na raiz da elaboração projetual, fundindo-os aos valores normalmente operados. Para que esse processo seja levado a cabo, esta pesquisa se baseará em um levantamento amplo de informações e conceitos ligados à racionalização de energia elétrica e água. Será então analisado como podem ser inseridos dentro das considerações que normalmente são relevadas no processo de elaboração do projeto arquitetônico.

O foco do problema é a redução do consumo de energia elétrica e água nas edificações através do projeto de arquitetura. Ou como o projeto arquitetônico pode contribuir para uma utilização racional desses recursos. A relação entre essa necessidade ambiental e o projeto de arquitetura decorre do fato de que grande parte do consumo de energia e água se dá em edificações e, muitas vezes, o consumo excessivo, acontece por culpa direta dos projetos arquitetônicos que as criaram. Um projeto concebido sem levar em conta questões como as que estão sendo discutidas aqui pode gerar uma edificação que estimule um gasto maior de energia e água. De toda a energia elétrica consumida no Brasil, quase metade é consumida em edificações residenciais, públicas e comerciais. (Fig. 4.0.1) Nas edificações industriais os equipamentos que cumprem a função primordial dentro da fábrica são os grandes consumidores de energia, o que permite concluir que o consumo de energia nessas edificações tem pouca relação com o prédio em si e muito mais com a natureza do processo industrial. Mas, nos

demais tipos de edificação, a arquitetura tem grande responsabilidade no consumo energético, principalmente quando se leva em conta que grande parte do consumo de energia do país hoje está ligada à climatização e iluminação artificial. É claro que, nas edificações residenciais, há elementos que respondem por parcelas significativas do consumo de energia e cujo consumo independe da arquitetura, como por exemplo, os chuveiros. Mas, mesmo nesses casos em que a solução pode não estar na arquitetura em si, mas na adoção de um equipamento – um sistema de aquecedores solares de água, por exemplo – é necessário que seus princípios básicos de funcionamento também sejam discutidos para que possam se incorporar ao projeto arquitetônico desde seu início.

A metodologia de projeto proposta se apresenta da seguinte maneira: primeiramente foram levantadas as considerações que normalmente são levadas em conta no processo do projeto arquitetônico. Estas considerações foram em seguida divididas em quatro módulos: as considerações ligadas ao lugar, ao uso, aos aspectos construtivos e à formalização da arquitetura. Alguns dos aspectos que normalmente já são utilizados no processo de projeto, e que fazem parte de um desses quatro grupos de operadores, foram selecionados pela sua relação direta com a eficiência ambiental na edificação. Graças à experiência obtida na disciplina optativa que fez parte da pesquisa, foi possível identificar quais os pontos considerados na elaboração projeto e que influenciam diretamente o consumo de energia elétrica e água de um edifício.

A seguir, dentre todos os aspectos da elaboração arquitetônica que haviam sido selecionados, apontados não só pela disciplina optativa, mas também pela pesquisa posterior a ela, foram separados aqueles relacionados ao lugar, ao uso e à construção. Nesse último módulo, foram colocados tanto os aspectos relacionados aos materiais de construção como aqueles ligados aos processos construtivos. Todos eles, apresentados respectivamente nos capítulos 3.1, 3.2 e 3.3, são abordados de maneira a deixar clara sua relação com a eficiência ambiental do edifício, através de fundamentos teóricos, de princípios científicos. Por isso mesmo, são tratados como grupos de "considerações" para o projeto de arquitetura. As considerações do lugar, do uso e das técnicas e materiais de construção constituem, portanto, três módulos de aconselhamentos para a obtenção da eficiência ambiental e não modelos ou receitas de projeto.

Os aspectos relacionados à forma compõem o quarto módulo (capitulo 3.4), mas não são apresentados como os demais. Esses aspectos, pelo fato de abrangerem possibilidades de soluções arquitetônicas de fato, são abordados como estratégias de projeto. Mas ainda sim, não são apresentadas através de exemplos e aplicações diretas, mas também como conceitos de

projeto, como um grupo de considerações. Dessa forma, constituída de um conjunto de considerações e estratégias, que podem ser formalizadas de diferentes maneiras, a metodologia proposta tenta evitar o estabelecimento de caminhos pré-definidos como acontece nas abordagem que evidenciam mais a maneira como uma determinada consideração foi materializada do que o fundamento científico que a constituiu. Nessas propostas, cria-se a impressão, principalmente em um estudante de arquitetura, de que a solução arquitetônica apresentada é a forma através da qual o fundamento científico se materializa, limitando suas possibilidades de materialização àquele exemplo específico. A opção por esse caminho didático diminui a aplicabilidade de conceitos básicos em situações de grande especificidade como a elaboração de um projeto de arquitetura. Como a metodologia que se pretende construir está alicerçada na necessidade de trazer alguns fundamentos externos para o projeto de arquitetura aumentando sua capacidade de aplicação prática, optou-se pela demonstração desses fundamentos sem a exemplificação através de soluções já formalizadas.

Em cada um dos aspectos listados, distribuídos nos quatro módulos, a abordagem se dá através de três momentos:

01 – Uma introdução, onde será apontada qual a influência que o aspecto em questão tem sobre a eficiência ambiental da edificação;

02 – Em seguida, no desenvolvimento, será feita uma breve discussão sobre o aspecto levantado, de forma a prover um embasamento teórico e cientifico mínimo sobre o assunto. Esta discussão terá o foco na eficiência ambiental, e será feita através de conhecimentos de outras disciplinas como física, biologia, geografia, geometria, e que, em grande parte, são trabalhados em obras ligadas ao conforto ambiental.[140]

03 - Por fim, como um fechamento da análise sobre o aspecto em questão, serão listados quais os pontos mais importantes que o arquiteto deve ter em mente no processo de projeto, para que possa criar uma edificação que consuma menos energia elétrica e água.

Com relação principalmente ao segundo item, que tentará formar de maneira sucinta uma base científica essencial sobre cada assunto, vários termos utilizados foram agrupados em um glossário no final da pesquisa por não serem próprios do vocabulário cotidiano do arquiteto. É importante ressaltar também que as considerações são feitas focalizando as necessidades de um projeto arquitetônico e não de um projeto urbanístico, mas ainda sim, a maioria delas é perfeitamente cambiável para esse propósito.

---

[140] Como a ênfase do trabalho está na economia de energia e água, interessar-nos-ão mais de perto alguns conceitos discutidos no conforto térmico e no conforto lumínico.

Como foi dito, os conceitos abordados não serão apresentados através de modelos, mas sim como conceitos científicos universais para que sua aplicação seja absolutamente livre. O entendimento de conceitos é mais importante do que a disseminação de modelos prontos, permitindo um constante avanço do conhecimento arquitetônico. Isso pode ser comprovado, na medida em que conceitos podem estar continuamente interagindo com novas abordagens formais, novas tecnologias construtivas e novos usos que terão lugar nas edificações, sem que se percam ou tenham que ser reavaliados, o que provavelmente aconteceria com soluções prontas. É necessário, no entanto que estes conceitos se fechem como um grupo de estratégias de projeto que não seja, nem sintético demais a ponto de deixar de fora alguma consideração importante, e nem seja amplo demais de forma a sobrecarregar o arquiteto com um número muito grande de informações técnicas nas fases iniciais do projeto. Nesse sentido, as considerações escolhidas para formar esse roteiro têm em comum a relação direta com o consumo de energia e água nas edificações, influenciando ambos diretamente. Outras considerações iniciais de projeto que não traziam uma relação tão próxima com estes objetivos foram preteridas.

A escolha de se trabalhar com fundamentos foi apontada inicialmente pela experiência na disciplina optativa. Ela se confirmou ao longo do desenvolvimento da pesquisa, como uma opção de se criar uma metodologia voltada para o projeto arquitetônico e não uma nova metodologia de ensino de conforto ambiental. Um grande número de obras que aborda o tema da relação entre arquitetura e meio ambiente, principalmente com o enfoque do conforto ambiental, foi publicado nos últimos anos. A grande maioria dessas obras, em virtude dessa abordagem, limita-se a reeditar gráficos numéricos, tabelas e croquis esquemáticos já amplamente discutidos e disseminados desde a publicação, ainda na década de sessenta, de algumas obras clássicas do gênero.[141] De maneira geral, as obras publicadas nesse campo nos últimos vinte e cinco anos contribuíram para a divulgação cada vez maior das preocupações ambientais na elaboração de arquitetura. No entanto, várias delas apresentam limitações práticas na aplicação direta dos conceitos discutidos na elaboração dos projetos arquitetônicos. Poucas são, até hoje, as obras que tentam tratar dos conceitos do conforto ambiental de forma aplicada ao projeto, tentando avançar o conhecimento arquitetônico em relação ao que já foi abordado antes exaustivamente.[142]

---

[141] Principalmente as obras *Design with Climate*, de Victor Olgyay (1962), *Man, Climate and Architecture*, de B. Givoni (1968) e *Design with Nature*, de Ian McHarg (1969).

[142] Entre essas exceções, algumas obras mais recentes são dignas de nota como BROWN; DeKAY (2004) e no Brasil, LAMBERTS Et Al (2004).

Vários dos manuais de conforto ambiental que já foram publicados até hoje trabalham com uma abordagem que demonstra os fatores que influenciam o comportamento bioclimático da edificação e depois apresentam soluções construtivas para se conseguir alterar estes fatores impostos pela natureza. Dessa forma, o estudante de arquitetura ou mesmo o arquiteto que se depara com um manual desses, passa a ter em mãos um arsenal de modelos e soluções para poder combinar no seu projeto. No entanto, a elaboração arquitetônica não pode se limitar a aplicar e combinar soluções prontas para cada elemento da edificação, principalmente em seus momentos iniciais. Essa visão dominou grande parte das obras de conforto ambiental no Brasil e no mundo, como atesta Mascaró, na introdução de uma das obras pioneiras do gênero no país:

> Sendo assim, o trabalho a ser realizado consistirá na elaboração de novos modelos (ou reelaborar os melhores modelos vigentes) para compor soluções arquitetônicas a partir das técnicas e dos materiais disponíveis, visando obter o resultado energético desejado, (...). [143]

Outro aspecto que às vezes limita a aplicabilidade dessas obras no ensino de projeto e mesmo na vida prática do arquiteto é o fato de que várias delas se baseiam na análise ambiental de obras construídas. Mesmo que a analise da eficiência energética de uma obra construída possa indicar possíveis caminhos para a elaboração de projetos futuros, a ênfase é dada ao objeto arquitetônico já construído e nas formas de melhorar sua condição ambiental. Ao se estudar a aplicação prática de conceitos de conforto em edificações prontas, o objetivo conceitual sempre é mais corretivo do que preventivo. É o que ocorre, em alguns casos, nas disciplinas ligadas ao conforto ambiental nas escolas de arquitetura. Os conceitos ensinados são aplicados como medidas corretivas de edificações já projetadas, construídas e utilizadas. Essa visão tem mudado nos últimos anos dentro das disciplinas de conforto, no sentido de abordar os conceitos de maneira mais operativa, como mostra o manual de conforto ambiental da FAU-UFRJ:

> Especificamente a pesquisa em conforto ambiental nas edificações tem procurado tomar uma nova atitude frente a arquitetura. Ela procura definir uma abordagem do projeto da construção desde seu início em ligação "íntima" com o lugar, seu entorno, o clima e os hábitos construtivos locais. Ela procura preservar a liberdade de escolha, mas associando-a à sua responsabilidade ambiental. Viemos nos dar conta que fomos um pouco longe demais, ao ter confiança cega no uso de equipamentos para resolver a posteriori aspectos do conforto ambiental no interior das edificações.[144]

---

[143] MASCARÓ (1985:15)
[144] BARROSO-KRAUSE, Et. Al (2002:02)

De fato, os conceitos que são trabalhados nas disciplinas de conforto podem passar a ser ferramentas de grande utilidade para a elaboração do projeto em lugar de instrumentos de correção de edificações já prontas ou previamente concebidas. O que se pretende através dessa proposta é exatamente isso: fazer uso de fundamentos, dentre os quais vários deles são abordados nos manuais de conforto ambiental, para constituir um manual de projeto. Assim, o conforto ambiental estará sendo tomado como um meio através do qual se pretende projetar edificações mais eficientes do ponto de vista ambiental.

Há outras limitações da aplicação prática das metodologias de conforto ambiental na elaboração de projeto arquitetônico, criada pela distância que guardam entre os modelos sobre os quais se estuda e as situações reais. Nesses estudos, os diversos condicionantes do conforto são isolados e analisados separadamente, em situações irreais onde todos os fatores contextuais que poderiam afetar os resultados da análise são colocados de lado. Esta metodologia permite averiguar a validade de hipóteses teóricas e fórmulas numéricas, prestando-se a um estudo científico que trata de cada fator separadamente, como normalmente acontece na física e nas ciências empíricas. Mesmo os cálculos feitos para se avaliar fatores isolados que determinam o comportamento térmico de um edifício, muitas vezes utilizam dados arbitrados ou baseados em tabelas com significativa margem de variação, o que os torna imprecisos mesmo que desconsiderando todo os outros fatores que também têm influência neste comportamento. Em alguns estudos clássicos do conforto ambiental são feitos testes de laboratório que buscam analisar cientificamente determinados fatores como, por exemplo, os efeitos de vento nas edificações.[145] Há um grave problema no fato de que, em várias obras posteriores de conforto ambiental, são criados esquemas gráficos baseados em simulações de laboratório que criam a impressão de que na vida real os diversos fatores determinantes do conforto agem isoladamente sobre as edificações exatamente daquela forma. Essas considerações mostram a impertinência de alguns procedimentos muito comuns na área do conforto ambiental para o processo de projeto arquitetônico, principalmente nas etapas iniciais, como por exemplo, a avaliação com cálculos numéricos e aplicação direta de esquemas gráficos. Nas situações práticas de projeto, em que os fatores que condicionam o conforto não podem ser isolados e tratados separadamente – pelo contrário, se afetam continuamente – fica mais clara a necessidade de utilizar esses conhecimentos científicos como princípios e não como instrumentos de verificação numérica.

---

[145] No livro *Design with climate*, Olgyay utiliza testes em um túnel de vento em uma câmara hermeticamente selada, onde verifica algumas hipóteses sobre o comportamento das correntes de ar sobre as edificações e como estas atuam sobre aquelas. Esses testes foram fotografados e as fotos aparecem no livro.

Para o estabelecimento do roteiro metodológico que se propõe, há também que se inverter a ordem de prioridades na relação entre conforto e economia de energia normalmente abordada nos livros que tratam desse assunto. As primeiras obras que trataram sistematicamente do conforto ambiental são anteriores à crise de energia e pretendiam a retomada de considerações bioclimáticas na arquitetura para através dela retomar a relação da arquitetura com o lugar, como pode ser observado na arquitetura vernacular e que boa parte da arquitetura produzida em meados do século XX cuidou de romper.[146] Nessas obras e, mesmo em outras escritas posteriormente, a economia de energia é tratada como um ganho a mais que pode ser alcançado através dessa abordagem bioclimática na arquitetura. Nelas, a justificativa para se levar em conta o clima do lugar era de que "um edifício projetado para o clima no qual está inserido torna-se confortável, além de poupar energia".[147] Hoje, e principalmente nesse estudo, a economia de energia, outrora um bônus, torna-se o objetivo principal e, a interação como o clima do lugar e a noção de conforto, que eram os objetivos principais nesses primeiros estudos, tornam-se meios para se alcançar uma maior eficiência energética e ambiental das edificações.

Nos quatro módulos que compõe as considerações e estratégias da metodologia, os aspectos estão sempre ligados diretamente à concepção arquitetônica. Contudo, os conceitos serão integrados às considerações de projeto sem que sejam necessários cálculos numéricos, sempre apresentados somente como fundamentos. Esse é o mesmo procedimento utilizado, por exemplo, com relação às noções básicas de comportamento e dimensionamento de estruturas que precisa ter um arquiteto ao iniciar o projeto. No caso, esse conhecimento comparece no momento inicial da elaboração arquitetônica através de princípios, conceitos básicos, e ajuda nas escolhas que vão sendo feitas no processo, tanto no que diz respeito à forma, como ao uso e à técnica. Graças a esse conhecimento, guardado na forma de princípios elementares, o arquiteto pode definir, por exemplo, as dimensões aproximadas e a forma dos pilares e das vigas ou ainda a distâncias entre eles, a modulação do sistema estrutural. Numa fase posterior, mais adiante, esses dados serão submetidos a um especialista na área de cálculo estrutural que irá então desenvolver com maior precisão o dimensionamento dos componentes estruturais e seu detalhamento construtivo. Da mesma forma, pretende-se trabalhar com o roteiro metodológico de eficiência ambiental nas edificações: criando conceitos que possam ser utilizados como ferramentas utilizáveis nas fases iniciais do projeto. Verificações mais confiáveis, com cálculos numéricos precisos podem ser feitos em etapas mais avançadas. O

[146] Assuntos discutidos nos capítulos 2.1 e 2.2.
[147] MASCARÓ (1985:45)

mais importante é que o arquiteto conheça estes princípios e os considere desde as fases iniciais do projeto, uma vez que é sempre mais fácil proceder qualquer tipo de modificação ou adaptação no projeto em seu início.

Nos dias de hoje, com o avanço constante das tecnologias computacionais na arquitetura, cada vez torna-se mais despropositada a confecção manual de verificações numéricas como, por exemplo, do comportamento térmico de uma determinada parede. Existem, já há algum tempo, vários programas de computador que realizam com incrível rapidez e precisão inúmeras simulações complexas relacionadas às questões de conforto ambiental e comportamento térmico das edificações. [148] Retomando a analogia com o conhecimento básico sobre estruturas, se nem mesmo os engenheiros estruturais, especialistas no assunto, trabalham hoje fazendo cálculos manualmente, utilizando tabelas, gráficos e ábacos, não seriam os arquitetos que deveriam fazê-lo. O arquiteto concebe o estudo inicial dentro de noções básicas de pré-dimensionamento e comportamento das estruturas, e durante o processo de amadurecimento do projeto, a estrutura proposta será verificada pelos especialistas, com auxílio da computação. A mesma coisa deveria ocorrer com o conhecimento sobre conforto ambiental necessário ao arquiteto na elaboração inicial do projeto. O que os arquitetos precisam, em ambos os casos, é de um conhecimento preliminar básico, estruturado em fundamentos, que os permita conceber durante os estudos iniciais, uma proposta arquitetônica dentro de limites práticos que não podem ser negligenciados para o desenvolvimento posterior do projeto e sua construção. Alguns autores, como Brown, corroboram este ponto de vista:

> Inicialmente, o projetista trabalha de forma sintética, agregando idéias, não trabalhando de forma analítica. Portanto, a análise de informações e problemas deve ser apresentada de modo a ser uma geradora da forma arquitetônica e a auxiliar o projetista na compreensão de como as formas geradas a partir de preocupações energéticas adequam-se a outras questões arquitetônicas. Em um projeto preliminar as coisas se processam muito rapidamente, envolvendo experiências com muitas idéias e combinações de idéias. As considerações são amplas e conceituais, e não detalhadas e minuciosas. Deste modo, as informações devem ser acessíveis e de uso imediato.[149]

A noção básica de conhecimentos aplicados ao projeto, mesmo que a primeira vista alheios à arquitetura, sempre deu a alguns arquitetos mais atentos, uma capacidade muito maior de operar os parâmetros realmente arquitetônicos. Se pensarmos que esse início de século será marcado por uma mudança de paradigmas de desenvolvimento humano, baseado num uso mais racional de recursos naturais, o conhecimento sobre os conceitos que serão discutidos a

---

[148] Para maiores detalhes sobre os programas de computador utilizados no conforto ambiental, ver: CORBELLA; YANNAS (2003: 273).

[149] BROWN; DeKAY (2004:22).

seguir poderá ser de suma importância na elaboração de edificações nos próximos anos. Utilizando mais uma vez a analogia com os sistemas estruturais, pode-se pensar que o conhecimento da eficiência ambiental na arquitetura nos próximos anos talvez venha a ser tão importante quanto foi o conhecimento sobre os princípios da utilização do concreto armado para os arquitetos do início do século passado. E sabe-se hoje que, nesse caso, aqueles que cuidaram de entender o que representava esse novo paradigma em termos técnicos e científicos, puderam operá-lo de forma mais consistente e inventiva.

4.1 . Considerações do lugar

Estes [edifícios privados] estarão, pois, corretamente dispostos se, antes de mais nada, for observado para que direções estarão voltados ou em quais climas do mundo serão construídos. Com efeito, de uma forma no Egito, de outra na Hispânia, não da mesma no Ponto, diferentemente em Roma, e assim para as demais particularidades de terras e regiões, é necessário que se construam diferentes gêneros de edificações, porque numa região a terra é envolvida de perto pela trajetória do sol, noutra afasta-se consideravelmente dela, e em outra ainda é moderadamente temperada. Portanto, como a disposição da abóbada celeste com relação à superfície da terra segundo a inclinação do círculo zodiacal dotou-a naturalmente de características díspares de acordo com o curso do sol, conviria, do mesmo modo, que a disposição dos edifícios devesse ser orientada segundo as particularidades das regiões e a variedade de aspectos do firmamento.

(Marco Vitrúvio Polião)

A consideração dos fatores próprios do lugar na elaboração de um projeto arquitetônico não é nem um pouco nova. De fato, até mesmo Vitrúvio já escreveu sobre essas considerações na construção de uma edificação. O que se pretende aqui é verificar como essas considerações podem afetar a eficiência ambiental da edificação. Será analisado nesse primeiro módulo, o conjunto fundamentos iniciais de projeto ligadas às características próprias do sítio onde será erigida a edificação e, ao mesmo tempo, ligadas à sua eficiência ambiental. Serão discutidas as questões sobre o clima, a topografia, e o contexto natural de forma geral. Serão também discutidas questões ligadas ao contexto urbano.

A consideração do clima por parte de quem elabora a construção pode ser percebido desde as primeiras edificações construídas pelo homem, [150] o que não elimina a necessidade de voltar a esse tema para a obtenção da pretendida eficiência ambiental. Em primeiro lugar, é necessário, para o estabelecimento da metodologia proposta, levantar vários conceitos que deveriam ser levados em conta no processo de projeto e reavaliá-los sob o prisma da eficiência ambiental. A seguir são analisados, do ponto de vista da eficiência ambiental, vários aspectos que normalmente fazem parte das considerações relativas ao lugar feitas pelo arquiteto na elaboração do projeto.

[150] Ver capítulo 2.1.

4.1.1 . Clima

01 – Influência na eficiência ambiental

A relação entre a edificação e o clima influencia o consumo de energia principalmente com equipamentos que modificam o clima em seu interior, chamados de aparelhos de climatização artificial. Estes equipamentos são grandes consumidores de energia, tanto os aparelhos para aquecimento como aqueles para resfriamento. O conhecimento do clima local é fundamental para um projeto que tente minimizar o uso destes equipamentos.

02 – Embasamento

Considerando-se o tempo como a variação diária das condições atmosféricas, pode-se definir o clima como a condição média do tempo em uma determinada região, baseado em medições de normalmente trinta anos.

Alguns autores criam uma divisão no entendimento do clima com relação a três níveis de escala distintos: numa escala mais geral que engloba várias regiões, tem-se o macroclima; numa região específica, como, por exemplo, um vale, tem-se um mesoclima; e por último, numa escala mais específica, nas proximidades da edificação, tem-se o microclima, sendo que este pode ser modificado pelo arquiteto através do seu projeto. Na escala dos macroclimas, costuma-se adotar classificações como clima tropical úmido, clima tropical de altitude, etc. Essas classificações, utilizadas para fins didáticos e de simplificação do tema, baseiam-se em características mais notáveis do clima de uma macro-região o que não significa que duas regiões tropicais úmidas em dois lugares distintos do planeta tenham exatamente as mesmas condições climáticas. Vários autores questionam a validade dessas classificações e muitas vezes divergem quanto à nomenclatura do tipo climático de uma determinada região.

Os estudos climáticos se baseiam em valores médios de temperatura e de umidade. O tempo pode variar muito de um dia para o outro – e mesmo num mesmo dia – e é por isso que normalmente são adotados dados climáticos de valores médios tomados ao longo de um ano, o que é chamado de Ano Climático de Referência.

Sobre a composição do clima, existe uma tendência em dividi-los conforme seu grau e a forma de influência. Romero [151] adota uma classificação mais clara e abrangente, criando três grupos distintos: Os fatores climáticos globais, que têm influência sobre os macroclimas (radiação solar, latitude, altitude, ventos e massas de água e terra); os fatores climáticos locais,

[151] Cf. ROMERO (2000:20)

que têm influência nos mesoclimas e microclimas (topografia, vegetação, superfície do solo); e, por último, os elementos climáticos, fatores que compõe o clima (temperatura, umidade do ar, precipitações e movimentos do ar).

03 – Pontos a serem considerados no projeto

O conhecimento sobre o clima de um lugar significa conhecimento sobre os fatores que influenciam o clima e sobre os elementos que compõe o clima. Para conhecer os fatores que influenciam o clima, ele terá que conhecer o lugar, considerando a topografia, a vegetação, a presença de massas de água, etc. Para conhecer os elementos do clima, o arquiteto deve buscar conhecer as condições climáticas do lugar através dos dados disponíveis nos institutos meteorológicos, cujo acesso foi bastante facilitado com o advento da internet. Os dados mais importantes a serem considerados são os valores e época de ocorrência de temperaturas máximas e mínimas, do índice de pluviosidade máximo e mínimo, amplitudes térmicas diárias e anuais, umidade relativa e absoluta ao longo do ano. Caso a obtenção destes dados não seja possível, informações valiosas podem ser obtidas através de conversas com pessoas do local a respeito de situações climáticas extremas. Apesar de não terem a confiabilidade científica dos dados oficiais, essas informações podem fornecer algumas referências importantes para o projeto arquitetônico.

É importante ter em mente que o clima é um conjunto de fatores que agem simultaneamente e que, portanto não devem nunca ser considerados no projeto isoladamente. Além disso, é mais prudente e mais profícuo, procurar pelos dados climáticos do lugar específico em que se projeta (mesoclima e microclima), do que utilizar como base para o projeto dados que se referem à macro regiões e às vezes estados inteiros (macroclima).

Existe, já há algum tempo, uma metodologia de classificação de zonas climáticas que pode auxiliar o arquiteto a compreender como deve agir em cada local para minimizar os rigores climáticos através da edificação e, dessa forma, minimizar o custo energético. Trata-se da utilização das cartas bioclimáticas. Os primeiros estudos nesse sentido foram apresentados por Olgyay que, de maneira pioneira em 1962, chamou a atenção para a possibilidade de uma abordagem científica na obtenção de dados climáticos para o projeto arquitetônico[152]. O diagrama de Olgyay foi revisto em 1969 por Givoni, que corrigiu algumas de suas limitações. Em um trabalho mais recente, publicado em 1992, Givoni apresenta uma carta bioclimática "adequada para países em desenvolvimento, na qual os limites máximos de conforto da sua

[152] OLGYAY (2002).

carta anterior foram expandidos".[153] Esta carta bioclimática apresenta os dados de uma localidade relativos a medições ao longo do ano de temperatura de bulbo seco*, temperatura de bulbo úmido*, umidade relativa* e umidade específica*. Os valores desses quatro dados geram um ponto no gráfico que representa as condições de cada hora ao longo do ano. O gráfico é dividido em regiões que representam o que pode ser feito para corrigir o clima através da arquitetura naquela situação. (Fig. 4.1.1) Com este gráfico em mãos, representando o comportamento anual de uma cidade, o arquiteto tem condições de avaliar quais as épocas críticas, e o que pode ser feito para minimizar os efeitos do clima. Lamberts apresenta uma série de cartas bioclimáticas que apresentam as condições de quase todas as capitais brasileiras, fornecendo um valioso instrumento na leitura do clima de cada uma dessas cidades.[154] (Fig. 4.1.2)

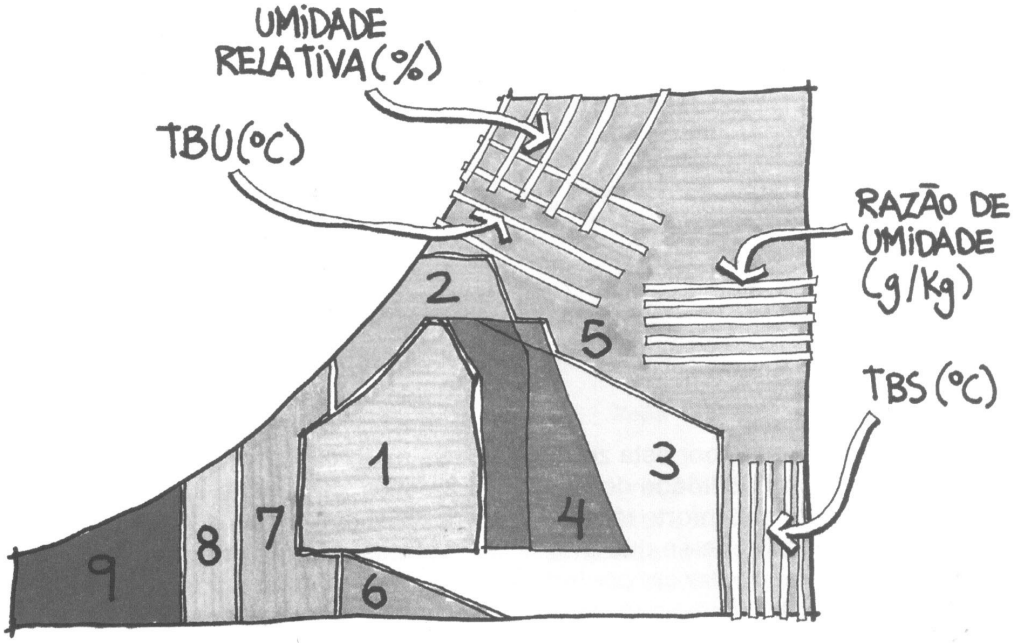


Figura 4.1.1 – Carta Bioclimática para o Brasil. Os números correspondem às regiões da carta onde cada determinada estratégia de projeto deve ser adotada: 1-zona de conforto; 2 Ventilação natural; 3 Resfriamento evaporativo; 4 Massa térmica para resfriamento; 5 Resfriamento artificial; 6 umidificação; 7 Massa térmica para aquecimento; 8 Aquecimento solar passivo; 9 Aquecimento artificial. Fonte: (LAMBERTS et al., 2004)

[153] LAMBERTS, et al (2004)

[154] Para maiores informações sobre as cartas bioclimáticas para as cidades brasileiras, ver LAMBERTS, Et Al, (2004: 104 – 148).

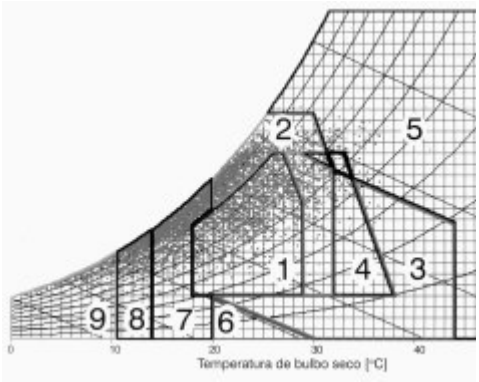


Figura 4.1.2a – Carta Bioclimática de Porto Alegre
Fonte: (LAMBERTS et al., 2004)

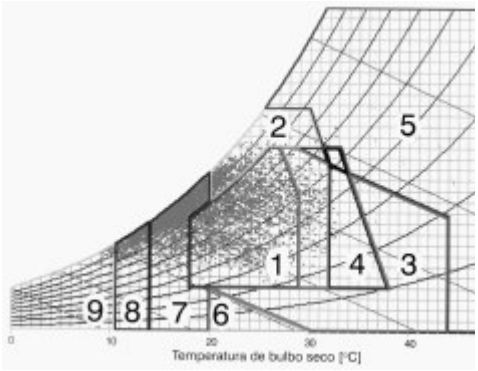


Figura 4.1.2b – Carta Bioclimática de São PauloFonte:
(LAMBERTS et al., 2004)

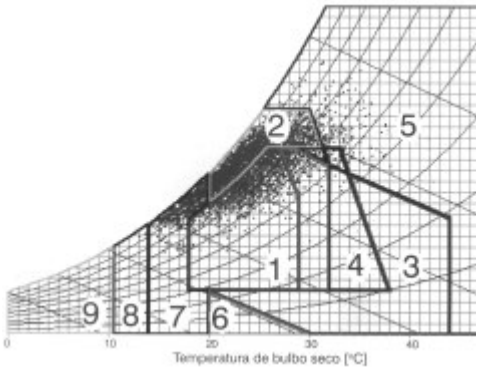


Figura 4.1.2c – Carta Bioclimática do Rio de Janeiro
Fonte: (LAMBERTS et al., 2004)

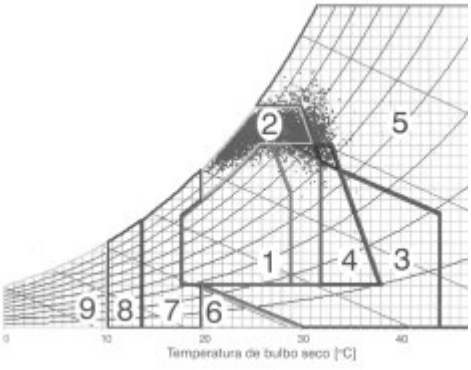


Figura 4.1.2d – Carta Bioclimática de Belém Fonte:
(LAMBERTS et al., 2004)

4.1.2 . Radiação solar (onda curta)

01 – Influência na eficiência ambiental

A radiação solar é a maior fonte de energia do planeta. Isto é suficiente para determinar o grau de influência que tem na utilização de energia em uma edificação, uma vez que a radiação solar é seu maior fator de ganhos térmicos. Dependendo do lugar e da época, esse ganho de calor pode ser desejável ou não e, por isso, o excesso ou às vezes a falta de incidência de radiação solar em uma edificação pode determinar o uso de aparelhos de correção climática, grandes consumidores de energia elétrica.

02 – Embasamento

A radiação solar é uma radiação eletromagnética emitida pelo sol com comprimento de onda variando entre 0,28 a 3,00 μ [155]. Divide-se em três faixas de acordo com o comprimento de onda: a faixa que vai de 0,28 a 0,4 μ é chamada de ultravioleta; a faixa que vai de 0,4 a 0,76 μ corresponde ao espectro visível da luz solar; a faixa que vai de 0,76 a 3,0 μ recebe o nome de infravermelha. A radiação ultravioleta tem como característica principal sua ação germicida e é em grande parte absorvida na atmosfera pelas camadas de ozônio. A radiação infravermelha se caracteriza por ter forte efeito térmico. Uma quantidade significativa dos raios infravermelhos é absorvida na atmosfera pelo vapor e dióxido de carbono. (Fig. 4.1.3)

A radiação solar atinge a atmosfera com uma intensidade térmica entre 1,8 a 2,0 cal/cm2.min (constante solar), mas vai diminuindo ao penetra-la graças aos fenômenos de absorção, reflexão e difusão. Mesmo em um dia claro, somente parte da capacidade térmica da radiação solar atinge a superfície, cerca de 75%. Em um dia parcialmente nublado, esse percentual diminui para cerca de 20% e num dia totalmente encoberto chega a 7% [156]. De qualquer forma, é difícil calcular a intensidade calorífica da radiação solar que atinge a superfície da Terra, porque há uma variação na sua emissão desde o sol, uma variação em relação à espessura da camada de ar que penetra, variação em relação à rotação, inclinação da terra, do nível de claridade do céu e da pureza do ar em relação à poeira, vapor e dióxido de carbono.

Nem toda a radiação solar atinge a superfície diretamente. A atmosfera difunde parte da radiação solar, espalhando sua trajetória. Quanto mais nublado céu, maior será a parcela da radiação que chega à superfície de forma difusa e menor será a parcela que chega diretamente.

03 – Pontos a serem considerados no projeto

Para um país predominantemente tropical como o Brasil, o projeto arquitetônico deve sempre se basear na exclusão máxima da radiação solar direta dos ambientes internos e na diminuição da incidência da radiação solar direta e difusa das fachadas e cobertura do edifício em praticamente todo o ano, exceto em regiões que têm inverno mais marcado como a região sul e algumas partes da região sudeste. A radiação solar direta poderá ser determinada com o conhecimento do movimento relativo do sol na abóbada celeste, mas a radiação difusa, por ter sofrido um espalhamento na atmosfera, atinge todas as fachadas e com a mesma intensidade.

---

[155] μ – mícron. Medida de comprimento que equivale a 1/1.000 mm.
[156] PUPPO (1979)

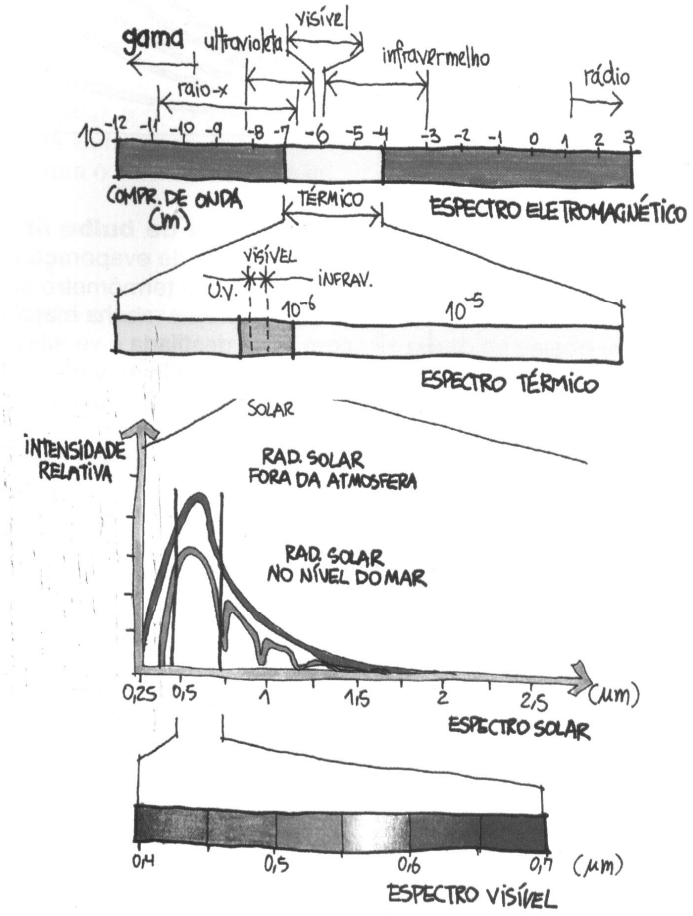


Figura 4.1.3 – Espectro de radiação solar
Fonte: (LAMBERTS et al., 2004)

4.1.3 . Posição relativa do sol

01 – Influência na eficiência ambiental

A posição relativa do sol na abóbada celeste varia ao longo do dia e ao longo do ano em qualquer parte do planeta. A diferenciação desse posicionamento determina intensidades distintas de ganho térmico através da radiação solar e posições (ângulos) diferentes por onde esse ganho térmico vai ocorrer. Com isto, o conhecimento sobre qual a quantidade desejada de ganhos térmicos através da radiação em uma edificação, que por sua vez influencia gastos energéticos com climatização artificial, depende diretamente do conhecimento da trajetória solar no céu.

02 – Embasamento

A posição do sol na superfície semi-esférica imaginária que chamamos de abóbada celeste em relação a um ponto no centro do círculo que define a meia esfera pode ser determinada através de dois ângulos. Ao colocar sobre este círculo os pontos cardeais, tem-se uma direção norte como referência. O primeiro ângulo que define a posição do sol na semi-esfera é o ângulo formado entre a direção norte e a reta que liga a projeção horizontal do sol ao centro do círculo. Este ângulo chama-se azimute solar. O segundo ângulo, chamado de altura do sol ou altitude solar, é o ângulo encontrado entre a reta que liga a posição do sol diretamente ao centro do círculo e a reta que corresponde à projeção horizontal da primeira no plano do círculo. (Fig. 4.1.4)

Existem vários diagramas solares que podem ser usados na aferição da trajetória do sol ao longo do ano e ao longo dos dias em relação a uma edificação, mas a mais utilizada é a carta solar. As cartas solares são definidas pela latitude. (Fig. 4.1.5)

03 – Pontos a serem considerados no projeto

O conhecimento prévio a respeito da trajetória do sol no local em que se está projetando é fundamental, mesmo que de forma intuitiva, através de um croqui, principalmente diferenciando as quatro estações. Dessa forma, será possível verificar em que ponto da abóbada celeste o sol passa no período mais quente e mais frio do ano naquela localidade e, dependendo da situação, favorecer ou bloquear a incidência de sol. Como um arquiteto normalmente projeta mais vezes em lugares próximos de onde está estabelecido, a repetição da utilização da carta solar da sua região torna seu desenho intuitivo depois de algum tempo. É importante tentar obter a carta solar correta de cada região que se vai projetar pela primeira vez e a partir daí utilizá-la sempre para conhecer a incidência de sol em cada hora do dia e em cada época do ano no local do projeto e diferenciar nesse desenho as estações para determinar os períodos de radiação solar crítica.

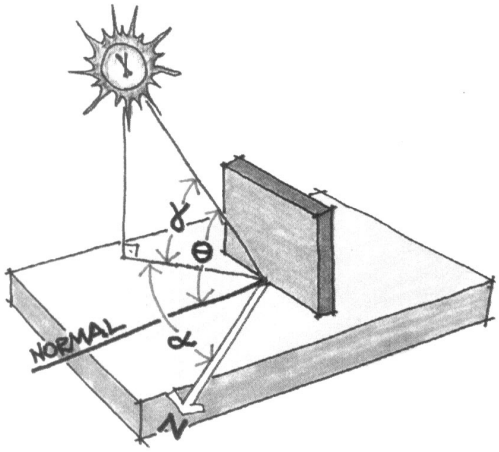


Figura 4.1.4 – Azimute (α) e altura solar(γ)
Fonte: (LAMBERTS et al., 2004)

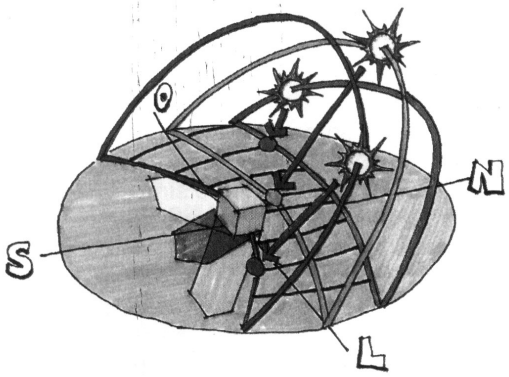


Figura 4.1.5a – Trajetória solar
Fonte: (LAMBERTS et al., 2004)

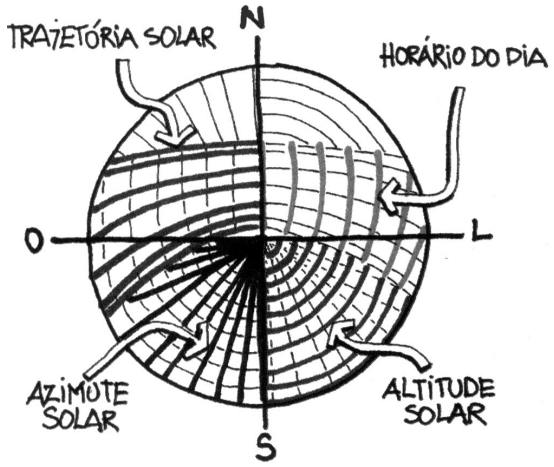


Figura 4.1.5b – Carta solar
Fonte: (LAMBERTS et al., 2004)

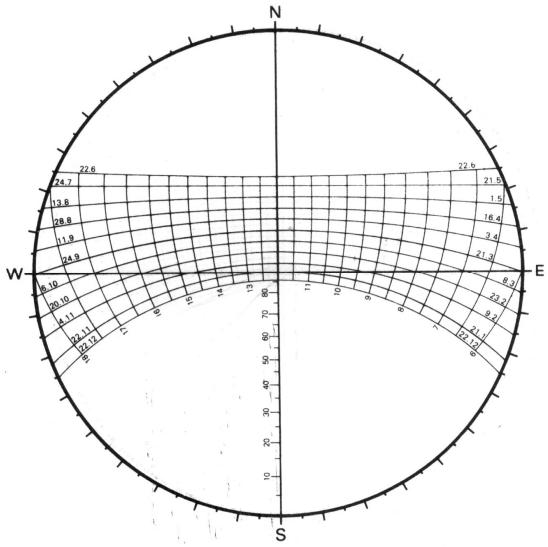


Figura 4.1.5c – Carta solar para latitude 20ºS (latitude aproximada de Belo Horizonte) Fonte: (FROTA; SCHIFFER, 1995)

4.1.4 . Radiação de onda curta refletida

01 – Influência na eficiência ambiental

Uma edificação cercada de superfícies que refletem grande quantidade de radiação solar tem seus ganhos térmicos aumentados. Tal ganho deve ser controlado dependendo da situação para evitar gastos de energia com equipamentos de climatização artificial, tanto de ar condicionado como de calefação.

02 – Embasamento

A radiação solar de ondas curtas que atinge uma superfície tanto de forma direta como difusa, é em parte absorvida pela superfície e em parte refletida. Essa parcela de radiação refletida, também de onda curta, chega até as edificações somando-se as duas primeiras. Portanto, uma edificação cercada de superfícies com alta capacidade refletora receberá maior carga térmica do que outra cercada de superfícies de baixa capacidade de reflexão.[157] A quantidade de radiação de onda curta refletida pelo entorno da edificação é chamado de albedo. Uma superfície gramada, por exemplo, tem albedo 0,2, o que significa que tem a capacidade de refletir 20% da radiação solar. [158] Um bosque escuro reflete 5% da radiação solar ao passo que uma salina reflete 40%.[159]

03 – Pontos a serem considerados no projeto

O arquiteto deve saber operar com a radiação de onda curta refletida dependendo da situação de projeto. Sempre que for possível projetar o entorno da edificação, em função do lugar e da época do ano, ele deve pensar que superfícies com maior ou menor albedo irão aumentar ou diminuir os ganhos térmicos da edificação que projeta. Para operar com a radiação solar refletida, é necessário conhecer as propriedades de absortância e refletância[160] de alguns materiais para poder, dependendo da situação, criar um entorno com alto ou baixo albedo. Quando não for possível projetar o entorno, é preciso levar em conta quais os materiais que o compõe, de modo a antever sua capacidade de refletir radiação. Assim, poderá aferir se ela será ou não significativa, para favorecer ou bloquear sua presença, dependendo da situação.

---

[157] Essa capacidade de uma superfície em refletir maior ou menor quantidade de radiação solar será vista adiante no capítulo 4.3.

[158] LAMBERTS, et al. (2004)

[159] MASCARÓ (1985)

[160] Propriedades dos materiais que serão discutidas no capítulo 4.3.

4.1.5 . Radiação de ondas longas

01 – Influência na eficiência ambiental

As ondas longas irradiadas pelas superfícies aquecidas têm dupla importância para a eficiência ambiental de uma edificação. Tanto podem contribuir para os ganhos térmicos externos, através de superfícies do lado de fora da edificação que estejam aquecidas como através de superfícies no interior da edificação também aquecidas. Em ambos os casos, tem-se uma significativa contribuição térmica que pode determinar a utilização de equipamentos de controle de temperatura.

02 – Embasamento

A radiação de onda longa é a radiação emitida pelas superfícies após absorverem parte da radiação solar. É emitida em todas as direções, mas ao contrário das ondas curtas da radiação solar, grande parte das ondas longas é absorvida pelo ar, ainda que boa parte acabe atravessando a atmosfera e atingindo o espaço. O vapor d'água é o maior responsável pela absorção de ondas longas na atmosfera. Em locais de maior concentração de nuvens grande parte da radiação de ondas longas ficará retida na atmosfera, aumentando a temperatura. Em desertos há uma maior dispersão das ondas longas pela falta de nuvens. A diferença entre a quantidade de radiação recebida na superfície terrestre e a radiação refletida por ela chama-se radiação terrestre ou perda de calor radioativo.

Grande parte da radiação solar de onda curta consegue atravessar um vidro e penetrar na edificação, incidindo nas superfícies internas. Estas se aquecem e emitem radiação de onda longa que por sua vez não atravessa o vidro de volta para o exterior, uma vez que este material é praticamente opaco a ondas de maior comprimento. Com isso, o ambiente interno ganha temperatura continuamente, e se superaquece. Este fenômeno é conhecido como efeito estufa e é o maior transformador da radiação solar em calor no interior de uma edificação.[161]

03 – Pontos a serem considerados no projeto

É importante projetar com cuidado as superfícies externas da edificação também levando em conta sua capacidade de emitir radiação de onda longa, e escolhendo os materiais conforme suas propriedades e a necessidade de cada lugar.

---

[161] LAMBERTS (2004)

Mais importante ainda é ter consciência a respeito do efeito estufa. Este pode ser bem vindo em um lugar frio, para minimizar os gastos energéticos com aquecimento artificial, como normalmente funcionam os chamados jardins de inverno, solários. No entanto, em locais quentes, como grande parte do Brasil, este efeito pode ser um desastre para a edificação, como acontece em várias partes do país em prédios comerciais revestidos de vidro, sem qualquer proteção.

4.1.6 . Latitude

01 – Influência na eficiência ambiental

Da latitude depende diretamente a trajetória solar na abobada celeste e a quantidade de radiação solar incidente sobre um determinado lugar. Isso determina os ganhos térmicos e, por conseguinte, os gastos energéticos com sistemas de climatização artificial.

02 – Embasamento

A Terra gira em torno de um eixo inclinado em 23°27'. Isso faz com que o planeta percorra sua trajetória eclíptica em torno do sol em um plano, por isso mesmo chamado eclíptica*, inclinado em 23°27' em relação ao plano do seu Equador. (Fig. 4.1.6) Este ângulo define a posição dos trópicos, paralelos que marcam o limite da incidência perpendicular do sol. Considera-se o Equador como a latitude 0°, o trópico de Câncer no hemisfério norte como a latitude 23°27'N e o trópico de Capricórnio no hemisfério sul como a latitude 23°27'S. Nas latitudes situadas entre essas duas últimas linhas, o sol estará perpendicular em uma determinada época do ano e portanto são regiões mais quentes. Por se situarem entre os trópicos, são chamadas tropicais. Nas latitudes superiores aos trópicos, o sol nunca passará no céu a pino e, portanto são mais frias. (Fig. 4.1.7)

A principal influência da latitude em relação ao clima está nas diferentes quantidades de radiação solar que cada região recebe. Admitindo-se a lei da física segundo a qual a quantidade de radiação solar recebida por uma superfície é inversamente proporcional ao co-seno do ângulo que os raios solares fazem com a normal ao plano desta superfície, quanto maior o ângulo menor a incidência de sol. Considerando uma quantidade de radiação solar contida em uma faixa de largura L e comprimento unitário e a área da Terra sobre a qual essa faixa incide como uma área de largura l e comprimento unitário, pode-se verificar a validade da lei do co-seno quando essa faixa incide na superfície formando com a normal um ângulo σ. Pela

trigonometria, o co-seno de **σ** é igual a L/l, ou seja quanto maior o ângulo **σ**, maior será o valor de l e menor será o valor de L/l, que representa a taxa de radiação solar por área. Isso significa que quanto maior o ângulo, maior será a área sobre a qual uma mesma faixa de radiação solar incide e assim mais fria ela será. Em situações extremas, quando **σ** = 0º, como o co-seno de 0 = 1, a taxa L/l será máxima, o que corresponde à situação na linha do Equador. Quando **σ** = 90º, o co-seno será 0 e a taxa é nula. Para ângulos próximos de 90, l é tão grande em relação a L que a taxa é mínima, como acontece próximo dos pólos. (Fig. 4.1.8)

A variação da espessura da camada de ar que envolve a Terra também determina as regiões mais quentes nas menores latitudes e as mais frias nas maiores. Nas maiores latitudes, a radiação solar chega à superfície do planeta atravessando uma espessura maior da atmosfera do que nas pequenas latitudes. Isso também faz com que as regiões de maior latitude do planeta, os pólos, consigam obter os menores ganhos térmicos com a radiação solar e, ao contrário, a faixa próxima do equador tenha os maiores ganhos de calor com a radiação vinda do sol. (Fig. 4.1.9)

03 – Pontos a serem considerados no projeto

Como a latitude determina os ângulos da trajetória solar de uma localidade ela determina a carta solar dessa localidade. É importante lembrar que cidades diferentes na mesma latitude têm a mesma carta solar, como por exemplo, Vitória, no Espírito Santo e Campo Grande, no Mato Grosso (com uma aproximação razoável). Para utilizar uma carta solar para uma localidade no hemisfério norte, basta virar de cabeça para baixo a carta solar para a mesma latitude no hemisfério sul.O arquiteto deve sempre ter em mente, portanto, em que latitude está projetando, pois isso determina o percurso do sol nesse lugar, o que define em grande parte o clima do lugar e, principalmente, determina onde, como e quando o sol vai incidir sobre a edificação.

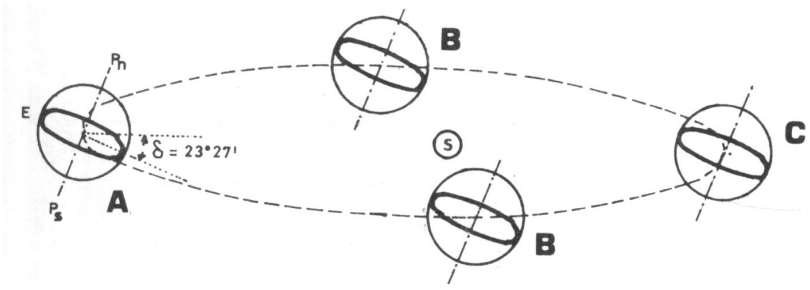


Figura 4.1.6 – Plano da eclíptica
Fonte: (RIVERO, 1985)

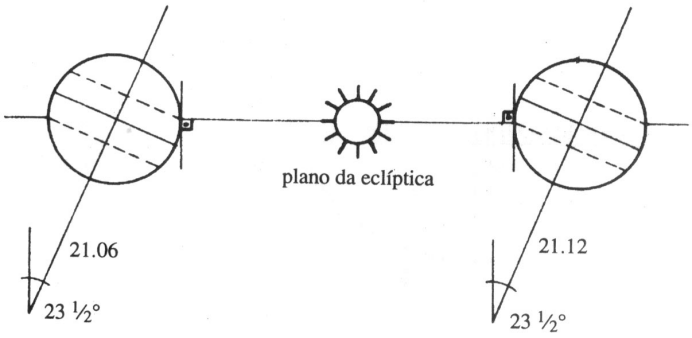


Figura 4.1.7 – Definição dos trópicos a partir da eclíptica
Fonte: (FROTA; SCHIFFER, 1995)

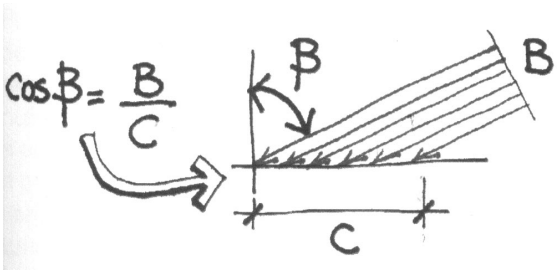


Figura 4.1.8 – Lei do co-seno
Fonte: (LAMBERTS et al., 2004)

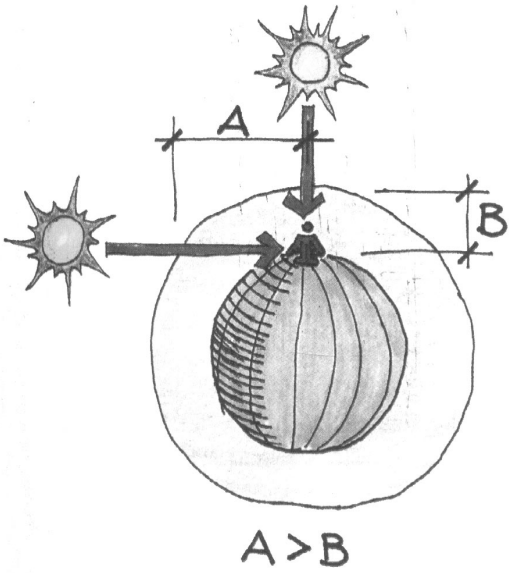


Figura 4.1.9 – Influência da espessura da atmosfera
Fonte: (LAMBERTS et al., 2004)

4.1.7 . Temperatura do ar

01 – Influência na eficiência ambiental

A temperatura do ar age diretamente sobre a temperatura dos espaços internos das edificações e, portanto tem influência direta no uso de sistemas de climatização artificial.

02 – Embasamento

O ar é diatérmano, ou seja, transparente às ondas eletromagnéticas, razão pela qual sua temperatura não é conseqüência da ação direta dos raios do Sol e se explica por processos indiretos: a radiação solar atinge o solo onde é absorvida em parte e transformada em calor.

Eleva-se assim sua temperatura e, somente então, por convecção, se aquece o ar. [162]A temperatura do ar depende, portanto da quantidade de radiação solar incidente, do albedo das superfícies receptoras, da condutividade e da capacidade térmica do solo que determinam perdas diretas por condução, da evaporação, da convecção e da radiação de ondas longas. [163]

Com isso a taxa de variação diária da temperatura tem uma variação senoidal, com seu ponto mais baixo pouco antes do sol nascer. A partir do momento que o sol nasce, a temperatura começa a se elevar e atinge um máximo cerca de duas horas após o meio-dia, em virtude da capacidade de inércia térmica da terra.[164] A partir desse pico a energia dissipada pela terra passa a ser maior do que a recebida pela radiação solar e com isso a temperatura do ar começa a cair até atingir a temperatura mínima novamente antes do nascer do sol. (Fig. 4.1.10)

A variação diária de temperatura também é influenciada pela latitude, devido às diferentes quantidades de radiação solar recebidas conforme a inclinação de uma terminada localidade em relação ao Sol. Nas baixas latitudes, essa variação, que corresponde à variação da altura solar ao longo do ano é pequena e, desta forma, não há uma amplitude térmica anual considerável. Nessas regiões, principalmente entre os trópicos, o Sol percorre uma trajetória alta tanto no inverno como no verão. Nas regiões de maior latitude, fora da faixa tropical, a situação se inverte, uma vez que há uma considerável diferença entre a inclinação do sol do verão e do inverno que passa bem mais baixo no céu. Assim as variações diárias de temperatura são mais pronunciadas.

A temperatura do ar também varia em função da pressão atmosférica, o que é conhecido como processo adiabático de aquecimento e resfriamento. Quando a pressão é maior, em pequenas altitudes, o ar se comprime e esquenta, quando a pressão é menor em grandes altitudes, o ar se expande e se esfria; a variação de temperatura em função da diferença de pressão atmosférica é de cerca de 1° C a cada 100 m. Este é um dos motivos pelos quais a temperatura diminui com a altitude.

03 – Pontos a serem considerados no projeto

O arquiteto precisa conhecer as variações diárias e anuais de temperatura do local onde está projetando. Contrapondo graficamente as variações da temperatura do ar, o que corresponde à temperatura externa, ele saberá em que momentos a edificação estará mais quente ou mais fria do que seu entorno e conseqüentemente ganhando ou perdendo calor para

[162] RIVERO (1985)
[163] Sobre trocas térmicas, falar-se-á mais no capítulo 4.3.
[164] Sobre inércia térmica, ver o capítulo 4.3.

o meio. Somente conhecendo quando e com que intensidade acontecerão estas diferenças entre a temperatura externa e a interna, teoricamente em um patamar de equilíbrio, o arquiteto poderá atuar no sentido de barrar ou potencializar as trocas térmicas da edificação com o meio.

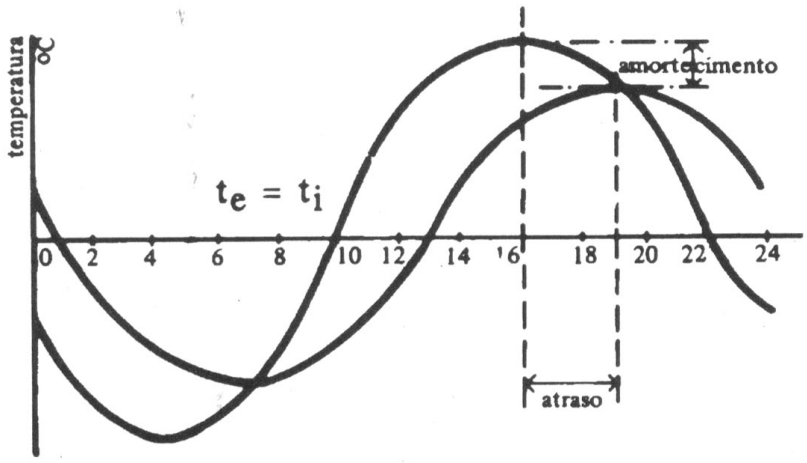


Figura 4.1.10 – Gráfico de variação diária de temperatura
Fonte: (FROTA; SCHIFFER, 1995)

4.1.8 . Ventos

01 – Influência na eficiência ambiental

Os ventos têm estreita relação com o consumo de energia nas edificações. Além de poderem ser utilizados como fonte energética,[165] alteram a temperatura e a umidade dos espaços de externos e internos de uma edificação, e desta forma se relacionam com o consumo energético dos sistemas de climatização artificial. Além disso, os ventos podem proporcionar trocas de ar necessárias para manter boas condições de qualidade do ar nos recintos, eliminando a necessidade de sistemas eletromecânicos de ventilação e exaustão artificial.

[165] Ver capítulo 3.2.

02 – Embasamento

Os ventos são nada mais do que o ar em movimento. O que determina este movimento das camadas de ar são basicamente quatro fatores: a distribuição sazonal da pressão do ar; o movimento de rotação da terra; as variações diárias no aquecimento e resfriamento da terra e do mar; a topografia de cada região.[166]

Os deslocamentos de massas de ar em nível global estão ligados às diferentes pressões encontradas em diferentes latitudes, chamados cinturões de alta e baixa pressão. Cinturões de alta pressão existem em toda terra, sendo que alguns são permanentes e outros temporários.Um cinturão de baixa pressão permanente está localizado ao longo da faixa equatorial. Dois grandes cinturões de alta pressão se localizam respectivamente entre as latitudes 20° e 40°, na região subtropical, tanto no hemisfério norte como no sul. Os pólos são zonas de alta pressão. Entre eles e os cinturões subtropicais de alta pressão, existem nos dois hemisférios cinturões de baixa pressão sendo que o austral* é mais constante do que o setentrional* por se localizar somente em zona marítima. (Fig. 4.1.11) O ar se movimenta sempre da pressão mais alta para a mais baixa. A presença de zonas de pressão (cinturões) constantes gera ventos também constantes em algumas regiões. Esses ventos constantes são divididos em três grupos dependendo dos cinturões em que ocorrem: os ventos alíseos, os ventos do oeste e os ventos polares.[167]

Apesar de se moverem da pressão mais alta para a mais baixa, as massas de ar não se movimentam linearmente devido ao movimento de rotação da Terra em torno do próprio eixo. É a chamada força de Coriolis, que cria movimentos rotativos do ar no sentido horário no hemisfério norte e movimentos rotativos anti-horários no hemisfério sul.

Há também ventos que se originam de forma diferente. Há as monções, correntes sazonais oriundas das diferenças de temperatura entre o mar e a terra e que se caracterizam como ventos terrestres no inverno e ventos marítimos no verão. Ocorrem normalmente na região do oceano Índico. Existem as brisas terrestres e marítimas, movimentos do ar diários, produzidos pelas diferenças de temperatura entre a terra e o mar. Durante o dia, a brisa sopra do mar em direção a terra e à noite, sopra da terra em direção ao mar. Existem também os chamados ventos de montanhas e ventos de vales, que são gerados pelas diferenças de temperatura das massas de ar submetidas a diferentes pressões atmosféricas numa região de topografia acidentada.

---

[166] GIVONI (1976)

[167] Para mais informações sobre o comportamento destes ventos, ver: GIVONI (1976: 08)

Também a diferença de temperatura pode gerar movimento do ar, as chamadas correntes de convecção. O ar mais aquecido fica mais leve e tende a subir, enquanto o ar mais frio, por ser mais pesado, tende a descer. Isto cria correntes de convecção verticais que acontecem ao longo do dia, na medida em que as camadas mais próximas do solo se esquentam e tendem a subir. Em condições em que a superfície terrestre se resfria mais do que o ar (noites claras), as camadas de ar mais frias ficam próximas do chão e mais pesadas do que as camadas superiores. Essa situação cessa qualquer tipo de movimentação do ar no sentido vertical e gera uma situação de estabilidade que é chamada "inversão térmica".

O movimento do ar é um dos aspectos mais dinâmicos dentro aqueles que compõe o clima de um lugar. Por isso, cada localidade tem diagramas onde são registrados dados relativos aos ventos tanto no que diz à sua direção como à sua intensidade. Através desses diagramas como, por exemplo, a rosa dos ventos ou a carta dos ventos, podem ser verificadas "as probabilidades de ocorrência de vento para as principais orientações e sua velocidade."[168]

03 – Pontos a serem considerados no projeto

Assim como no caso da obtenção dos demais dados climáticos, o arquiteto deve recorrer a institutos meteorológicos mais próximos, que fornecerão a carta de ventos ou a rosa dos ventos da localidade em que se está projetando. Estes dados também podem ser obtidos com base nas informações sobre os ventos utilizadas pelos aeroportos mais próximos.

Para verificações sobre os ventos na ausência de dados oficiais, pode ser utilizada a tabela de Beaufort em horas e dias diferentes, o que dará ao arquiteto uma noção sobre a velocidade dos ventos. (Fig. 4.1.12)

Mesmo de posse de dados oficiais ou analisando os tipos de vento que foram mencionados, o arquiteto sempre terá que interpolar estes dados aos fatores locais para ver como o vento age especificamente sobre o sítio onde irá projetar, isto porque a topografia, a vegetação e outras construções podem modificar completamente a direção e a intensidade do vento de um local específico em relação aos dados globais da área.

[168] LAMBERTS, Et Al (2004)

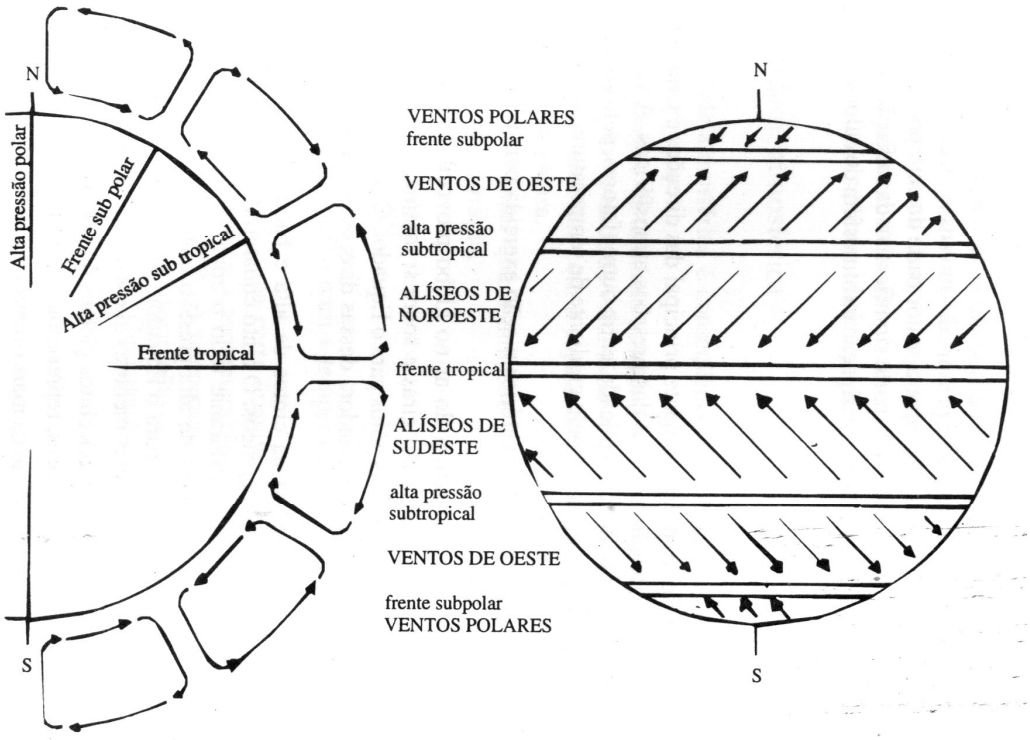


Figura 4.1.11 – Cinturões terrestres de pressão
Fonte: (FROTA; SCHIFFER, 1995)

Descrição	Velocidade Nós	Velocidade Km	Força	Terra	Água
Calmaria	0 -> 1	0 -> 1	0	Fumaça sobe verticalmente	Água está como um espelho. Necessidade de usar motor.
Befagem	0 -> 3	1 -> 5	1	Fumaça indica a direção do vento. Vento insuficiente para birutas.	Pequenas ondulações na superfície da [agua. Vento suficiente apenas para um Spinnaker leve.
Aragem	4 -> 6	6 -> 11	2	Sente-se o vento no rosto. Folhas das árvores se movem. Birutas indicam a direção do vento.	O vento agora enche as velas. Pequenas ondulações.
Vento Fraco	7 -> 10	12 -> 19	3	Pequenas bandeiras estão estendidas. Folhas agora se movem continuamente.	Veleiros começam a se inclinar. Grandes ondulações.
Vento Moderado	11 -> 16	20 -> 28	4	Poeira é levantada pelo vento. Pequenos galhos começam a se curvar com o vento.	Boa brisa para trabalho. Veleiros em velocidade de casco e com toda vela.
Vento Fresco	17 -> 21	29 -> 38	5	Pequenas árvores reagem ao vento	Numerosas cristas brancas. É a hora de encurtar as velas.
Vento Forte	22 -> 27	39 -> 49	6	O vento agora assobia. A maior parte dos galhos das árvores agora se movem.	Cristas brancas por todo lado. Veleiros começam a procurar refúgio.
Temporal Próximo	28 -> 33	50 -> 61	7	Árvores inteiras se movem.	Ondas muito maiores e os veleiros permanecem nos ancoradouros.
Temporal	34 -> 40	62 -> 74	8	Pequenos galhos começam a quebrar. Difícil andar contra o vento.	Todas as embarcações procuram refúgio. Espuma em ricos bem marcados.
Temporal Forte	41 -> 47	75 -> 88	9	Edificações começam a mostrar pequenos estragos. Galhos grossos são quebrados. Impossível andar contra o vento.	Baixa visibilidade devido à névoa.
Tempestade	48 -> 55	89 -> 102	10	Situação perigosa. Árvores são arrancadas.	Ondas com mais de 8 metros.
Tempestade Violenta - Tufão	56 -> 63	103 -> 117	11	Situação perigosa. Grandes danos.	Ondas com mais de 10 metros.
Furacão	64 e mais	118 e mais	12	Situação perigosa. Danos excessivos.	Ondas com mais de 14 metros.

Figura 4.1.12 – Tabela de Beaufort
Fonte: <http://www.numaboa.com.br/criptologia/cifras/substituicao/beaufort.php> Acesso em 11 de fevereiro de 2005

4.1.9 Umidade

01 – Influência na eficiência ambiental

A umidade se relaciona principalmente com a capacidade de evaporação do suor. Quanto mais alta a umidade no ar, mais dificuldade terá o suor para evaporar, aumentando a sensação de calor e gerando a necessidade de utilização de sistemas de resfriamento que consomem energia (ventilação mecânica e condicionamento de ar).

02 – Embasamento

A umidade é a porção de vapor d'água presente na atmosfera, no ar. A quantidade de vapor pode ser medida em diferentes termos: Umidade Absoluta, definida como o peso do vapor d'água por unidade de volume do ar e medido em g/m3; Umidade Específica, definida como o peso do vapor d'água por unidade de peso do ar e medido em g/kg; Pressão de vapor, medida como parte da pressão atmosférica com um todo em mm Hg; Umidade relativa, a relação percentual entre a quantidade de vapor d'água presente no ar em uma determinada temperatura e a capacidade máxima de vapor d'água que o ar pode suportar àquela mesma temperatura antes da saturação (100%). A umidade relativa aumenta quando há diminuição da temperatura e diminui quando a temperatura aumenta.

Em regiões úmidas, e, por tanto com a maior presença de vapor d'água no ar, durante o dia aumenta a parcela de radiação difusa na atmosfera e diminui a parcela de radiação direta que chega à superfície o que evita um maior aquecimento das camadas inferiores do ar. À noite, a presença da umidade ajuda a reter a radiação de onda longa emitida pela superfície terrestre, evitando que ela seja dissipada para as camadas mais altas e aumentando a temperatura do ar. Com isso a amplitude térmica diária é menor do que em locais secos onde o contrário ocorre: superaquecimento das camadas inferiores do ar durante o dia e dissipação total do calor acumulado pela superfície terrestre e transmitido pelas ondas longas. As regiões próximas da linha do Equador são as mais úmidas do planeta e nas regiões próximas dos pólos tem-se as menores taxas de umidade.

03 – Pontos a serem considerados no projeto

A umidade muito alta ou muito baixa pode contribuir para o uso de equipamentos que consomem energia elétrica nas edificações. O arquiteto deve, portanto, conhecer as taxas de umidade do local para diminui-la através de ventilação se for muito alta ou utilizar recursos passivos de umidificação artificial, caso ela seja muito baixa.

4.1.10 . Condensação e Precipitação

01 – Influência na eficiência ambiental

Nestes processos, o vapor se transforma em água na natureza, espontaneamente. Essa água pode ser utilizada para fins específicos numa edificação, reduzindo seu consumo de água tratada.[169]

02 – Embasamento

A temperatura na qual, a uma determinada pressão, o ar se torna saturado é chamada de ponto-de-orvalho. A condensação na atmosfera se dá normalmente quando uma quantidade de ar com vapor d'água é resfriada até o seu ponto-de-orvalho, aumentando a umidade relativa até a saturação.

Essa condensação do vapor pode acontecer em pequena escala, gerando o orvalho que são as gotículas de água originadas do contanto do vapor com uma superfície com temperatura mais fria. Pode também gerar a neblina ou cerração que são gotículas de água em suspensão geradas pelo contato do vapor com uma camada de ar mais fria. Este fenômeno acontece normalmente em vales, devido à inversão de temperatura, ausência de vento e consequente resfriamento das camadas de ar mais baixas.

Quando acontece em maior escala, este processo origina as precipitações pluviométricas. As precipitações são formadas pelos processos adiabáticos* de variação de temperatura de grandes massas de ar. Uma grande quantidade de vapor presente em uma massa de ar quente se encontra com uma massa de ar mais frio. Esses encontros se dão em diferentes situações e podem determinar chuvas de diferentes tipos:

- Precipitação Convectiva – Origina-se das massas de ar úmidas ascendentes, que são aquecidas pelo contato com superfícies mais quentes. Ocorrem nas regiões tropicais, usualmente no verão nos finais de tarde, caindo em grande quantidade durante breves períodos.
- Precipitação Orográfica – Precipitações que ocorrem em cadeias montanhosas quando massas de ar quente úmido em movimento encontram uma barreira montanhosa e ascendem encontrando outras camadas de ar mais frias devido a maior altitude. Normalmente as cadeias montanhosas onde ocorrem essas precipitações dividem dois

[169] O que será analisado no capítulo 3.5.

tipos climáticos: um mais úmido de um lado e outro mais seco de outro como acontece, por exemplo, com a Serra do Mar ou a Cordilheira dos Andes no Chile.

- Precipitação Convergente – originada pelo choque de duas grandes massas de ar de temperaturas diferentes, uma grande massa de ar quente úmido e uma grande massa de ar frio e seco. Quanto maior for a diferença de temperatura das duas massas de ar, como ocorre nas latitudes médias, mais tempo será necessário para igualar as diferenças de temperatura, o que resultará em uma chuva suave, mas duradoura.

03 – Pontos a serem considerados no projeto

O arquiteto deve procurar obter dados sobre o regime de chuvas do local onde irá projetar. Estes dados mostrarão com que intensidade e em que períodos ocorrem as chuvas o que fornecerá números para poder dimensionar qualquer tipo de sistema que faça uso das águas pluviais.

4.1.11 . Nebulosidade

01 – Influência na eficiência ambiental

O grau de nebulosidade sob a abóbada celeste determina a quantidade de radiação solar direta sobre a superfície e a quantidade de radiação emitida pela superfície da Terra que irá se dissipar para o espaço atravessando a atmosfera de volta. Os dois aspectos apontados influenciam sobremaneira a temperatura local e portanto tem ligação direta com o uso de equipamentos de correção climática.

A quantidade de nuvens presentes no céu influencia também a quantidade de luz que chega a superfície terrestre, aumentando a necessidade de sistemas de iluminação artificial, e, portanto criando mais um fator de consumo de energia elétrica.

02 – Embasamento

As nuvens são gotículas de água em suspensão, parte do vapor d'água presente no ar que condensou ao encontrar partículas em suspensão.

No caso de um céu limpo, claro, sem nuvens, a radiação direta é preponderante, vinda diretamente do Sol, e a radiação difusa é mais intensa ao redor do Sol e próxima do horizonte. Com relação à luz, o céu e a atmosfera são claros e a luminância varia em relação ao zênite, ao horizonte e à posição do Sol. Numa situação extrema no sentido oposto, de um céu totalmente

encoberto, também chamado isotrópico, há um turvamento da abóbada celeste e o Sol não é visível. A radiação solar difusa é maior do que a radiação solar direta e a quantidade total de energia que chega a superfície cai bastante – menor ganho térmico. A distribuição da radiação e a luminância* tendem a ser mais uniformes nesse caso.

A situação mais comum, no entanto, é um meio termo entre o céu totalmente limpo e totalmente nublado, com algumas nuvens que não chegam a cobrir toda abóbada celeste. Este é o céu parcialmente nublado, ou anisotrópico e que representa melhor o céu na maioria das cidades em grande parte do tempo, tanto ao longo do dia, como ao longo do ano.

03 – Pontos a serem considerados no projeto

O arquiteto precisa procurar por dados relativos aos níveis de nebulosidade do local onde vai projetar para saber a influência que a presença de nuvens terá na temperatura e na iluminação natural. No caso da nebulosidade, mesmo os dados oficiais não são absolutamente confiáveis, pois se baseiam em aferições subjetivas. Os graus de nebulosidades são divididos em números inteiros de 0 a 10, em função da porcentagem de nuvens no céu (de 0 a 100%) o que é definido pela observação de uma pessoa. Com isso, o próprio arquiteto pode através da sua observação pessoal e de informações de pessoas do local aferir quais os diferentes graus de nebulosidade e em quais períodos ocorrem para poder saber o que precisará fazer em termos de condicionamento e ventilação natural.

4.1.12 . Influência da topografia no microclima

01 – Influência na eficiência ambiental

A forma da superfície terrestre definida por montanhas, serras, vales, depressões e outros acidentes naturais tem forte influência sobre o mesoclima e principalmente sobre o microclima. Uma vez que a topografia ajuda a configurar a temperatura do ar, os níveis de umidade, a quantidade de radiação solar recebida, a direção e intensidade dos ventos e ao regime pluviométrico num determinado sítio, ela está diretamente ligada ao consumo de energia elétrica e água em uma edificação que será erguida neste lugar.

02 – Embasamento

A topografia estuda e representa a superfície da terra em todas as suas irregularidades sejam acidentes naturais ou artificiais. Essas irregularidades têm especial interesse na medida em que influenciam elementos climáticos do lugar.

A inclinação e a orientação de um terreno determina radicalmente a quantidade de radiação solar direta recebida em um determinado tempo. Em ambos os casos o que determina a taxa de radiação solar que chega até o terreno é a lei do co-seno. Desta forma, na faixa próxima da linha do equador, quanto mais inclinado o terreno, menor a quantidade de energia recebida do sol e, da mesma forma, um terreno imaginário nessa mesma latitude, absolutamente plano e sem barreiras naturais e artificiais em seu redor receberia a carga máxima de energia solar. Na medida em que se caminha em direção às maiores latitudes, tanto para norte como para sul, a trajetória media do sol na abóbada celeste começa a se inclinar, e as linhas que representam os equinócios começam a se mover para cima ou para baixo na carta solar. Para estes locais, um terreno que tenha a mesma inclinação da sua latitude, receberá a maior carga de energia vinda do sol, isso se a inclinação for considerada isoladamente, desprezando-se a orientação.

Considerando um terreno situado no hemisfério sul, ele receberá radiação solar durante um período maior se estiver voltado exatamente para o norte. Se estiver voltado para o leste receberá uma quantidade de radiação solar maior de manhã e menor à tarde, ao contrário do que ocorre quando está voltado para o oeste. Na situação de um terreno voltado exatamente para o sul, ele receberá a menor quantidade de radiação solar possível considerando a orientação isoladamente, devido à sua inclinação em relação a incidência solar média daquele local conforme a lei do co-seno. (Fig. 4.1.13)

A topografia do sítio influencia também o sistema local de ventos tanto no que diz respeito à direção quanto à intensidade. Uma superfície topográfica que forma um vale pode aumentar a intensidade do vento caso esteja situada na direção deste, pelo efeito venturi, ou barrá-los caso o vale se desenvolva no sentido oposto ao vento dominante.[170] O vale pode ainda alterar a direção do vento dominante, caso se situe numa posição que não fica nem na direção do vento nem perpendicular a ele.

Um sítio situado em uma encosta e que por isso tem uma condição particular de incidência solar e de regime de ventos certamente terá um microclima onde os índices locais de temperatura e de umidade poderão ser diferentes do entorno. No caso de local situado em um

[170] Mais sobre estes efeitos de vento será dito ainda nesse capítulo.

acidente natural de maiores proporções, como uma cadeia montanhosa, também o regime pluviométrico poderá ser diferenciado em relação ao entorno.[171]

03 – Pontos a serem considerados no projeto

O arquiteto deve atentar para a conformação topográfica do sítio em que vai projetar a fim de poder conhecer em que medida ela influencia o microclima, principalmente como se darão os ganhos térmicos através da radiação solar. Também deve prestar atenção para a possibilidade situação topográfica do sítio em questão ser responsável por um microclima específico em relação à região como um todo, o que altera dados climáticos como temperaturas médias, regime de chuvas, regime de ventos e índices de umidade médios, os quais são levantados para uma região mais abrangente.

Mesmo em sítios urbanos, no caso de um terreno situado em uma encosta, o arquiteto deve se preocupar com a inclinação e orientação em que esta se encontra para saber como e quando o sol incide no lugar. Nesse sentido, é fundamental a participação do arquiteto no processo de escolha do sítio, juntamente com o seu cliente, a fim de evitar situações que criarão problemas relacionados ao consumo abusivo de recursos energéticos e naturais. Num condomínio hipotético, que se desenvolve ao longo de uma montanha bastante inclinada, dois lotes em encostas de orientações opostas sul e norte, por exemplo, terão situações completamente diferentes no que diz respeito aos ganhos térmicos com a radiação solar, o que poderá alterar significativamente o consumo de energia.

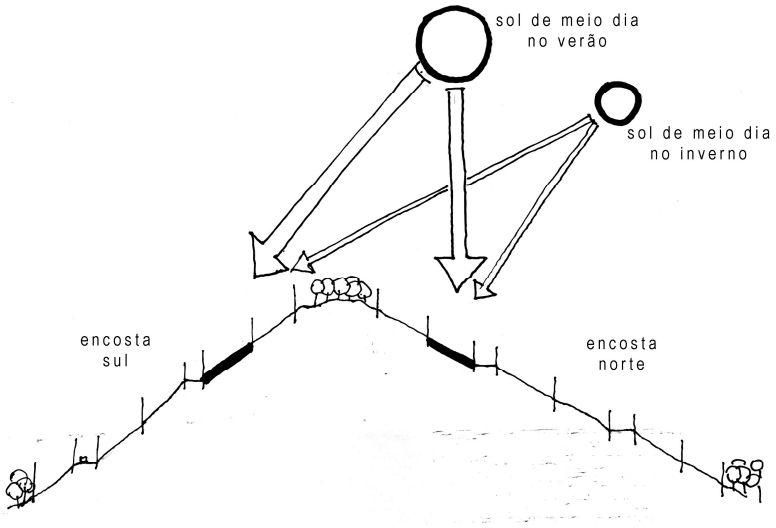


Figura 4.1.13 – Croqui de incidência solar em duas encostas de lados opostos
Fonte: Desenho do autor

[171] Ver Precipitações Orográficas no item “Chuvas” deste capítulo.

4.1.13 . Geologia

01 – Influência na eficiência ambiental

A constituição geológica de um terreno determina, a partir de uma emissão de radiação solar, direta e difusa, qual a quantidade de energia será refletida (albedo), qual a quantidade de energia será absorvida e, desta, qual a quantidade de energia será emitida através de radiação de ondas longas. Isto afeta diretamente as condições climáticas do sítio e, portanto tem influência direta no uso de sistemas de climatização artificial.

02 – Embasamento

Uma determinada superfície exposta à radiação solar reflete parte dessa radiação e absorve o restante. Desta energia absorvida, parte é emitida pela superfície na forma de radiação de ondas longas. Essas propriedades chamam-se refletividade, absortividade e emissividade, respectivamente e serão estudadas mais profundamente adiante quando serão abordadas as propriedades físicas dos materiais.[172] De maneira geral, a capacidade de refletir ou absorver a radiação solar de está bastante ligada à cor do material. Superfícies escuras absorvem de 70 a 90% da radiação (10 a 30% de reflexão). Já as superfícies claras absorvem de 20 a 50% da radiação (50 a 80% de reflexão). No entanto a cor não tem influência sobre a capacidade do material em emitir radiação de ondas longas, mas sim o brilho superficial. As superfícies mais brilhantes (metalizadas) têm menores taxas de emissividade, de 5 a 20%. Superfícies foscas, quer sejam claras ou escuras, têm taxas de emissividade em torno de 90%.

Geologicamente um terreno também pode ser classificado quanto à sua capacidade térmica, a qualidade de acumular calor, que é produto do calor específico do material pela sua massa. Como a variação de calor específico dos materiais é pequena em relação à variação de massa, pode-se perceber que a capacidade térmica varia predominantemente em função do segundo aspecto. A maior massa determina uma maior capacidade térmica e vice-versa. Dessa forma, um terreno com predominância de lodo, terá pouca capacidade térmica; com turfa, terá capacidade térmica mediana; com argila e com areia, terá capacidade térmica boa; com cascalho e rocha terá capacidade térmica excelente.[173]

---

[172] Ver capítulo 4.3.
[173] ROMERO (2000)

03 – Pontos a serem considerados no projeto

Ao arquiteto cabe, em função de cada situação específica, ajudar na caracterização da situação microclimática em função de suas características geológicas de um determinado terreno e, dessa forma, dar subsídios para a escolha de um terreno mais apropriado, quando isto for possível.

Nos casos em que o arquiteto é chamado quando o terreno já foi definido, cabe a ele avaliar em que medida as propriedades geológicas do terreno influenciarão seu microclima para saber se será necessário algum tipo de intervenção de projeto que minimize esses efeitos. O procedimento pode se dar no sentido de isolar ou aproximar a edificação em relação às áreas em que o terreno está exposto dependendo do que seja mais desejável.

A característica geológica quanto à massa determina também o tipo e a profundidade necessária para as fundações, o que influencia o gasto energético considerando o processo de construção. Terrenos mais moles são mais suscetíveis à perfuração e terrenos mais duros são mais difíceis de serem perfurados.

4.1.14 . Vegetação do entorno

01 – Influência na eficiência ambiental

A presença de vegetação em um sítio influencia seus índices de umidade. Pode funcionar como barreira à radiação solar e pode determinar o albedo do entorno da edificação. Todos estes aspectos têm ligação direta com a determinação do microclima e, por isso, com a utilização de equipamentos de climatização artificial.

02 – Embasamento

As plantas, de maneira geral, por realizarem a fotossíntese, absorvem grande parte da radiação solar. Além disso, durante o processo, liberam vapor d´água para o ar, através da evapotranspiração*. Dessa forma, a presença de vegetação contribui a um só tempo para diminuir o albedo e aumentar a umidade do entorno.

A vegetação também contribui para a perda de calor do ar na medida em que as correntes se movimentam por entre elas. As folhas, funcionando como pequenos anteparos, fazem com que o ar perca calor por convecção ao passar por dentro de uma massa vegetal.

A árvore pode funcionar ainda como anteparo à radiação solar, graças à densidade da copa e à sua alta absortividade. Sabe-se que em um lugar arborizado densamente, as copas das árvores podem interceptar entre 60 e 90% da radiação solar, contribuindo significativamente para a redução da temperatura no nível do solo.[174]

03 – Pontos a serem considerados no projeto

Mesmo atendo-se simplesmente às questões de racionalização da energia elétrica, o arquiteto tem motivos para aproveitar-se da vegetação natural do terreno em seus projetos. Além de ajudar a interferir diretamente nos ganhos térmicos, a utilização de uma barreira vegetal mais alta pode ajudar a barrar também o vento, caso isso seja conveniente.

Algumas espécies vegetais, chamadas caducas, perdem suas folhas no inverno. Mostram-se por isto indicadas em lugares com invernos mais frios quando os ganhos térmicos com a radiação solar são bem-vindos.

4.1.15 . Massa de água

01 – Influência na eficiência ambiental

Massas de água próximas de uma edificação podem resfriar as massas de ar que nela ingressam, além de umidificá-las. Isso é suficiente para reduzir a utilização de equipamentos de resfriamento e umidificação artificial. No caso de grandes massas de água, como lagos e mares, criam-se correntes de ar que ajudam a refrescar as edificações durante o dia, contribuindo também para a redução do uso de sistemas passivos de climatização.

02 – Embasamento

Uma corrente de ar ao passar por sobre uma lâmina de água, estando mais aquecido que ela, perderá calor por convecção como aconteceria com uma superfície de qualquer outro material. No entanto essa corrente que passa por sobre um lago ou um espelho d'água, por exemplo, alem de ter sua temperatura reduzida, tem também sua umidade aumentada.

Grandes massas de água geram nas regiões próximas às massas de terra, graças aos seus diferentes padrões de comportamento físico, correntes de ar de intensidade moderada. A água, devido a seu calor específico mais alto, demora mais para aquecer do que a terra ao

[174] OLGYAY (2002)

longo do dia, durante a exposição à radiação solar. A terra, mais aquecida, por convecção transmite calor às camadas inferiores de ar, que ascendem por serem mais leves. O movimento de ar convergente na terra cria brisas que sopram da água em direção a terra. Durante a noite, o comportamento se inverte e a brisa sopra da terra em direção à massa de água.

03 – Pontos a serem considerados no projeto

Em regiões quentes e secas, o arquiteto pode criar algum tipo corpo d'água artificial, contribuindo para que as correntes de ar que entrem nos recintos, cheguem mais frescas e mais úmidas. Em condições médias de vento, umidade e temperatura, o esfriamento de 1m² de superfície exposta de água é de cerca de 200W, indicando que a transferência térmica entre o ar em uma lâmina horizontal de água é fraca. Além de aumentar-se a área de superfície do lago, a área efetiva pode ser incrementada através do uso de pulverizadores e chafarizes com gotículas muito pequenas, em espelhos de água ou outras superfícies. Isto aumenta muito a troca térmica entre a água e o ar assim como a umidificação do ar. [175]

No caso de um terreno situado na margem de uma grande massa de água, o arquiteto pode tirar proveito dessas brisas que variam de direção de dia e de noite. Conforme a necessidade climática do local, o projeto arquitetônico pode barrar ou trazer qualquer uma das duas brisas em relação à edificação.

4.1.16 . Contexto Urbano

01 – Influência na eficiência ambiental

As construções, o desenho urbano, a presença de vias e vazios dentro de uma cidade modifica os aspectos gerais do clima, criando microclimas diferenciados. Essas interferências podem alterar os índices de radiação solar que incidem sobre a edificação, os níveis de radiação de ondas longas emitidas pelo entorno, as taxas de umidade e a temperatura do ar que entra na edificação, a intensidade e a direção da ventilação natural, e até mesmo os níveis de iluminação natural. Por todos estes aspectos, verifica-se a influência que o contexto urbano têm sobre a eficiência ambiental de uma edificação localizada em uma cidade.

---

[175] BROWN; DeKAY (2004)

02 – Embasamento

Todas as superfícies existentes ao redor de uma edificação contribuem com os ganhos térmicos desta, na medida em que recebem radiação solar direta e refletem uma parte e emitem parte da energia absorvida na forma de radiação de ondas longas. Neste caso, prédios, casas, muros, enfim, quaisquer anteparos vizinhos a uma edificação emitem radiação solar refletida e radiação de ondas longas em direção à mesma, contribuindo para seus ganhos térmicos.

Além destas alterações transmitidas diretamente para a edificação, o entorno construído contribui também para alterar o microclima que existe na circunvizinhança de uma edificação. Dependendo de uma série de características dos materiais que compõe as superfícies vizinhas à edificação, a temperatura do ar e a umidade serão alteradas próximas a ela e entrarão na edificação modificando suas condições internas. A presença de vegetação ou de água pode ajudar a amenizar estes microclimas urbanos hostis, melhorando a qualidade do ar que entra na edificação.

A presença de edificações e até mesmo vegetação de maior porte em um meio urbano altera significativamente a incidência de sol em uma edificação, funcionando como barreiras. Essas barreiras podem ser determinadas graficamente para que possa ser determinado o seu grau de influência nos ganhos térmicos de um lote. Na carta solar de um sítio, podem ser marcadas as barreiras naturais e artificiais do entorno, pela geometria descritiva. (Ver figura 10)

O maior alteração do clima no tecido urbano adensado se dá com relação aos movimentos do ar. Os ventos, gerados a princípio por grandes deslocamentos de massas de ar através dos cinturões terrestres [176] e modificados no nível regional pelos acidentes geográficos [177], quando encontram as inúmeras barreiras físicas de que se constitui uma cidade, modificam-se completamente. Por isso, no nível dos microclimas urbanos é necessário conhecer algumas dessas alterações, chamadas de efeitos de vento lembrando, no entanto,que não ocorrem isoladamente como um modelo de laboratório.

- Efeito Barreira – é causado quando há um grande anteparo à passagem do vento, normalmente um prédio. O efeito só acontece quando este prédio tem as proporções aproximadas de 10m de largura, 30m de altura e comprimento maior que 240m. Este efeito gera um grande redemoinho na região imediatamente contígua ao lado a sotavento* do edifício e barra a circulação de ar para as regiões a sotavento. Pode ser minimizado com aberturas que tenham o comprimento de pelo menos de uma a duas vezes a altura do edifício.

---

[176] Ver o item Ventos do capítulo 4.1
[177] Ver o item Topografia do capítulo 4.1

- Efeito Venturi – é um fenômeno gerado pelo estrangulamento do fluxo de vento em um local onde a largura se estreita (garganta ou funil). O afunilamento obtido através de blocos curvos tende a aumentar o efeito venturi. Este grande aumento do fluxo das correntes de ar nesses locais de estrangulamento pode ser indesejável, dependendo da intensidade. Criá-lo ou evitá-lo deve ser uma escolha de projeto, configurado através do desenho.
- União de zonas de pressão diferentes – Efeito formado quando há um conjunto de blocos dispostos ortogonalmente ao vento dominante e defasados. Com isto, formar-se-ão entre os blocos, regiões de alta e baixa pressão. Isso faz com que surjam fluxos de ar paralelos aos blocos, tendendo sempre da zona de alta para a zona de baixa pressão. Também nestes casos, esse efeito deve ser uma escolha de projeto e não uma surpresa desagradável.
- Efeito de malha – Acontece numa zona interiorizada, criada entre blocos em "C", protegida de ventos externos. Esta zona pode ficar protegida dos ventos externos, desde que as aberturas não excedam a uma área de 25% em relação aos fechamentos. Desta forma os ventos dominantes passarão por cima destas zonas protegidas. Este efeito pode ser muito problemático nas regiões quentes-úmidas e muito bem-vindo em regiões frias. Cabe ao arquiteto ter em mente que a ventilação só acontece quando são criadas aberturas entre os blocos em uma proporção maior do que ¼ dos fechamentos.
- Efeito pilotis – Fenômeno que acontece quando há uma ligação entre as zonas de alta e baixa pressão por sob o corpo do edifício, criando uma região de grande fluxo de ar. Numa região fria, um pilotis onde ocorra este efeito de vento pode se tornar um lugar desagradável. Nesse caso, a redução do pé-direito no pilotis pode minimizar este efeito.
- Efeito de canto – Acontece quando há uma ligação entre uma fachada em alta e outra em baixa pressão na aresta do edifício, criando uma região de grande fluxo de ar. Este aumento de fluxo pode ou não ser problemático dependendo do local e aumenta com a altura dos edifícios e com a forma mais compacta. Uma solução para quebrar o efeito e deixar uma aresta mais recortada na junção das duas fachadas em pressões diferentes.
- Efeito de canalização - É o chamado corredor de vento, e acontece quando o corredor formado tem a largura menor que três vezes a altura média. Este efeito pode ser minimizado com a redução na altura das barreiras laterais e potencializado com o aumento das mesmas.
- Efeito de pirâmide – É formado quando o fluxo de ar encontra um edifício escalonado que pela sua forma, não oferece grande resistência à passagem do vento e, portanto

não altera o fluxo em seu entorno. Pode provocar pequenos redemoinhos no nível do solo.

- Efeito Wise – Caracteriza-se como um rolo turbulento formado na fachada de alta pressão, na parte baixa desta face (base do edifício), de baixo para cima. No nível do solo esses rolos turbulentos causam incômodos e chegam a levantar objetos leves. Este efeito se acentua se houver uma barreira ou uma outra construção mais baixa antes da fachada a barlavento*. Nesse caso, o projeto pode tentar aumentar ou minimizar este efeito através dessa barreira colocada antes da fachada exposta ao vento.
- Efeito Esteira – Este efeito se dá através da formação de redemoinhos horizontais acima do solo na fachada em baixa pressão, criando uma zona turbulenta. A forma do edifício pode ser trabalhada para evitar este efeito, se este for o caso.

03 – Pontos a serem considerados no projeto

O arquiteto deverá ter consciência de todos os aspectos relativos ao entorno construído que afetam os componentes naturais do lugar. Desta forma ele poderá ajudar seu cliente na escolha de um terreno que não sofra nenhum tipo de alteração significativa das condições bioclimáticas normais do lugar ou que, caso tenha alguma condição alterada pelo entorno, isso se dê de maneira positiva.

Mesmo já com o terreno definido, é importante o arquiteto ter em mente todos os fatores de influência do entorno na edificação para que possa, no seu projeto, minimizar as condições desfavoráveis e potencializar aquelas que são favoráveis do ponto de vista ambiental, principalmente com relação à ventilação natural. Se os impactos causados pelo entorno são, de forma geral, negativos com respeito à temperatura e à umidade, a utilização de vegetação arbórea no nível do solo pode ser um aliado importante pelo que já foi exposto.

Os efeitos causados pelo entorno sobre a circulação de ar devem ser entendidos como modelos teóricos. Assim situações reais de comportamento de ventos em um ambiente urbano denso, raramente serão definidas por um dos modelos apresentados durante todo o tempo. Além disso, as alterações causadas pelo vento nas imediações da edificação devem ser lembradas nos momentos iniciais do projeto, quando se pensa na implantação da edificação ou das edificações. Os efeitos de vento devem ser pensados tanto em um sentido, no impacto causado pelo entorno sobre a edificação projetada, como no outro, no impacto gerado pela edificação sobre o entorno. Desta forma o arquiteto terá condições para contribuir com o seu projeto para o microclima urbano que o envolve.

Com relação à influência do entorno na incidência de sol na edificação, o arquiteto pode utilizar o processo gráfico, mesmo que de maneira mais informal, através de um croqui, para determinar o seu grau. No caso de barreiras situadas a Leste e a Oeste, onde o sol passa mais baixo, essas barreiras podem ter grande influência determinando um isolamento da edificação em relação ao sol no começo da manhã e no final da tarde. (Fig. 4.1.14)

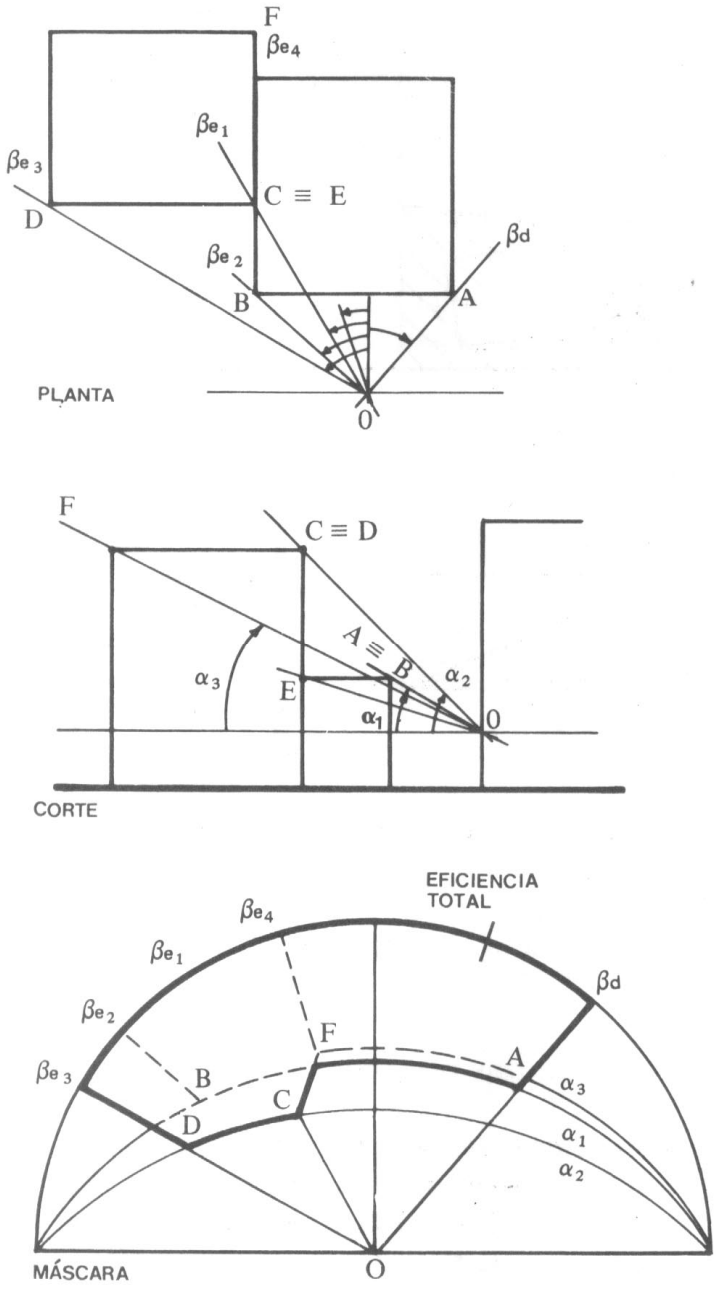


Figura 4.1.14 – Máscara produzida por obstáculos externos à abertura
Fonte: (FROTA; SCHIFFER, 1995)

4.2 . Considerações de Uso

Que as salas de jantar de inverno e salões de banho estejam voltados para o ocidente invernal, isso porque, nesses ambientes, é necessário valer-se da luz vespertina, e também porque o sol poente, atingindo-os diretamente com seu brilho e emitindo calor, matem esses locais tépidos ao anoitecer. (...) Salas de jantar para serem usadas durante o verão devem estar voltadas para o norte, porque essa orientação durante o solstício não permanece, como as outras, tórrida por causa do calor, e, por esse motivo, por estarem numa posição contrária ao curso do sol, estão sempre refrigeradas, prestando-se à saúde e ao prazer durante o uso, assim como pinacotecas, oficinas de pintura e tecelagem, a fim de que seus materiais coloridos, graças à constância da luz, mantenham suas qualidades inalteradas.

(Marco Vitrúvio Polião)

Mais uma vez, Vitruvio mostra, não só o quão antiga é a tentativa de se estabelecer uma metodologia da arquitetura que leva em conta os usos que terá a edificação, mas também a relação entre esses usos e o ambiente natural. O que se pretende nesse segundo módulo da metodologia é contrapor alguns fundamentos de projeto que se relacionam ao mesmo tempo com questões funcionais e também com o consumo de energia e água na edificação.

As discussões se relacionam com a necessidade do arquiteto ter conhecimento de certos princípios científicos relacionados ao o uso que acontecerá na edificação e sua influência na eficiência ambiental. Conhecer como uma edificação é utilizada, como serão desenvolvidas as atividades que terão uso nos espaços construídos é fundamental para o arquiteto ter condições de determinar as exigências de correção climática passiva e ativa e, por isso, de consumo energético. Uma edificação com alto grau de ocupação humana poderá criar a necessidade de um sistema de resfriamento ativo, mesmo que esteja localizada num clima frio.

4.2.1 . Setorização funcional

01 – Influência na eficiência ambiental

A setorização funcional em função das condições ambientais do lugar é crucial na tentativa de minimizar gastos energéticos. A opção de alocar um espaço com maior fluxo de usuários em uma área da edificação mais sujeita aos rigores climáticos pode determinar um aumento do consumo e energia elétrica como equipamentos de correção climática.

02 – Embasamento

De posse dos dados sobre as condições climáticas do local, são determinadas quais as áreas sujeitas a maior carga térmica por radiação, as que a recebem em níveis intermediários e até mesmo aquelas áreas onde não há incidência alguma da radiação solar, direta ou difusa. De maneira análoga, podem ser determinados setores mais ou menos expostos aos ventos, umidade, chuvas e demais fatores climáticos externos.

Do ponto de vista do uso, os espaços arquitetônicos podem ser divididos, grosso modo, em espaços de permanência prolongada, espaços de curta permanência e espaços de transição ou de circulação. Os espaços a serem projetados devem ser imaginados desde início como pertencendo a um destes grupos para que escolhas possam ser feitas no sentido de priorizar a condição de exposição aos fatores climáticos em alguns espaços, em relação a outros.

Os espaços de permanência prolongada são os quartos e as salas, em uma residência, e os escritórios, em um espaço de trabalho; em um espaço comercial, a área de exposição dos produtos ou de atendimento ao cliente; em uma edificação industrial são as áreas que abrigam os equipamentos e maquinários, os refeitórios e os escritórios; em um hotel ou em um hospital são os quartos; em uma escola, as salas de aula, e assim por diante. Estes espaços devem ser privilegiados em relação às condições climáticas, pelo grau de permanência dos usuários. Espaços de curta permanência são normalmente banheiros, cozinhas, áreas de serviço, áreas de limpeza, depósitos. Estes espaços podem ter uma posição intermediária na hierarquia de privilégios em relação às condições de climatização natural. Os espaços de transição são espaços que tem a função de ligar um espaço de permanência a outro e por isso são também chamados espaços de circulação. Estes espaços pelo reduzido grau de permanência dos usuários em seu interior podem ser colocados em posição menos privilegiada na relação com os elementos climáticos externos.

Em cada situação climática específica, deverá ser estabelecido o que exatamente significa ter uma posição privilegiada ou não dentro da setorização funcional do projeto. Há

situações em que privilegiar um espaço pode significar expô-lo mais às condições externas que agem sobre a edificação. Em outras circunstâncias, ao contrário, proteger um espaço com a mesma função e, portanto com o mesmo nível de hierarquia funcional em relação à permanência dos usuários pode ser mais importante. Isto significa que é necessário, após a distinção de níveis de permanência, estabelecer quais as condições de climatização natural e sistemas passivos desejáveis para o lugar e então fazer valer a relação de prioridades no sentido de interiorizar ou exteriorizar cada espaço funcional do projeto. Nem sempre é possível dotar todos os espaços com condições ideais com relação aos elementos do clima, e por isso mesmo há a necessidade de elencá-los dentro de uma ordem lógica.

03 – Pontos a serem considerados no projeto

O arquiteto deve tentar criar, principalmente em projetos de maior complexidade funcional um sistema matricial em que confronte, num sentido, os espaços solicitados pelo programa por ordem de grau de permanência dos usuários e, no outro, as diferentes possibilidades de setorização física por ordem de favorecimento em relação às condições climáticas. Desta forma o arquiteto tem condições de operar mais facilmente no momento de determinar escolhas de projeto com relação à setorização funcional como foi descrito.

4.2.2 . Controle térmico humano

01 – Influência na eficiência ambiental

Os limites existentes nos mecanismos humanos de termo-regulação determinam a utilização ou não de equipamentos elétricos de controle de temperatura, umidade e ventilação.

02 – Embasamento

O homem, como animal homeotérmico, consegue manter sua temperatura interna variando dentro de estreitos limites próximos dos 37°C, o que pode ser considerado para fins práticos como praticamente estável.[178]Este controle rígido da temperatura interna, imprescindível ao bom funcionamento dos processos metabólicos humanos se faz através de um aparelho termorregulador que comanda ações de ganho e perda de calor do corpo humano em relação ao meio.

[178] Essa temperatura varia de 36,1 a 37,2°C normalmente. Os limites para sobrevivência do homem são 32°C como limite mínimo e 42°C como limite máximo. Cf. FROTA; SCHIFFER (1995)

Quando o ambiente está mais frio e o organismo tende a perder calor, o organismo reage através do sistema nervoso ativando alguns mecanismos para minimizar essas perdas. O primeiro mecanismo a ser ativado é a contração automática dos vasos capilares periféricos, próximos da pele e a dilatação dos vasos sanguíneos próximos dos órgãos internos se dilatam. Desta forma a temperatura da epiderme tende a diminuir, tentando se igualar à temperatura externa e, por conseguinte diminuir as perdas de calor para o meio, ao passo que o maior fluxo interno tenta aumentar a produção de calor para compensar as perdas. Outro mecanismo é o arrepio que além de provocar um movimento muscular epidérmico que aquece a pele por atrito, ao eriçar os pelos tenta minimizar as perdas de calor por convecção. O último desses mecanismos é o aumento do metabolismo (termogênese) que pode ser sentido através do tremor dos músculos. Essa atividade extra gera calor internamente no organismo para compensar as perdas caloríficas.

No sentido contrário, quando o meio está muito quente, o organismo tenta aumentar as perdas de calor através da dilatação dos vasos capilares periféricos e da contração dos vasos internos. Há também uma redução automática das taxas de metabolismo (termólise), de forma a minimizar a geração de calor dentro do organismo. O mecanismo mais importante para proporcionar perdas de calor, entretanto é a produção de suor. Os poros da pele produzem o suor que ao ser evaporado faz com que o corpo perda calor para o meio.

Existem limites de temperatura e umidade dentro dos quais o aparelho termorregulador consegue manter a temperatura interna do organismo constante. Quando os limites são extrapolados dentro de uma certa margem de temperatura e umidade, o ser humano não sente a necessidade de ajuda para manter sua temperatura. Essa margem normalmente é tratada como sendo uma zona de conforto, estabelecida por limites máximos e mínimos de temperatura e umidade. Esses limites não são totalmente precisos, uma vez que a noção de bem-estar é subjetiva. Vários estudos foram feitos no sentido do estabelecimento desses limites, dentre os quais se destaca o trabalho de Fanger [179]. A chamada zona de conforto representa um modelo científico, criado a partir da avaliação de pessoas de idades, sexos e nacionalidades distintos. Esta zona representa uma margem de condições climáticas dentro da qual há maiores possibilidades matemáticas de que os usuários se sintam confortáveis a ponto de não recorrer a mecanismos de controle passivo de temperatura e umidade. A carta bioclimática desenvolvida por Givoni e apresentada por Lamberts [180] apresenta as seguintes condições para a zona de

[179] Cf. FANGER (1972)
[180] LAMBERTS, Et Al, (2004: 106)

conforto: umidade relativa entre 20 e 80%, temperatura de bulbo seco entre 18°C e 29°C, e umidade absoluta entre 4 e 7 g/Kg.

A termorregulação representa um processo que exige esforço por parte do organismo e, portanto, representa gasto energético e queda da potencialidade de trabalho. A fadiga metabólica pela qual o ser humano passa todos os dias, chamada de catabolismo, envolve não só a fadiga física-muscular e a fadiga nervosa, mas também a fadiga termo-higrométrica, resultante do excesso de trabalho do aparelho termorregulador nesse período.

03 – Pontos a serem considerados no projeto

É importante para o arquiteto, conhecer os limites da chamada zona de conforto, não porque ela representa um estado absoluto de bem-estar no qual os usuários dos espaços não irão com absoluta certeza utilizar equipamentos de correção do clima. Mas porque se trata de um modelo que serve de referência básica para o arquiteto saber em que períodos do ano o clima de uma determinada localidade apresenta condições mais ou menos favoráveis. Além disso, com o auxilio das cartas bioclimáticas [181] específicas da localidade, poderá verificar quais as medidas corretivas para que os limites de regulação térmica consigam ser mantidos a fim de evitar o consumo de energia.

4.2.3 . Geração de calor pelo homem

01 – Influência na eficiência ambiental

As trocas térmicas entre o homem e o meio não influenciam simplesmente a sensação de bem estar e o conseqüente uso de mecanismos de correção de temperatura e umidade, como foi mostrado. Uma vez que o ser humano perde calor para o meio, em certos casos, essa troca de energia poderá representar um aumento de temperatura e umidade significativo a ponto de determinar um aumento do consumo de energia.

02 – Embasamento

As trocas de calor entre o ser humano e o meio se dão de várias formas. O homem ganha calor do meio por condução, convecção e radiação e, por sua vez, perde calor para o meio pelos mesmos processos e também pela evaporação do suor.[182] Além dos mecanismos termorreguladores, o ser humano pode gerar calor para o meio, através dos quatro processos

[181] Idem, (2004: 104 – 148)
[182] Estes processos físicos de trocas térmicas serão mais detalhados no capítulo seguinte.

mencionados, devido a sua atividade metabólica excessiva. Esse aumento do metabolismo está relacionado com o nível de atividade dos órgãos internos e dos músculos.

Ao efetuar um determinado trabalho mecânico, os músculos se contraem, o que produz calor. A quantidade de calor liberada depende, portanto do tipo de trabalho desenvolvido pelo indivíduo. A variação na quantidade de calor gerada para o meio é muito significativa, chegando facilmente a dez vezes. (Fig. 4.2.1)

No entanto é necessário explicitar que parte desse ganho térmico fornecido ao meio se dá na forma de calor sensível* e parte como calor latente*. Assim qualquer sistema passivo ou ativo de climatização deverá considerar a energia necessária para retirar o ganho térmico sensível gerado pela atividade do usuário, e que reduzirá a temperatura, e o ganho térmico latente que foi transmitido ao meio, o que reduzirá a umidade gerada. Se o sistema projetado somente diminuir a temperatura, a umidade relativa irá subir, causando enorme desconforto. Os sistemas ativos de refrigeração são calculados com uma energia extra, o calor latente, para condensar parte do vapor presente no ar reduzindo a umidade, e eliminando essa possibilidade de desconforto. Os sistemas passivos que envolvem a ventilação natural conseguem resfriar e diminuir a umidade a um só tempo porque fazem uso da ventilação.

03 – Pontos a serem considerados no projeto

O arquiteto deverá sempre levar em conta o calor gerado nos ambientes em função da atividade que ali será desenvolvida. De posse desse conhecimento ele poderá prever melhores condições de dissipar o calor de espaços que ao mesmo tempo reúnem muitas pessoas e em que estas realizarão algum tipo de esforço físico. Os dois fatores combinados, um grande número de indivíduos e a realização de atividades físicas intensas, são capazes de aumentar sobremaneira não só a temperatura, mas também os níveis de umidade de um local. Isto porque a maior parte das perdas de calor para o meio no ser humano em atividade física se dá através da evaporação do suor. Assim o arquiteto precisa estar ciente também da necessidade de diminuir a umidade nesses locais o que se dá principalmente através da ventilação abundante. Com relação aos ganhos térmicos, o arquiteto precisa saber então que tipo de atividade e qual a densidade que terão os espaços arquitetônicos.

Atividade	Calor Metabólico	Calor Sensível	Calor Latente
durante o sono (basal)	80	40	40
sentado, em repouso	115	63	52
em pé, em repouso	120	63	57
sentado, cosendo à mão	130	65	65
escritório (atividade moderada)	140	65	75
em pé, trabalho leve	145	65	80
datilografando rápido	160	65	95
lavando pratos	175	65	110
confeccionando calçados	190	65	125
andando	220	75	145
trabalho leve, em bancada	255	80	175
garçon	290	95	195
descendo escada	420	140	280
serrando madeira	520	175	345
nadando	580	-	-
subindo escada	1280	-	-
esforço máximo	870 a 1400	-	-

Figura 4.2.1 – Tabela de calor gerado pelo homem
Fonte: (FROTA; SCHIFFER, 1995)

4.2.4 . Geração de calor pelos equipamentos

01 – Influência na eficiência ambiental

Qualquer equipamento elétrico ou mecânico produz calor para o meio como subproduto de sua atividade principal, aumentando a temperatura ambiente. Esses ganhos térmicos precisam ser administrados para que não criem a necessidade de um outro equipamento para retirar o seu calor, aumentando a necessidade de consumo de energia.

02 – Embasamento

Os equipamentos utilizados em um espaço produzem calor na medida em que parte da energia elétrica é convertida na atividade principal que ele desempenha, normalmente em energia mecânica, e parte é transforma em energia térmica e dissipada para o ambiente.

As taxas de geração de calor de um equipamento para um espaço estão relacionadas a quatro fatores principais: o tipo de equipamento, sua eficiência, a quantidade de equipamentos utilizados e a freqüência de utilização. Aparelhos mecânicos e que têm algum tipo de resistência geram muito calor como, por exemplo, bombas, motores, aquecedores de água. O aspecto da eficiência normalmente está associado ao tempo de uso e à idade da concepção do aparelho. Equipamentos com muitas horas de uso vão ficando cada vez menos eficientes e gerando cada vez mais calor. Equipamentos conceitualmente mais obsoletos são menos eficientes, o que significa que gastam maior quantidade de energia elétrica sendo dissipada na forma de calor. No mundo inteiro há classificações e padrões de exigência para que os equipamentos produzidos sejam cada vez mais eficientes. No Brasil, o INMETRO classifica há alguns anos a eficiência dos aparelhos, principalmente eletrodomésticos, agrupando-os em ordem decrescente de eficiência de A até G. (Fig. 4.2.2)

03 – Pontos a serem considerados no projeto

Ao arquiteto cabe especificar, quando for sua função, equipamentos modernos com garantia de eficiência, que trará o duplo benefício do menor consumo de energia e da menor geração de calor para os espaços internos. Além disso, o arquiteto deverá ter em mente que alguns equipamentos, por mais eficientes que sejam, geram calor para o espaço como conseqüência intrínseca de sua natureza. Nestes casos o arquiteto deverá se certificar a respeito da localização desses equipamentos a fim de garantir-lhes ventilação suficiente para que não criem um ganho adicional de calor nos espaços funcionalmente mais importantes.

	Ganho térmico, W/m²		Ganho térmico, Btu/h, pé²	
Tipo de edificação	baixo	alto	baixo	alto
Mercantil e Vendas	10	17	3	5
Escritórios	10	17	3	5
Locais de reunião	4	7	1	2
Depósitos	8	13	2	4
Restaurantes	31	52	10	16
Ensino	14	23	4	7
Armazéns, quitandas	24	42	8	13
Hospedagem	10	17	3	5
Residencial	3	6	1	2

Figura 4.2.2 – Tabela de calor gerado por equipamentos
Fonte: (BROWN; DEKAY, 2004)

4.2.5 . Necessidade luz

01 – Influência na eficiência ambiental

A necessidade de iluminação está diretamente relacionada com o tipo de atividade desenvolvida. Tanto a iluminação natural quanto a artificial deverão atender a requisitos mínimos para determinados usos. A falta de conhecimento sobre esses padrões pode levar a um excesso de iluminação tanto durante o dia como durante a noite, com conseqüente desperdício de energia elétrica.

02 – Embasamento

A necessidade de luz varia de acordo com a natureza da atividade desempenhada. Cada atividade humana realizada dentro de um espaço necessitará de uma quantidade de luz específica.

Uma maior iluminação é necessária para "atividades de maior dificuldade, maior duração, menor contraste, maiores riscos e menores escalas; as pessoas mais velhas também necessitam de mais luz." [183]

O conhecimento sobre esses valores de iluminância para cada atividade ajuda o dimensionamento correto da iluminação natural, evitando a necessidade de utilização de luz artificial durante o dia. Mesmo a iluminação artificial, indispensável para que os espaços tenham uso à noite, depende desse conhecimento, uma vez que podem facilmente ser superdimensionadas. As duas situações determinam gastos excessivos com energia durante o dia e a noite. (Fig. 4.2.3)

03 – Pontos a serem considerados no projeto

O arquiteto deve sempre que possível potencializar o uso da luz natural, dimensionando corretamente as aberturas para que proporcionem um ganho satisfatório de luz para a atividade que será desenvolvida naquele local. [184]

Nas horas onde a luz natural é fraca ou inexistente, a luz artificial é necessária. Nesse ponto, o arquiteto também precisa conhecer maneiras de aumentar a eficiência da iluminação artificial, através de conceitos como a iluminação de tarefa, eficiência de luminárias, e outros mais que foram discutidos no capítulo 3.1, específico sobre iluminação artificial.

---

[183] BROWN; DeKAY (2004)

[184] Sobre a iluminação natural, falar-se-á mais no capítulo 4.4.

Faixas	Iluminância	Tipo de atividade
Faixa A Iluminação geral para áreas usadas interruptamente ou com tarefas visuais simples	20	Áreas públicas, com arredores escuros
	30	
	50	
	50	Orientação simples para permanência curta
	75	
	100	
	100	Recintos não usados para trabalhos contínuos: depósitos
	150	
	200	
Faixa B Iluminação geral para área de trabalho	200	Tarefas com requisitos visuais limitados: trabalho bruto de maquinaria, auditórios
	300	
	500	
	500	Tarefas com requisitos visuais normais: trabalho médio de maquinaria, escritórios
	750	
	1.000	
	1.000	Tarefas com requisitos especiais: gravação manual, inspeção industrial de roupas
	1.500	
	2.000	
Faixa C Iluminação adicional para tarefas visuais difíceis	2.000	Tarefas visuais exatas e prolongadas: relógios, eletrônica de tamanho pequeno
	3.000	
	5.000	
	5.000	Tarefas visuais muito exatas: montagem de microeletrônica
	7.500	
	10.000	
	10.000	Tarefas visuais muito especiais: cirurgia
	15.000	
	20.000	

Figura 4.2.3 – Tabela com valores de iluminância por atividade
Fonte: (ALMEIDA, 1996)

4.2.6 . Geração de calor pela iluminação

01 – Influência na eficiência ambiental

A iluminação, como os demais equipamentos elétricos, gera calor para o ambiente como subproduto de sua função principal de gerar luz. Esse calor a mais gerado nos ambientes em função da iluminação, em certos casos cria a necessidade de resfriamento artificial e por isso deve ser evitado.

02 – Embasamento

O calor gerado por um sistema de iluminação depende basicamente de dois fatores: o nível de iluminação e a eficiência do sistema. Quanto maior o nível de iluminação, maior o calor gerado. Da mesma forma que acontece com os equipamentos elétricos de forma geral, os sistemas de iluminação mais novos são cada vez mais eficientes. Tanto as lâmpadas como as luminárias buscam aumentar a capacidade de iluminar gerando cada vez menos calor para o ambiente. Também como foi dito para os equipamentos elétricos, a eficiência dos sistemas de iluminação representa um ganho duplo, na medida em que reduz o consumo de energia e reduz os ganhos térmicos.

03 – Pontos a serem considerados no projeto

É importante para o arquiteto conhecer em primeiro lugar os níveis de iluminação necessário para cada atividade que será desempenhada a fim de evitar a geração de calor devido ao excesso de luminárias e lâmpadas. Igualmente importante é, na hora das definições mais pormenorizadas do projeto, conhecer os sistemas de iluminação mais eficientes de maneira a evitar desperdícios. (Fig. 4.2.4)

Tipo de luminária		Eficácia térmica (btu/h, pé², pv)
Vapor metálico		0,082
Vapor de sódio, alta pressão		0,063
Vapor metálico, compacta		0,102
Vapor de mercúrio		0,136
Fluorescente longa	Antiofuscamento	0,122
	Direta	0,124
	Calha com aletas	0,136
	Indireta, com calha refletiva	0,164
	Forro luminoso	0,164
Fluorescente compacta	Direta	0,163
	Direta, embutida	0,211
	Difusa	0,234
Halogênio	Direta	0,332
	Direta, embutida	0,430
	Difusa	0,476
Incandescente Tungstênio Halogênio	Direta	0,665
	Direta, embutida	0,860
	Difusa	0,952

Figura 4.2.4 – Tabela com geração de calor por luminária
Fonte: (BROWN; DEKAY, 2004)

4.2.7 . Circulações verticais

01 – Influência na eficiência ambiental

Os elevadores são grandes consumidores de energia elétrica em uma edificação vertical. Apesar do desenvolvimento de sistemas eletrônicos de otimização do consumo, ainda é necessário que o número de equipamentos seja muito bem dimensionado a fim de que sejam evitados grandes desperdícios.

02 – Embasamento

Em uma edificação residencial vertical com sistema coletivo de aquecimento solar de água – e por isso sem chuveiros nos apartamentos – o consumo de energia com elevadores

pode chegar a 15% de todo o consumo do prédio. Os elevadores normalmente são movidos por motores trifásicos, com consumo de aproximadamente 10KW [185], localizados no alto dos prédios, dentro das chamadas casas de máquinas.

O consumo de energia elétrica em prédio em função dos elevadores está relacionado, em primeiro lugar, com o número de aparelhos, o qual deve ser dimensionado de acordo com o número de usuários. Em seguida, com o tipo de atividade e o número de paradas (andares). O consumo também irá variar consideravelmente em função da altura do prédio e da necessidade de velocidade de transporte. Elevadores utilizados em torres verticais de grande porte podem ter o consumo de mais de 30KW.

Soluções para a diminuição do consumo de energia com elevadores são comuns em grandes edifícios mas podem ser trabalhadas em todos os níveis de projeto. Existem sistemas com elevadores de paradas alternadas por andar, o que depende essencialmente do gerenciamento dos aparelhos. Existem soluções de projeto como circulações horizontais em andares intercalados, o que reduz pela metade o número de paradas de um elevador em edifícios verticais. Além disso, sistemas mais modernos de automação predial definem o trafego de elevadores em função da demanda (horários de pico), desligando ou ligando aparelhos em horários determinados. [186]

03 – Pontos a serem considerados no projeto

O arquiteto precisa, desde as fases iniciais do projeto, dimensionar corretamente o número de usuários da edificação a fim de evitar transtornos causados pelo excesso de espera de elevadores e principalmente para evitar desperdícios de energia com número excessivo de aparelhos. Isso será mais significativo em edificações de grande porte, com número elevado de usuários, onde o número de elevadores a ser utilizado deve ser muito bem pensado. Hoje, as empresas de elevadores disponibilizam para os arquitetos e engenheiros, através de CD-ROM ou de suas páginas na internet, programas que ajudam o dimensionamento do número de aparelhos em função das variáveis do projeto.

Além disso, o arquiteto deve sempre estudar a possibilidade de reduzir o número de paradas dos elevadores através de artifícios de projeto, o que reduz consideravelmente o consumo de energia de um condomínio vertical.

---

[185] O que equivale, grosso modo, a três chuveiros.
[186] Sobre automação predial, ver capítulo 3.4.

4.3 . Considerações dos Materiais e Sistemas de Construção

Nesse terceiro módulo, serão abordados basicamente alguns fundamentos da técnica que influenciam a eficiência ambiental da edificação. O objetivo é, como nos demais módulos, introduzir preocupações com relação ao uso racional de energia elétrica e água dentro de alguns princípios básicos de projeto. Princípios esses, que normalmente são considerados principalmente nas fases iniciais do projeto.

Inicialmente serão analisados alguns aspectos relacionados aos materiais de construção, principalmente suas propriedades físicas – obviamente aquelas que interessam à eficiência ambiental da edificação. A análise das propriedades dos materiais de construção objetiva criar uma série de parâmetros analíticos objetivos para fundamentar escolhas para um projeto ambientalmente eficiente.

Depois será analisado o consumo energético e de água nos sistemas de construção. Quanto a isso, a preocupação com a eficiência ambiental se dará através de uma leitura mais ampla do consumo de energia elétrica e água na edificação. Esse gasto será tomado em todo os processos anteriores ao uso da edificação, desde a fabricação dos materiais, seu transporte até a obra, e os processos de construção. Também serão avaliados os processos posteriores ao uso da edificação, no que diz respeito à eficiência ambiental durante a demolição e desmonte.

4.3.1 . Trocas térmicas

01 – Influência na eficiência ambiental

As trocas térmicas que acontecem entre o interior e o exterior da edificação, através de suas superfícies externas, determinam seu comportamento térmico, que são os ganhos de calor. É por meio desses mecanismos que uma edificação consegue se manter numa temperatura razoável ou não, o que determina a utilização de equipamentos elétricos de correção de temperatura os quais, por sua vez, também operam através de trocas térmicas.

02 – Embasamento

O calor pode ser entendido como uma forma de energia que se transfere de um corpo para outro, graças à diferença de temperatura entre eles. Existem basicamente quatro processos de troca ou transferência de calor:

- Condução – É o processo que ocorre quando existe um fluxo de calor através do material pelo contato das moléculas mais quentes com as menos quentes sem que elas se movam. Ocorre dentro de um material sólido ou quando duas superfícies entram em contanto.
- Convecção – É o processo em que o calor é transmitido através do fluxo de moléculas de um lugar para outro com mudança do conteúdo de calor. Ocorre quando uma camada de ar entra em contato com uma superfície sólida, por exemplo.
- Radiação – É a transferência de calor através de ondas eletromagnéticas. Como já foi visto, podem ter comprimentos de onda diferentes: mais curtas como a radiação solar ou mais longas como a radiação emitida pelas superfícies aquecidas.
- Evaporação/condensação – É a transferência de calor com mudança de estado. É o principal mecanismo através do qual o ser humano perde calor para o meio.

Fisicamente falando, o calor transferido de um corpo para outro é dividido conceitualmente em dois tipos distintos. O calor sensível é aquele que quando transferido de um corpo para o outro envolve mudança de temperatura, e o calor latente é aquele calor adicional necessário na transferência de um corpo para o outro para que haja mudança de estado físico

03 – Pontos a serem considerados no projeto

O arquiteto deve sempre ter em mente a forma pela qual o calor é transferido nas edificações. Será graças a esse conhecimento que ele poderá operar positivamente no sentido de aumentar as trocas térmicas ou diminuí-las através do seu projeto.

4.3.2 . Condutividade e Resistência

01 – Influência na eficiência ambiental

A capacidade de um material em conduzir calor através de si é fundamental na determinação das trocas térmicas de uma edificação por condução. Uma superfície que conduz o calor muito bem ou muito mal pode decretar o uso de aparelhos de climatização artificial.

02 – Embasamento

A condutividade é a propriedade física de um material que determina o fluxo de calor que durante um certo tempo passa por condução através de uma material de uma determinada área e de uma espessura unitária, devido a uma diferença de temperatura unitária. Cada material tem seu coeficiente de condutibilidade térmica, representado pela letra λ e medido em W/m² ºC no sistema métrico. A recíproca da condutibilidade de um material é sua resistência térmica, ou seja, sua capacidade de resistir a passagem de calor por condução. A resistência é representada pelo inverso da condutibilidade - $1/\lambda$ - e é medida em m² ºC/W.

A condutividade ou resistência de uma determinada superfície não depende, portanto de sua espessura, uma vez que o coeficiente de condutibilidade térmica que os define depende da natureza do material. Este coeficiente depende basicamente dos seguintes fatores: a densidade do material, a sua constituição química e seu nível de umidade. Um material mais denso tem maior coeficiente de condutividade e menor resistência do que um menos denso (poroso). No que diz respeito a natureza química, um material mais amorfo é menos condutor do que um outro mais cristalino. Do ponto de vista da umidade, como a água é melhor condutora térmica do que o ar, os materiais mais úmidos têm maior coeficiente de condutibilidade do que os mais secos, que têm maior resistência.

O coeficiente de condutividade térmica λ varia de acordo com a temperatura mas "para as faixas de temperatura correntes na construção, pode ser considerado como uma característica de cada material." [187]

03 – Pontos a serem considerados no projeto

O arquiteto não precisa calcular ganhos térmicos através das paredes devido à condutividade dos materiais, até mesmo porque esses cálculos, mesmo quando feitos a posteriori, são apenas aproximações. É importante, no entanto, que o arquiteto saiba, mesmo

[187] FROTA; SCHIFFER (1995)

antes de começar a elaboração do projeto, que existem alguns materiais que têm grande capacidade de condução térmica – normalmente chamados de bons condutores de calor – assim como existem materiais que tem grande resistência térmica, aqueles chamados maus condutores de calor. Após poucas consultas a essa lista, o arquiteto já estará familiarizado com alguns exemplos de materiais bons e maus condutores de calor para que possa explorar corretamente as propriedades físicas dos materiais de construção. (Fig. 4.3.1)

Material			Densidade (kg/m³)	γ (W/m.k)
Isolantes térmicos	lã de rocha		20 - 200	0,045
	lã de vidro		10 - 100	0,045
	poliestireno expandido moldado		15 - 35	0,04
	poliestireno expandido		25 - 40	0,035
	espuma rígida de poliuretano extrudado		30 - 40	0,03
	materiais granulares leves ou fibras soltas		20 - 100	0,05
Pedras (incluindo juntas de assentamento)	granito, gnaisse		2300 - 2900	3
	ardósia, xisto		2000 - 2800	2,2
	basalto		2700 - 3000	1,6
	calcários / mármore		> 2600	2,9
	outros		2300 - 2600	2,4
			1900 - 2300	1,4
			1500 - 1900	1
			< 1500	0,85
Material cerâmico	tijolo e terras de barro		1000 - 1300	0,7
			1300 - 1600	0,9
			1600 - 1800	1
			1800 - 2000	1,05
Concretos	Com agregados de pedra	normal	2200 - 2400	1,75
		cavernoso	1700 - 2100	1,4
	Com pozolana ou escória expandida	com finos	1400 - 1600	0,52
			1200 - 1400	0,44
		sem finos	1000 - 1200	0,35
	Com argila expandida dosagem cimento >300 kg/m³ e massa inertes > 350 kg/m³		1600 - 1800	1,05
			1400 - 1600	0,85
			1200 - 1400	0,7
			1000 - 1200	0,46
	Com argila expandida dosagem ciemnto < 250 kg/m³ e massa inertes < 350 kg/m³		800 - 1000	0,33
			600 - 800	0,25
			< 600	0,2
	Com argila expandida de vermiculite ou perlite expandida		600 - 800	0,31
			400 - 600	0,24
	Dosagem cimento / areia	dosagem 1/3	700 - 800	0,29
		dosaagme 1/6	600 - 700	0,24
			500 - 600	0,2
	concreto celular autoclave		400 - 500	0,17

Figura 4.3.1 – Tabela de materiais – condutibilidade térmica
Fonte: (LAMBERTS, 2004)

Material			Densidade (kg/m³)	γ (W/m.k)
Gesso	projetado ou de massa volumétrica elevada		1100 - 1300	0,5
	gesso tradicional; gesso cartonado		750 - 1000	0,35
	com agregado leve	dosagem 1/1	700 - 900	0,3
		dosagem 1/2	500 - 700	0,25
Metais	aço - ferro fundido		7800	55
	alumínio		2700	230
	cobre		8900	380
Materiais soltos	brita ou seixo		1000 - 1500	0,7
	argila expandida		< 400	0,16
	areia seca		1500	0,3
	areia saturada		2500	1,88
	palha (telhado Santa Fé)		200	0,12
Plásticos	borracha / poliamida / poliéster / polietileno		900 - 1700	0,4
	acrílicos / PVC		1200 - 1400	0,2
Madeiras e derivados	com massa volumétrica elevada		800 - 1000	0,29
	carvalho, freijó, pinho, cedro, pinus		600 - 750	0,23
			450 - 600	0,15
			300 - 450	0,12
	aglomerado de fibras de madeira	denso	850 - 1000	0,2
		leve	200 - 250	0,058
	aglomerado de partículas de madeira		650 - 750	0,17
			550 - 650	0,14
	placas prensadas		450 - 550	0,12
			350 - 450	0,1
	placas extrudadas		550 - 650	0,16
	compensado		450 - 550	0,15
			350 - 450	0,12
	aparas de madeira aglomerada com cimento em fábrica		450 - 550	0,15
			350 - 450	0,12
			250 - 350	0,1
Outros	chapa de vidro		2700	1,1
	imperm. com membranas betuminosas		1000 - 1100	0,23
	argamassa / reboco e assentamento de tijolos e blocos	comum	1800 - 2100	1,15
		placas de fibrocimento	1800 - 2200	0,95
			1400 - 1800	0,65

Figura 4.3.1 – Tabela de materiais – condutibilidade térmica (continuação)
Fonte: (LAMBERTS, 2004)

4.3.3 . Absortividade, Refletividade e Emissividade

01 – Influência na eficiência ambiental

As propriedades de um material de construção com relação às trocas térmicas por radiação são essenciais na determinação da eficiência térmica da edificação, principalmente quando a radiação solar é considerada, uma vez que esta representa a maior fonte de ganho térmico do planeta. A noção de absorção e reflexão da radiação solar também determina o aproveitamento de luz natural, aumentando sua importância para um edificação ambientalmente correta.

02 – Embasamento

Uma superfície qualquer, opaca, exposta à radiação, tem a capacidade de absorver parte desta radiação e refletir de volta uma outra parte. A propriedade térmica do material que o tornar capaz de absorver radiação é chamada absortividade do material e é representada pela letra α. A parcela de radiação que chega até a superfície e é foi refletida mostra a capacidade do material de refletir radiação e por isso é denominada refletividade do material e representada pela letra ρ. É importante salientar que toda a radiação que chega à superfície ou é absorvida ou refletida por ela, de modo que:

$$\alpha + \rho = 1$$

Com relação à radiação solar de ondas curtas, a refletividade e absortividade dos materiais dependem basicamente de sua cor, sendo que os mais escuros absorvem mais radiação e os mais claros refletem mais radiação. Uma superfície pode ser considerada um absorvedor perfeito se for perfeitamente negra e fosca e um refletor perfeito se for espelhada e brilhante.

Além da capacidade de absorver e refletir calor através de ondas eletromagnéticas, os materiais têm também a capacidade de emitir eles próprios radiação em comprimentos de ondas maiores. Quando um material se esquenta e transmite calor por radiação, essa capacidade é chamada de emissividade do material e representada pela letra ε. A emissividade de um material é sua capacidade de emitir energia radiante, radiação de ondas longas.

03 – Pontos a serem considerados no projeto

É importante que o arquiteto conheça a capacidade de um material de construção absorver ou refletir radiação principalmente em função do sol. A relação com as cores é

facilmente assimilável e estabelece uma hierarquia lógica para os momentos iniciais do projeto em que as cores externas da edificação começam a ser imaginadas na concepção projetual. Por isso mesmo, os dados com relação às cores e sua influência da capacidade em absorver e refletir dos materiais tem que ser considerados desde os primeiros esboços do projeto. (Fig. 4.3.2)

Igualmente importante é conhecer a capacidade dos materiais em emitir radiação de ondas longas. Isso permite ao arquiteto definir os materiais que comporão as superfícies internas das paredes e tetos que, de acordo com a necessidade de projeto, podem ter grande ou pequena emissividade. Este conhecimento permite também ao arquiteto escolher melhor os materiais ao redor da edificação para que mais ou menos radiação seja emitida em direção à edificação, definindo o albedo ao seu redor.

Há também um aspecto prático a ser observado no que tange a escolha de superfícies de alta refletividade e por isso mais claras. Nos casos de estarem expostas ás condições agressivas de poeira e outros elementos em suspensão no ar como ocorre nas grandes cidades, é necessária uma limpeza com alguma periodicidade mínima. Para que o cuidado no projeto seja mantido no decorrer do uso da edificação, o arquiteto deve se certificar da indicação desse serviço ao proprietário, principalmente com relação às superfícies horizontais mais expostas ao acumulo de pó e ao mesmo tempo mais expostas à radiação solar.

Material ou cor	Absortividade	Emissividade
Alumínio polido	0,05	0,05
Alumínio oxidado	0,15	0,12
Aço galvanizado polido	0,25	0,25
Alumínio pintado	0,5	0,5
Pintura branca	0,12	0,9
Pintura branca óleo	0,2	0,9
Pintura cinza clara	0,4	0,9
Pintura cinza escura	0,7	0,9
Pintura verde clara	0,4	0,9
Pintura verde escura	0,7	0,9
Pintura preta normal	0,85	0,9

Figura 4.3.2 – Tabela de materiais – absortividade e emissividade
Fonte: (GIVONI, 1976)

4.3.4 . Transmissividade

01 – Influência na eficiência ambiental

A capacidade maior ou menor de uma superfície translúcida em transmitir radiação solar diretamente é o fator determinante para geração do efeito estufa, que pode significar economia de energia com calefação nos países quentes e um consumo absurdamente alto de energia com condicionamento de ar em países quentes com grande incidência de radiação solar direta.

02 – Embasamento

As superfícies opacas transmitem calor por emissão de radiação de ondas longas, por condução e por convecção. As superfícies translúcidas, como por exemplo o vidro, além de transferirem calor dessas três maneiras, também transmitem diretamente a radiação solar. Isso ocorre devido ao fato de que parte da radiação solar atravessa diretamente uma superfície translúcida, o que faz com que essa seja a parcela mais significativa de calor transmitido para o interior através de um plano translúcido. Isto é facilmente imaginável ao se pensar na quantidade de calor que entra através de uma parede de tijolos e de um plano de vidro, sobre os quais o sol incide diretamente. A capacidade de um material em transmitir radiação solar através de si é chamada transmissividade e representada pela letra **T.**[188]

Os vidros transparentes estão entre as superfícies translúcidas com maior transmissividade. Vidros e outras superfícies translúcidas coloridas têm índices cada vez menores de transmissividade na medida em que suas cores vão ficando mais escuras e mais fortes (menos translúcido). Isso significa que uma parcela cada vez maior da radiação solar vai sendo absorvida na medida em que a cor da superfície vai escurecendo e ela vai ficando mais opaca. A adição de películas metalizadas aumenta a parcela de radiação refletida, e também diminui a transmissividade. Em ambos os casos, vale ressaltar, a quantidade de luz que entra diminui junto com a parcela de radiação que entra pela transmissividade da superfície.

03 – Pontos a serem considerados no projeto

O arquiteto deve estar bem embasado quanto à questão da transmissividade do vidro para pode fazer escolhas de projeto que permitam com que uma boa quantidade de luz entre através das superfícies translúcidas, mas que a parcela de radiação solar que entra diretamente através dela não se torne um inconveniente. (Fig. 4.3.3)

---

[188] As propriedades de uma superfície translúcida transmitir calor, serão analisadas todas em conjunto adiante.

Tipo de vidro		Fator solar
Lâmina única	Vidro comum transparente	0,86
	Vidro cinza sombra	0,66
	Vidro atérmico verde claro	0,6
	Vidro atérmico verde escuro	0,49
Vidro usado como proteção externa de vidro comum transparente	Vidro cinza sombra	0,45
	Vidro atérmico verde claro	0,39
	Vidro atérmico verde escuro	0,22

Figura 4.3.3 – Tabela de translúcidos – fator solar
Fonte: (FROTA; SCHIFFER, 1995)

4.3.5 . Calor específico, Capacidade Térmica e Densidade

01 – Influência na eficiência ambiental

A natureza física de um material na construção determina sua capacidade em acumular, transmitir ou isolar calor e, portanto, tem influência direta no comportamento térmico de uma edificação e conseqüentemente na utilização de energia elétrica.

02 – Embasamento

O calor específico é uma característica física do material definida pela quantidade de calor necessária para causar um incremento de temperatura unitário de uma unidade de massa desse material. Essa propriedade nos mostra como acontece a relação entre energia e temperatura em um determinado material. É simbolizada pela letra **C** e expressa em J/Kg ºC. O ar tem calor específico de 1.000 J/Kg ºC, ao passo que a água tem calor específico de 4.176 J/Kg ºC.

A capacidade térmica de um corpo é o produto da sua massa pelo seu calor específico. É representado pela letra **c** e expresso em J/ºC.

A densidade de um material é dada pela relação entre massa e volume. É simbolizada pela letra **ρ** e expressa em Kg/m³. Os materiais mais densos são aqueles que tem menor quantidade de ar internamente, ao passo que os materiais de menor densidade têm grande quantidade de ar em seu interior.

03 – Pontos a serem considerados no projeto

Calor específico, capacidade térmica e densidade são propriedade muito importantes como características inerentes dos materiais com relação às trocas de calor e incrementos de temperatura. É importante que o arquiteto tenha uma noção básica sobre essas características de alguns materiais mais comuns a fim de tirar maior proveito delas. (Fig. 4.3.4)

Material (em estado seco)	Peso específico (kg/m³)	Calor específico (kcal/kg deg C)
Concreto comum	2300	0,24
Argamassa	1800	0,24
Concreto leve	600	0,25
Tijolo	1800	0,22
Madeira	500	0,34
	800	0,34
Fibra de madeira isolante	230	0,35
	800	0,34
Feltro de lã de rocha	450	0,19
Poliestileno expandido	50	0,4

Figura 4.3.4 – Tabela de materiais – peso específico e calor específico

Fonte: (GIVONI, 1976)

4.3.6 . Fluxo térmico, Resistência e Transmitância

01 – Influência na eficiência ambiental

A taxa de calor que flui através de um material é responsável direta pelas trocas térmicas entre interior e exterior em uma edificação, determinando o uso de mecanismos de climatização artificial.

02 – Embasamento

O fluxo térmico é a taxa total de calor que atravessa uma determinada área de superfícies cujas faces inferior e exterior encontram-se em diferentes temperaturas. Esse coeficiente é a somatória das trocas de calor realizadas de uma superfície a outra, passando pelas várias camadas de materiais diferentes que compõe uma parede. O fluxo térmico é simbolizado pela letra **q** e expresso em W/m². As principais características que determinam o

fluxo térmico através de uma parede são: a cor externa, a resistência térmica e a capacidade térmica dos materiais.

A resistência térmica por condução já foi mostrada e ocorre dentro da parede como uma capacidade inversa da condutibilidade do material. A resistência a condução térmica pode ser expressa como **R** e é dada pela razão entre a largura do material pelo seu coeficiente de condutibilidade **λ**.

No entanto há também uma resistência na superfície externa ao ganho de calor por radiação e convecção. Esse fator é chamado de resistência superficial externa, simbolizado como **Rse** e expresso em m² ºC/W. Normalmente essa resistência é uma função do vento.[189]

De forma análoga existe uma resistência interna ao fluxo de calor, que é função da circulação interna de ar. É chamada resistência superficial interna, representada por **Rsi** e também expressa em m² ºC/W. [190]

A resistência total **Rt** é a soma de todas as resistências e pode ser considerada como a capacidade da parede resistir a passagem de calor por diferença de temperatura entre as faces internas e externas. É expressa em m² ºC/W. A resistência térmica total de uma parede corresponde à sua capacidade de isolamento térmico.

O inverso da resistência total é a transmitância de uma parede. A transmitância térmica de uma parede é o fluxo térmico total que consegue ser transmitido em uma determinada área de superfície, em um determinado tempo, a cada variação unitária de temperatura. É representada pela letra **U** e expressa em W/ m² ºC. A transmitância é o aspecto que representa o comportamento uma superfície opaca com relação a transmissão de calor, mesmo que composta de vários materiais como ocorre com uma parede.

03 – Pontos a serem considerados no projeto

"O objetivo principal de um arquiteto na especificação de um tipo de fechamento é evitar as perdas de calor excessivas no inverno e também os ganhos elevados no verão." [191] O conhecimento acumulado até aqui e, principalmente a noção de resistência térmica e transmitância das paredes, pode dar ao arquiteto embasamento para poder propiciar tais condições em seu projeto. (Fig. 4.3.5)

---

[189] Normalmente é adotada a constante 0,04 m² ºC/W.

[190] Adota-se 0,13 m² ºC/W para fluxo de calor horizontal, 0,10 m² ºC/W para fluxo ascendente e 0,17 m² ºC/W para fluxo descendente.

[191] LAMBERTS, et. al (2004)

Elemento	Tipo	U (W/m²K)
Paredes	Tijolo 6 furos espessura 12,5 cm	2,39
	Tijolo 6 furos espessura 17 cm (deitado)	2,08
	Tijolo 8 furos rebocado 12,5 cm	2,49
	Tijolo 4 furos rebocado 12,5 cm	2,59
	Tijolo maciço aparente 9 cm	4,04
	Tijolo maciço rebocado 12 cm	3,57
	Tijolo maciço rebocado 26 cm	2,45
Janelas	Vidro comum 3 mm	5,79
Cobertura	Laje concreto 10 cm + fibrocimento	
	Verão - não ventilado	2,04
	Verão - bem ventilado	2,04
	Inverno - Não ventilado	2,86
	Inverno - bem ventilado	3,89
	Laje concreto 10 cm + cerâmica	
	Verão - não ventilado	2,04
	Verão - bem ventilado	2,04,
	Inverno - Não ventilado	2,87
	Inverno - bem ventilado	3,89
	Forro pinus 1 cm + fibrocimento	
	Verão - não ventilado	2,00
	Verão - bem ventilado	2,00
	Inverno - Não ventilado	2,79
	Inverno - bem ventilado	3,75
	Forro pinus 1 cm + cerâmica	
	Verão - não ventilado	2,01
	Verão - bem ventilado	2,01
	Inverno - Não ventilado	2,79
	Inverno - bem ventilado	3,75
	Forro pinus 1 cm + fibrocimento + alumínio polido	
	Verão - não ventilado	1,11
	Verão - bem ventilado	1,11
	Inverno - Não ventilado	2,04
	Inverno - bem ventilado	3,75

Figura 4.3.5 – Tabela de materiais – transmitância térmica
Fonte: (LAMBERTS, 2004)

4.3.7 . Inércia térmica, amortecimento e retardo

01 – Influência na eficiência ambiental

A capacidade das paredes e tetos de uma edificação em amortecer e retardar a transmissão de calor é um fator determinante na manutenção de condições climáticas internas favoráveis. É por esse fato que a inércia térmica é tão importante como fator de definição de uma edificação ambientalmente eficiente.

02 – Embasamento

Como foi visto nos itens anteriores, quando uma das superfícies de uma parede se aquece, a superfície oposta não se aquece imediatamente, uma vez que a transmitância de calor através dela dependerá de vários aspectos. O calor terá que aquecer a parede primeiramente para que só então a superfície oposta se aqueça. Este lado da parede terá portanto, recebido uma quantidade de calor menor do que a que foi transmitida do outro lado e algum tempo depois de sido transmitido.

À capacidade de uma superfície em retardar e amortecer a transmissão de calor dá-se o nome de inércia térmica. Esta característica, chamada por alguns autores de massa térmica, é reflexo direto das propriedades dos materiais que compõe a parede, desde a superfície externa até a interna. Os fatores determinantes na capacidade de inércia térmica de uma parede são em primeiro lugar a capacidade dos seus componentes quanto à condutibilidade e resistência. Materiais de maior resistência térmica (menor condutibilidade) conseguem maior inércia. Igualmente importante na definição da inércia é a densidade dos materiais da parede. Materiais menos densos conseguem amortecer e retardar melhor o calor. Por último, o calor específico dos materiais usados em uma parede determina bastante sua capacidade de inércia térmica. Materiais com altos valores de calor específico contribuem mais com a inércia térmica, pois demoram mais para aquecer e perdem calor mais lentamente. (Fig. 4.3.6)

A densidade é um fator preponderante sobre o calor específico na caracterização da capacidade térmica de um material, uma vez que a diferença entre os coeficientes de densidade encontrados nos materiais de construção é muito grande. Os maiores valores de calor específico entre os materiais de construção são os dos plásticos e madeiras, e os menores dos metais mas, mesmo assim, a variação é proporcionalmente pequena chegando a, no máximo, quatro vezes. No caso da densidade, essa variação pode ser muito maior como, por exemplo, entre o ar – tomado como componente de um material de construção no interior de um elemento

de baixa densidade ou mesmo como uma camada interna em uma parede dupla – e o concreto, que é de cerca de duas mil vezes. [192]

03 – Pontos a serem considerados no projeto

A inércia térmica pode se tornar um dos mais importantes instrumentos de projeto para evitar o uso de equipamentos tanto de refrigeração como de aquecimento. Isso porque o conhecimento sobre a inércia térmica por parte do arquiteto lhe possibilita escolhas de projeto com relação às vedações que permitam amortecimento e retardo nas perdas de calor. Como cabe ao arquiteto definir as vedações no que diz respeito ao seu componente principal, sua espessura, seus revestimentos internos e externos, é responsabilidade sua proporcionar níveis de inércia térmica ideais em uma edificação em função da sua realidade bioclimática.

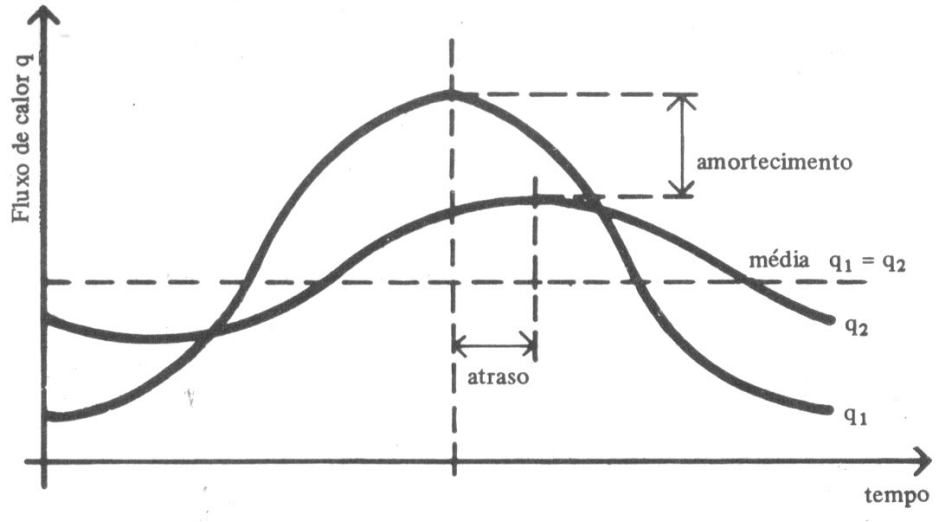


Figura 4.3.6 – Comparação de parede com e sem inércia
Fonte: (FROTA; SCHIFFER, 1995)

4.3.8 . Materiais locais

01 – Influência na eficiência ambiental

Em alguns casos uma edificação de baixo consumo energético no seu uso, e construída com materiais e sistemas construtivos de baixo valor energético pode ter no seu balaço final um fator de desequilíbrio de todo esse esforço. Se os materiais são adquiridos de locais distantes,

[192] GIVONI (1976: 113)

será incorporado ao custo energético da edificação o gasto do transporte como gasto de energia.

02 – Embasamento

A utilização de materiais locais em um projeto já foi defendida por vários motivos: pela questão cultural, no sentido de dar continuidade aos processos produtivos e à tradição construtiva de um lugar ou mesmo pela manutenção de um padrão estético no uso de cores, texturas e padrões construtivos que se assemelham a um contexto edificado.

A utilização de materiais locais traz também grandes vantagens do ponto de vista do consumo energético, uma vez que as distâncias a serem percorridas entre as fábricas e o canteiro de obras se encurtam. Há, além disso, o benefício extra da economia de custo com o frete, transportadoras, e impostos, no caso de transportes interestaduais e internacionais.

03 – Pontos a serem considerados no projeto

É fundamental que o arquiteto conheça e trabalhe com os materiais locais para além dos benefícios já citados, poder minimizar gastos energéticos no processo de construção. É importante que, antes do projeto e durante os primeiros contatos como o lugar, o arquiteto tome conhecimento dos padrões construtivos locais, dos materiais utilizados nas construções, não só pela resposta que dão ao clima e a cultura[193], mas também ao consumo de energia, neste caso com o transporte.

4.3.9 . Custo energético dos materiais

01 – Influência na eficiência ambiental

Às vezes, mesmo que uma edificação tenha baixo consumo de energia durante sua utilização, ela pode ter sido construída com materiais que tiveram um alto custo energético para sua fabricação, de maneira que essa energia acaba sendo incorporada à construção, como parte do seu custo ambiental.

[193] Ver capítulo 2.1.

02 – Embasamento

Há algum tempo se fala em custo energético agregado em produtos industrializados, entre eles os materiais de construção. Especialistas no assunto concordam sobre a possibilidade de uma estimativa de gasto energético industrial, mas também concordam que esses números acabam tendo margens de erro muito significativas.[194] Essas margens de erros normalmente estão associadas a diferenças significativas na cadeia produtiva dos materiais, o que pode ocorrer até mesmo na produção de um mesmo material em dois locais diferentes, mesmo que num mesmo país.

De qualquer forma, o balanço do custo energético agregado a um material de construção deve levar em conta todos os gastos com energia ao longo de todo o processo a começar pela extração e transporte de matéria prima; passando pelos processos de preparo, separação, limpeza e processamento químico; fabricação de componentes e por último os processos de montagem se houver. A maioria dos países desenvolvidos já começa a adotar certificações quanto ao custo energético agregado dos materiais, avaliando todo o seu processo de fabricação e conferindo selos de qualidade aos produtos que tem baixo gasto de energia em sua fabricação. No Brasil ainda não há uma legislação nem mesmo algum tipo de política governamental neste sentido.

O custo energético não pode ser avaliado como impacto ambiental de um produto industrializado. O custo de produção dos materiais de construção envolve impactos ambientais diversos, dentro de um contexto muito mais abrangente, mas essa análise fugiria ao propósito desse estudo. De qualquer forma, esse elemento fornece um importante subsídio na eleição de materiais para uma construção que pretende ser ambientalmente eficiente num sentido amplo. A análise de alguns valores utilizados fora do Brasil fornece elementos interessantes, como os baixíssimos valores para vários tipos de madeiras e altíssimos para alguns metais como alumínio e cobre. Esses materiais são chamados também eletrointensivos, devido ao seu alto custo energético de produção. (Fig. 4.3.7)

03 – Pontos a serem considerados no projeto

Não basta ao arquiteto pensar em uma arquitetura que faça uso racional de recursos e energia simplesmente através de sua utilização. A indústria da construção civil consome quantidades enormes de matéria prima muitas vezes produzindo materiais que têm altíssimo custo energético. É necessário que o arquiteto saiba especificar corretamente materiais de baixo

[194] YEANG (2001:138)

custo energético agregado para que o processo de racionalização energética na edificação possa ser completo.

Energias absorvidas pela construção	
Material	Energia incorporada (Mj/kg)
Madeira mole serrada seca em estufa	3,4
Madeira dura serrada seca em estufa	2,0
Madeira dura serrada seca ao ar livre	0,5
Tablado de madeira	24,1
Aglomerado de madeira	8,0
Placa de fibra vulcanizada	11,3
Compensado de madeira	10,4
Madeira laminada colada	11,0
Madeira prensada colada	11,0
Plásticos em geral	90,0
PVC	80,0
Goma sintética	110,0
Pintura acrílica	61,5
Terra compactada	0,7
Granito paginado importado	13,9
Granito local paginado	5,9
Ladrilhos de argila	2,5
Cimento	5,6
Gesso comum	2,9
Gesso acartonado	4,4
Fibrocimento	7,6
Concreto moldado "in loco"	1,7
Concreto prefabricado endurecido ao vapor	2,0
Painéis de concreto prefabricado	1,9
Blocos de concreto	1,4
Concreto aerado autoclavado	3,6
Vidro	12,7
Aço polido	34,0
Ferro galvanizado	38,0
Alumínio	170,0
Cobre	100,0
Zinco	51,0

Figura 4.3.7a – Tabela de materiais – custo energético
Fonte: (YEANG, 2001)

Consumo energético unitário na produção	
Material	Energia incorporada (W.h/kg)
Alumínio	26631
Acrílico	14820
Tubo galvanizado 3" - 10 3/4"	7253
Metalon	7213
Tubo galvanizado 3" - 10 3/4"	6838
Veneziana de tijolo de vidro	6473
Vidro bloco	6432
Telha vidro	6425
Aço para estrutura	6089
Vidro plano	5447
Azulejo	3593
Manilha cerâmica	3449
Chapa de fibra	2098
Média das manilhas	1898
Cimento via úmida	1642
Cimento amianto	1586
Aglomerado de madeira	1473
Média dos cimentos	1379
Cal hidratada	1120
Cal virgem	1119
Laje volterrana	1118
Cimento via seca	1116
Tijolo cerâmico	1067
Média das lajes	930
Telha cerâmica	923
Média das telhas	814
Médias dos tijolos	797
Tijolo cerâmico	746
Laje ideal	742
Telha cerâmica	705
Revestimento de piso cerâmico	705
Tijolo cerâmico	579
Mármore	396
Médias dos mármores	383
Mármore	370
Tinta	347
Manilha cerâmica	347
Viga concreto	172
PVC	150
Tubo concreto	145
Mourão concreto	133
Tijolo concreto	120
Vulcapiso	70
Brita granítica	9
Brita calcárea	9
Média das britas	7
Brita calcárea	5
Areia	5
Gesso forro	1

Figura 4.3.7b – Tabela de materiais – custo energético
Fonte: (PIETROBON et al., 1995)

4.3.10 . Desmonte construtivo

01 – Influência na eficiência ambiental

Uma edificação depois de cumprir seu ciclo de vida, quando não é reformada ou restaurada, normalmente é demolida para dar lugar a uma outra edificação. Neste momento é introduzido um grande gasto energético ao edifício se ele for considerado dentro de um processo mais amplo do que simplesmente sua utilização.

02 – Embasamento

Até os dias de hoje, o arquiteto está acostumado a considerar o seu projeto, mesmo quando leva em conta questões como as abordadas até aqui, da sua construção até o final de sua utilização. No entanto, assim como foi mostrado que antes da construção existem gastos energéticos em função do edifício, também existirão após o seu uso com a sua demolição. A edificação tem um ciclo de vida que num determinado momento cessa, por questões técnicas ou mesmo por contingências que nada têm a ver com a arquitetura. Nesse momento, a edificação terá que ser demolida para dar lugar à outra.

Tanto em pequena escala como em grande escala, os processos de demolição envolvem um enorme dispêndio de energia. Na escala pequena, os processo de demolição são lentos e muitas vezes utilizam processos manuais e mecânicos. Na escala maior os processos de demolição envolvem impactos quase sempre agressivos, além dos custos energéticos altos com equipamentos mecânicos e explosivos.

Há alguns anos, vem sendo implantado na construção civil nos países do primeiro mundo, o conceito de DFD (*Design for Disassembly*). Esta idéia nasceu em outras áreas de projeto ligadas aos processos industriais e foi levada para a arquitetura na medida em que os processos construtivos se industrializaram cada vez mais nestes países. A idéia é planejar também uma edificação para além dos processos de construção necessários para erguê-la, e para depois do seu ciclo de vida. Este projeto de desmonte é uma idéia mais ampla para o projeto de arquitetura e engenharia, na medida em que incorpora a idéia de planejar uma edificação também na sua desconstrução. Para tanto os sistemas construtivos e materiais a serem escolhidos para o projeto devem servir a esse propósito. Os materiais industrializados, pré-fabricados, assim como os sistemas construtivos baseados em sistemas de montagem tanto através de encaixe como de aparafusamento ou soldagem se prestam melhor a um planejamento de desmonte. No sentido inverso, materiais artesanais, sistemas construtivos que envolvem fusão *in loco* têm péssimo desempenho num projeto de desmonte. Como a maioria

das construções brasileiras se baseia nestes processos mencionados por último, têm baixíssima capacidade de desmonte. Hoje no Brasil, quando uma edificação é demolida, seus poucos componentes que podem ser reutilizados – esquadrias, portas, telhas, luminárias, louças e metais sanitários – são rapidamente retirados por empresas especializadas em revenda de material de demolição, ficando a maior parte da edificação – suas paredes, pisos, tetos – para ser demolida.

03 – Pontos a serem considerados no projeto

O projeto de desmonte ainda é uma realidade distante para os atuais padrões da construção civil brasileira, baseada em processos construtivos artesanais. No entanto, a eficiência ambiental nas edificações precisa de ações efetivas que reduzam também a energia gasta nos processos de demolição. O arquiteto deve chamar para si essa responsabilidade, como aquele que é responsável pelo início do processo de planejamento construtivo. Mesmo que não seja possível no curto prazo, dentro da nossa realidade, elaborar edificações totalmente desmontáveis, o arquiteto pode fazer, desde as etapas iniciais do projeto, uma opção por materiais e sistemas industrializados e com alta capacidade de desmonte. É importante considerar a edificação dentro de um processo mais amplo e assim pensar nos ganhos energéticos que pode trazer uma arquitetura literalmente desconstrutiva.

4.3.11 . Reciclagem de materiais

01 – Influência na eficiência ambiental

A capacidade de um determinado material ser reciclado e virar matéria prima novamente faz com que seu custo energético caia a cada vez em que ele é utilizado reciclado. Assim, materiais que tem alto custo energético de produção inicial, podem se tornar ambientalmente eficientes se tiverem alto poder de reciclagem, como acontece, por exemplo, como o alumínio. Além disso, outros resíduos gerados na construção podem ser reciclados na própria obra e reutilizados.

02 – Embasamento

A opção da desmontagem deve vir em primeiro lugar como estratégia para reduzir os gastos energéticos no final da vida útil de uma edificação, mas a reciclagem precisa ser considerada tanto para as partes que podem ser retiradas e vendidas para servirem de matéria

prima para a fabricação de novos elementos – como ocorre com os elementos metálicos e de vidro – como para as partes que precisam ser quebradas e transformadas em entulho.

Do ponto de vista do uso de matéria e energia, estima-se que seria possível reciclar 75% dos resíduos da construção de um edifício ao final de sua vida útil. Isto porque alguns resíduos – os outros 25% – teriam um custo energético tão alto para serem reciclados que se tornaria um contra-senso fazê-lo. Ainda assim, na Europa, onde esses processos estão mais avançados, recicla-se apenas 5% dos resíduos das construções.

Vários materiais de construção podem ser reciclados transformando-se em matéria prima, como ocorre com os materiais metálicos, tanto os perfis para estruturas e esquadrias, como acessórios. Vidros têm também alto potencial de reciclagem até mesmo diretamente, sem processos de reciclagem química. Hoje em dia, até mesmo tapetes e carpetes já podem ser reciclados.[195] O potencial de reciclagem é a capacidade de um determinado material em ser re-introduzido como matéria prima em uma nova cadeia de produção industrial, por um determinado número de vezes. Existem materiais que tem bom potencial de reciclagem, mas consomem nesses processos grandes quantidades de energia. Outros, além de poderem ser reciclados várias vezes, consomem pouca energia nesse processo. É o caso do alumínio, que tem potencial de reciclagem tão grande com um custo energético tão baixo, que seu custo energético de produção vão baixando consideravelmente a cada vez que vão sendo reciclados.[196]

A capacidade de reciclar os materiais de construção traz além dos benefícios energéticos, um grande avanço ambiental no sentido da redução da geração de entulhos. O Brasil tem um grave problema nesse sentido, em virtude da predominância de sistemas construtivos artesanais e da rápida substituição das edificações, normalmente muito antes do fim da sua vida útil. A conjunção desses dois fatores faz com que o Brasil seja um país que produz enorme quantidade de entulho. Com a utilização do entulho como elemento para construção, cria-se uma possibilidade para redução do volume de entulhos que são depositados em aterros e lixões. Parte dos entulhos gerados na demolição de uma edificação não pode ser reciclada, mas uma grande parte pode, desde que dividida em três grupos de acordo com três

---

[195] Alguns fabricantes como a DuPont, responsabilizam-se em recolher os carpetes e tapetes usados, separar os seus fios de nylon da base termoplástica que volta à linha de produção. Os fios são transformados em novas matérias primas ou utilizados na geração de energia. (VIALLI, Andrea. Arquitetura ecológica sai do experimental para ganhar o mercado. **Gazeta Mercantil**. São Paulo, 24 de agosto de 2004).

[196] O custo energético da produção de elementos de alumínio a partir de alumínio reciclado significa menos de 10% do custo de produção de derivados de alumínio a partir da bauxita (produção inicial). – Fonte: YEANG (2001: 136).

níveis de granulometria, de acordo com Grigoli [197]: uma porção miúda, na forma arenosa e pulverulenta, com diâmetro menor ou igual a 4,80mm, que pode ser reutilizada como elemento para argamassas; uma porção graúda, na forma de grãos entre 4,80 e 38,00mm, que pode ser reutilizada no concreto; e uma porção em pedaços, maiores do que 38,00mm, que pode ser utilizada em enchimentos e contrapisos.

03 – Pontos a serem considerados no projeto

O arquiteto deve ter em mente na escolha dos materiais não somente seu custo energético incorporado, mas também seu potencial de reciclagem. Isso pode garantir além dos benefícios energéticos adquiridos a cada nova reciclagem, uma redução muito grande dos impactos ambientais gerados pela geração de entulhos na construção civil.

Somente quando os responsáveis pelos processos produtivos forem responsabilizados legalmente pela destinação dos entulhos e dejetos gerados pela construção de um edifício, haverá alguma mudança significativa. Isso obrigaria que todo o processo de planejamento da construção civil se adequasse a essa necessidade, ainda que por questões legais, quando então o arquiteto poderia fazer uso de opções por materiais construtivos com alto poder de reciclagem.

4.3.12 . Sistemas construtivos

01 – Influência na eficiência ambiental

Não bastam os materiais da construção proporcionarem eficiência ambiental na sua fabricação, no transporte, na utilização da edificação, e mesmo após seu ciclo de vida, se eles porventura tenham determinado processos e sistemas construtivos que consomem grande quantidade de energia elétrica e água.

02 – Embasamento

Os sistemas construtivos que são realizados de maneira artesanal e com processos de moldagem *in loco* geram enormes gastos de energia e principalmente de água na construção de um edifício. Ao contrário, os sistemas construtivos que utilizam predominantemente processos de montagem e fazem uso de componentes industrializados, e pré-fabricados, que chegam

[197] GRIGOLI (?)

prontos ao canteiro de obra, conseguem um menor consumo de energia em relação aos métodos artesanais e reduzem drasticamente o consumo de água. Por isso mesmo, esses processos recebem o nome de construção a seco.

Os sistemas e elementos construtivos que compõe a construção a seco são:

- Sistemas estruturais metálicos de perfis laminados ou soldados;
- Sistemas estruturais pré-fabricados em concreto armado;
- Painéis de vedação externa pré-fabricados (concreto, elementos cimentíceos);
- Lajes pré-fabricadas mistas (metálica e recobrimento de concreto);
- Lajes pré-fabricadas de concreto armado;
- Vedações internas em sanduíche de estrutura metálica e gesso acartonado (*dry-wall*);
- Telhas metálicas;
- Esquadrias prontas metálicas e de PVC;
- Portas prontas;
- Conjuntos prontos de tubulação hidro-sanitária com *shaft* visitável;

E todos os sistemas que possam chegar na obra e serem montados, através de parafuso, encaixe, rebite, solda.

03 – Pontos a serem considerados no projeto

A opção pelos sistemas construtivos a seco não parte somente do cliente, pois o arquiteto representa um papel importante nesse processo. Em primeiro lugar, ele precisa conhecer os materiais, sistemas e processo para que possa projetar corretamente, tirando proveito do seu máximo potencial. Ele também é o profissional responsável, dentro do processo da construção de um edifício, por tornar as soluções de projeto compatíveis com os demais profissionais de projeto envolvidos. Além disso, cabe ao arquiteto a responsabilidade projetar de maneira correta dentro de um processo cada vez mais industrializado, dando respostas satisfatórias em termos ambientais e arquitetônicos.

4.4 . Estratégias de Projeto – Considerações da Forma

Nesse quarto e último módulo serão analisadas algumas considerações relativas à forma arquitetônica e que são importantes de serem levadas em conta pelo arquiteto ao iniciar o processo de projeto de uma edificação que pretende fazer uso racional de recursos naturais e energéticos. Cumpre primeiramente, no entanto, deixar claros os limites do entendimento quanto ao que seja a "forma na arquitetura", a fim de evitar algum engano que o termo possa causar.

A forma na arquitetura será entendida aqui como a materialização da idéia, da concepção arquitetural. A maneira através da qual o arquiteto, em virtude das suas escolhas de projeto, configura espacialmente a edificação. Ou ainda, apelando para uma definição mais precisa de forma, a "configuração física característica dos seres e das coisas, como decorrência da estruturação das suas partes".[198]Descarta-se assim, a idéia de tecer considerações com relação à forma arquitetônica entendida como aparência estética, como configuração exterior ou ainda como casca, invólucro da edificação.

Muitas dos aspectos que serão tratados aqui estão embasados em conceitos analisados anteriormente, vistos apenas em nível teórico. As considerações que vêm a seguir auxiliam a configuração formal da proposta arquitetônica e, por isso mesmo, podem ser consideradas, além de considerações da forma, estratégias de projeto. Os três primeiros módulos abordaram o assunto da eficiência ambiental na arquitetura em três de suas dimensões: lugar, uso e técnica, mas sempre através de fundamentos. Nesse último módulo, esses fundamentos comparecem reunidos mas, dessa vez, auxiliando a construção de considerações mais propositivas. Mesmo assim, entendidas como estratégias de projeto, essas considerações não serão abordadas através de modelos, exemplos ou qualquer outro tipo de formalização, de modo a não incorrer nos riscos que essa abordagem contém, e que já foram abordados anteriormente. A base da metodologia proposta, a formação de um conhecimento projetivo a partir de fundamentos, princípios não formalizados, apenas explicados em sua essência, objetiva um horizonte mais amplo de possibilidades de formalização e a tentativa de oferecer uma alternativa metodológica ao que já vem sendo feito há pelo menos trinta anos. Esse encaminhamento metodológico foi determinado, em grande parte, pela experiência com a disciplina optativa.

---

[198] HOUAISS (2001).

4.4.1 . Forma ótima, proporções e orientação

01 – Influência na eficiência ambiental

A determinação de uma forma com proporções e orientação capaz de receber menores cargas de incidência térmica é crucial para a eficiência energética de uma edificação localizada em um país tropical com um elevado número de horas de exposição à radiação solar, como o Brasil.

02 – Estratégia

Em termos de eficiência térmica, a forma ótima é aquela que absorve a menor quantidade de energia no verão e a maior quantidade de energia no inverno para locais em que as trocas térmicas nesses períodos causem desconforto. Olgyay realizou estudos sobre as proporções ideais para uma edificação ter o maior rendimento térmico [199]. Chegou à conclusão de que a forma quadrada não é a forma ótima para nenhum dos climas analisados (quente úmido, quente seco, temperado e frio). Concluiu também que a forma alongada sobre um eixo norte-sul é menos eficiente do que a forma quadrada, tanto no inverno como no verão. Por último, conclui que em todos os climas estudados a forma ótima é aquela que de alguma forma se desenvolve ao longo do eixo leste-oeste. Essa última conclusão tem maior validade para locais dentro próximos da faixa tropical onde a incidência solar nas orientações leste e oeste é muito intensa. Por isso as edificações implantadas no sentido norte-sul podem ter ganhos desastrosos de calor e durante todo o dia. Segundo Mascaró, [200] os ganhos térmicos em um prédio mal orientado podem aumentar em 150% em relação a outro igual com orientação mais adequada. (Fig. 4.4.1)

Olgyay também conclui baseados nos testes que realiza que a proporção ótima de uma edificação em relação aos ganhos térmicos é de cerca de 1:1.1 num clima frio, de 1:1.6 num clima temperado, de 1:1.3 para um clima quente e seco e de 1:1.7 num clima úmido. O último caso interessa mais aos padrões climáticos brasileiros e seu experimento foi realizado em Miami, uma cidade de latitudes baixas para os padrões norte americanos (pouco mais de 25ºN) e ao nível do mar. Para esta cidade o gráfico de rendimento térmico apresenta pequena variação até a casa de 1:2, o que pode ser uma referência mais útil nas fases iniciais de projeto.

Em regiões onde as trocas térmicas em qualquer sentido são acentuadas e causam problemas de desconforto, soluções que utilizam plantas mais compactas são mais adequadas do

---

[199] OLGYAY (2002: 88)
[200] MASCARÓ (1985: 21)

que outras com plantas muito recortadas. Este tipo de problema é mais grave em locais onde há excessivos ganhos térmicos por radiação solar e aquecimento externo durante o dia e perdas de calor excessivas à noite devido ao resfriamento do ar externo, como por exemplo em lugares de grandes amplitudes térmicas diárias. A planta compacta reduz as superfícies de contato entre interior e exterior reduzindo as trocas de calor em qualquer um dos dois sentidos.

Além da radiação solar e das trocas térmicas, a orientação e a forma externa da edificação devem levar em conta os ventos dominantes de modo a proporcionar as maiores fachadas em pressões de vento contrárias, garantindo maior potencial de ventilação cruzada. O vento dominante tem também o potencial de reduzir as temperatura superficial das paredes externas, reduzindo o fluxo de calor através delas. Dessa forma, além de estarem perpendiculares ao vento dominante, as fachadas ideais para estarem a barlavento são aquelas que recebem maior carga de energia solar. Localidades situadas a beira de grandes massas de água e, portanto, sujeitas a ventos em posições diferente durante o dia e a noite, podem se utilizar dessas diferenças para resfriar superfícies expostas ao sol da manhã com a brisa que vem da água e para resfriar superfícies expostas ao sol da tarde com a brisa que sopra da terra.

03 – Pontos a serem considerados no projeto

Nem sempre é possível se conseguir condições ideais de orientação e proporção de planta para menor ganho de radiação solar, principalmente em lotes urbanos. O arquiteto deve tratar estes parâmetros como ideais e utiliza-los sempre que possível. Estes dados não devem ser tomados como limitadores iniciais do projeto, mas sim como uma situação ideal para grande parte do país e que quanto mais próximo dela, com as fachadas principais no sentido norte e sul, e em pressões positivas e negativas de vento, com uma proporção de mais ou menos 1:2, mais eficiente energeticamente a edificação será.

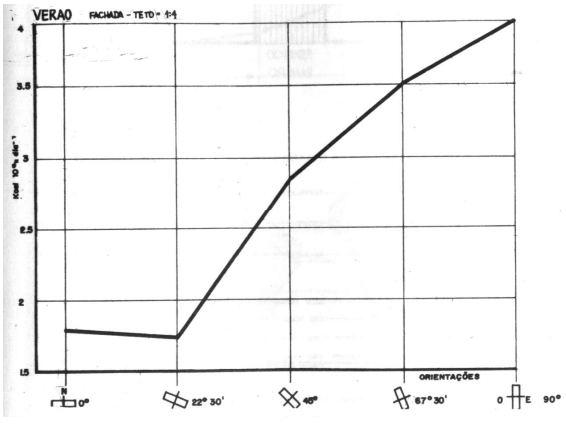


Figura 4.4.1 – Ganho térmico por radiação em função da orientação
Fonte: MASCARÓ (1985)

4.4.2 . Implantação no terreno natural

01 – Influência na eficiência ambiental

Uma edificação pode se implantar em relação a terra na qual se assenta de duas formas absolutamente distintas, mais solta do terreno ou mais afundada no terreno, o que pode determinar dois resultados completamente diferentes em relação ao clima local e portanto a eficiência energética.

02 – Estratégia

A terra tem excelente inércia térmica e, portanto consegue reduzir e retardar trocas térmicas. Com isto, uma edificação enterrada parcial ou totalmente consegue ótimo desempenho com relação trocas térmicas agressivas. Esta situação pode ocorrer em lugares muito quentes, muito frios ou ainda em lugares que ficam muito quentes e muito frios devido a diferenças diárias ou sazonais.

A estratégia de afundar a casa no terreno consegue também bom resultado para situações em que o vento seja um elemento desagradável, o que ocorre normalmente em climas quentes-secos.

No entanto, em lugares onde a umidade seja um problema, independentemente da temperatura, a ventilação natural é fundamental para garantir boas condições de uso. A umidade em excesso prejudica os mecanismos de troca térmica do ser humano com o ambiente através da evaporação, contribui para a proliferação de mofo e fungos. Nesses casos a situação ideal da edificação em relação ao terreno é aquela que minimiza as superfícies de contato entre eles e eleva a construção de forma a deixá-la exposta aos ventos.

03 – Pontos a serem considerados no projeto

A utilização da terra como elemento potencializador de inércia térmica no invólucro da edificação não precisa necessariamente significar que ela deva ser enterrada. O arquiteto pode trabalhar com movimentos de terra que gerem taludes artificiais no entorno da edificação integrando a solução à possibilidade de uso de grama.

4.4.3 . Movimentos de terra

01 – Influência na eficiência ambiental

A opção de projeto em criar movimentações, cortes e aterros no terreno determina grandes gastos energéticos para além da energia elétrica. Afora o gasto energético, as escolhas relativas aos movimentos de terra determinam também grandes impactos ambientais com os bota-foras.

02 – Estratégia

A implantação de uma edificação em um terreno pode gerar diferentes soluções quanto aos movimentos de terra. A grande maioria das obras ou acabam gerando aterros e cortes no terreno de forma que no balanço final acabe entrando ou saindo terra da construção.

Como isso quase sempre acontece na prática, pode-se dizer que a solução arquitetônica determina na suas escolhas de movimentos de terra os seguintes gastos energéticos: primeiramente existirá movimentação de terra em si, cortando o terreno e criando platôs com os tratores, o que nem sempre é fácil dependendo da constituição geológica do terreno e de sua inclinação; em seguida se houver rochas ou matacões no terreno, estes deverão ser retirados com ajuda de tratores e guindastes, colocados em caminhões basculantes através de braços mecânicos; se as rochas forem muito grandes, deverão primeiro ser cortadas com sistemas mecânicos ou através de explosão; a terra e as rochas deverão então ser transportadas para áreas de bota-fora, depósitos em locais afastados onde a terra e outras sobras de escavações são depositadas.

Na grande maioria das construções há mais cortes do que aterros e, portanto há bota-foras de terra. Nos casos em que há mais aterro, então toda essa movimentação acontece no sentido contrário: os caminhões pegam a terra nos depósitos de bota-fora, transportam até a obra onde ela é introduzida através do auxílio de guindastes e tratores. Uma solução que corta o terreno excessivamente vai determinar também grandes contenções o que também irá gerar um enorme gasto energético.

Além do dispêndio de energia desses processos, gerados por escolhas de projeto, há também o impacto que causam para a geomorfologia urbana. Esses movimentos excessivos no terreno natural criam erosões nos terrenos vizinhos, modificam a capacidade de drenagem do solo, geram impactos de ruídos e poeira para os locais em que são feitos e principalmente contribuem para a criação de aterros de bota fora nas periferias das cidades.

03 – Pontos a serem considerados no projeto

O projeto que tenta minimizar os gastos energéticos deve partir do pressuposto de tentar modificar minimamente o terreno natural. Assim o arquiteto tem condições de evitar todos os

impactos ambientais descritos e ainda obter expressivos ganhos energéticos. O arquiteto deve, se não for possível manter o terreno minimamente modificado, por contingências que fogem à sua vontade, tornar os cortes e aterros equivalentes para pelo menos, eliminar o custo energético dos transportes de terra e o impacto ambiental gerado pelos bota-foras.

4.4.4 . Superfícies envoltórias

01 – Influência na eficiência ambiental

Através das superfícies da construção é que se dão as trocas de calor com o meio e sua definição quanto à espessura e necessidade de isolamento determinarão os ganhos e perdas de calor dos espaços internos, o que determina os níveis de utilização de sistemas de climatização.

02 – Estratégia

Em primeiro lugar o que define a relação de trocas térmicas através da superfície de uma edificação é a relação percentual de superfícies translúcidas ou opacas. As superfícies translúcidas trazem o benefício dos ganhos com a luz natural, mas têm a desvantagem do excessivo ganho térmico por radiação solar, devido à transmissão direta. Em locais quentes como o Brasil as superfícies translúcidas abundantes só são eficientes termicamente se protegidas da radiação solar e ainda sim, através de recursos externos à edificação, de maneira a absorver, refletir radiação solar fora da edificação. As superfícies translúcidas trazem também a desvantagem do baixo isolamento, devido à sua espessura normalmente reduzida e à sua constituição química.

Para as superfícies opacas existem três formas básicas de controle e redução de trocas térmicas. A primeira delas é o isolamento térmico, obtido pelo aumento da resistência (**1/λ**) dentro da parede. A resistência é determinada pelo uso de materiais de baixa condutibilidade, paredes duplas, paredes com camadas internas de material de baixa densidade e baixa capacidade térmica. A utilização de paredes com isolamento térmico é ideal em orientações críticas ou em circunstâncias de exigência de uso. Nos demais casos, somente é recomendável para regiões que tenham situações críticas de calor ou de frio, o que não é o caso do Brasil.

As demais estratégias se prestam mais aos padrões climáticos tropicais. Nesses casos, durante grande parte do ano o ar se esquenta durante o dia e se esfria durante a noite, determinando trocas térmicas invertidas ao longo do dia. Para minimizar essas trocas, pode-se utilizar as superfícies opacas como massas de acumulação de calor. As paredes através da inércia térmica são dimensionadas com uma resistência e um retardo tal ao aquecimento diurno

que garantem as condições de temperatura ideais ao longo do dia, minimizando a troca de energia de fora para dentro. Durante a noite quando o ar externo se esfria, inversamente, elas retardam e amortecem as perdas de calor dos ambientes, diminuindo a troca de energia de dentro para fora.

Outra possibilidade de controlar as trocas térmicas nas superfícies opacas é através da criação de anteparos que barrem a radiação solar direta sobre elas. Desta forma, sombreando as paredes, principalmente as que recebem cargas críticas de incidência solar, consegue-se reduzir consideravelmente os ganhos de calor. Este sombreamento é especialmente valioso em lugares quentes e úmidos e pode ser obtido através de proteções horizontais como o prolongamento do pavimento superior, do plano de cobertura ou do beiral, nas fachadas em que o sol incide num ângulo maior. Naquelas fachadas em que o sol incide num ângulo menor, este sombreamento pode ser obtido com a utilização de anteparos verticais ou de vegetação.

03 – Pontos a serem considerados no projeto

O arquiteto deve utilizar em um projeto ambientalmente eficiente uma quantidade de superfícies translúcidas suficientes para proporcionar boa iluminação natural, contudo sem comprometer seu rendimento térmico [201]. No caso de aberturas sem qualquer proteção externa, seu uso deve ser restrito ao mínimo em locais quentes. Nesses casos, o arquiteto deve priorizar a utilização de superfícies opacas. Estas devem contar com isolamento em orientações críticas. Nesses casos o arquiteto pode também se valer da possibilidade de sombreamento das superfícies.

O mais importante – e que vale para praticamente todas as orientações, todas as épocas do ano e todos os locais do Brasil – é a utilização das superfícies como massas térmicas de acumulação e retardo da transmissão de calor. Essa estratégia pode ser utilizada sempre, pois consegue ampliar as possibilidades da não utilização de sistemas de climatização artificial para uma faixa maior de temperatura externa, que vai da casa dos 15ºC até cerca de 35ºC. A utilização da estratégia da massa térmica, aliada à ventilação natural [202] resolve quase todos os problemas de climatização natural no Brasil, principalmente utilizada para aquecimento nas regiões do sul e sudeste e para resfriamento no restante do país.[203]

4.4.5 . Vedações opacas simples

---

[201] Sobre iluminação natural, falar-se-á mais neste capítulo.

[202] A ventilação natural será abordada ainda neste capítulo.

[203] Lamberts, et al. (2004:114 – 143) faz uma análise das estratégias ideais para várias capitais brasileiras e a utilização de massa térmica é a estratégia mais recomendada em quase todas, exceto aquelas muito próximas da linha do Equador como São Luis e Belém em que a ventilação natural é praticamente a única solução de climatização passiva.

01 – Influência na eficiência ambiental

As superfícies opacas simples constituem a maior parte da superfície envoltória na maioria dos espaços arquitetônicos. O controle dos fluxos térmicos nesse tipo de vedação é fundamental, assim sendo, para o controle térmico da edificação.

02 – Estratégia

A superfície opaca simples representa as vedações comuns. O fluxo de calor só existirá, conforme foi visto antes, se houver diferença de temperatura entre as superfícies.

Quando o sol incide sobre essa superfície, parte da radiação solar de onda curta é refletida e parte é absorvida. O primeiro fator que determina o comportamento desta superfície é então sua capacidade em absorver (α) ou refletir (ρ) radiação de onda curta. Da parcela de energia térmica que foi absorvida pela superfície externa da parede, uma parte será transmitida de volta para o exterior na forma de onda longa, o que dependerá da sua capacidade de emitir energia radiante (ε). O calor que não foi emitido para fora por radiação nem dispersado por condução (**Rse**), começará a ser transmitido para dentro da parede por condução. A quantidade total de energia que passará através da parede em um dado tempo (**U**) dependerá da capacidade de cada material transmitir calor (λ) ou, dito de outra forma, na capacidade de cada material resistir à passagem de calor (**R=1/** λ). O calor chegará então à superfície interna e a parcela que não for dissipada por convecção pelo movimento do ar interno (**Rsi**) será então transmitido para interior. Este calor chegará ao interior da edificação com determinada redução e um determinado atraso, que dependerão não só da capacidade da parede conduzir calor, mas também da densidade da parede (ρ), e da sua capacidade térmica (**c**).

03 – Pontos a serem considerados no projeto

Os cuidados com o projeto de uma parede comum que o arquiteto deve ter resumem quase todos os conceitos termo-físicos analisados até aqui. É importante notar que, apesar dos vários fatores que influenciam a passagem de calor através de uma simples parede de tijolos, não é necessário fazer cálculos complexos ou utilizar procedimentos arbitrários para se projetar uma edificação simples mas eficiente do ponto de vista ambiental.

4.4.6 . Vedações opacas duplas

01 – Influência na eficiência ambiental

Em algumas situações específicas o ganho térmico em uma parede por radiação solar pode ser tão grande ou tão indesejado que justifica a utilização de uma segunda parede, externa à primeira. Mesmo apesar de representar quase o dobro do custo por área em relação a uma parede simples, essa solução tem eficiência tão grande para barrar os ganhos por radiação solar que se justifica em casos especiais.

02 – Estratégia

Em determinados lugares em que a temperatura é muito alta, principalmente no verão, e o número de horas de exposição ao sol é muito grande, as paredes ficam muito expostas aos ganhos térmicos por radiação solar. Nesses locais, em determinadas orientações e em determinadas circunstâncias, uma pele adicional pode ser criada externamente para que exista um maior amortecimento desses ganhos térmicos indesejados. Essas situações são comuns em superfícies horizontais, expostas o dia interiro ao sol e em superfícies verticais voltadas para leste e oeste, sobre as quais o sol incide mais diretamente, por estar mais baixo.[204] A idéia dessa segunda pele é exatamente criar um anteparo sobre essas superfícies mais castigadas pelo sol, de modo a fazer com que fiquem sombreadas, e ainda se crie uma câmara de ar entre elas que, graças as propriedades físicas desse material, ajude a retardar a transmissão de calor para o interior.

A segunda pele será tanto mais eficiente quanto menor for a absortividade da sua superfície externa, menor for a emissividade da sua camada interna em direção à câmara de ar e maior for a taxa de ventilação da câmara de ar. Este último fator é o mais importante na eficiência do sistema de pele dupla. Brown dá um exemplo em que as condições de ventilação da câmara de ar são apresentadas de três formas diferentes com os materiais das duas peles mantidos constantes. Na situação da câmara de ar fechada, o sistema tem uma eficiência em torno de 60-70%. Com uma câmara de ar ventila por cima e por baixo, a eficiência sobe para a casa dos 80%. No caso de uma câmara de ar ventilada em todos os lados (por cima, por baixo e pelas laterais), o sistema passa a ter quase 95% de eficiência, sendo que 100% significariam que nenhuma parcela da radiação solar incidente atinge o ambiente interno.[205]

Mas o fator que mais limita o uso deste artifício é a possibilidade de gerar um custo extra com uma segunda parede. Por isso, a segunda pele é especialmente vantajosa nos casos em que

---

[204] Ver considerações sobre a relação entre a inclinação entre uma superfície e o sol e a taxa de radiação solar que incide sobre ela – lei do co-seno – discutida no capítulo 4.1.

[205] BROWN; DeKAY (2004:250)

não é prevista para uma área muito grande ou nos casos em que é constituída por materiais de menor custo, como na hipótese de duas paredes de alvenaria.

03 – Pontos a serem considerados no projeto

O arquiteto deverá fazer uso desse expediente em situações críticas, seja em virtude do grau de exposição de uma superfície, seja em função das condições climáticas do lugar ou ainda em função de uma exigência de baixíssima admissão de calor nos espaços internos.

Ainda que seu uso seja necessário, deve ter uma escolha criteriosa dos materiais, principalmente na pele externa e o cuidado da ventilação máxima na camada de ar interna.

4.4.7 . Superfícies translúcidas

01 – Influência na eficiência ambiental

As superfícies translúcidas em uma edificação – principalmente os planos de vidro – são ao mesmo tempo responsáveis pelos maiores ganhos de luz natural e de radiação solar direta transmitida através do vidro. Por isso, o equilíbrio das propriedades desse material é tão importante para que sejam maximizados os ganhos lumínicos e minimizados os ganhos térmicos, principalmente em lugares quentes.

02 – Estratégia

Como já foi discutido antes, as superfícies translúcidas têm parte da radiação solar que incide sobre elas refletida (ρ), parte absorvida (α) e parte transmitida para o interior diretamente (τ). Além disso, os vidros particularmente são bons transmissores de calor através de condução, ou seja, têm alta transmitância (**U**). Entretanto são os únicos materiais que compõe o invólucro da edificação que podem controlar de uma só vez a entrada de calor através da radiação solar direta (ondas curtas), a saída de calor através de radiação emitida pelas superfícies internas (ondas longas), a entrada de luz e ainda a permeabilidade visual interior-exterior.

Hoje em dia existem os mais variados tipos de vidro que, através da variação de suas propriedades, conseguem determinar diferentes parcelas de absortividade, refletividade e transmissividade do sol, absortividade e emissividade de radiação de ondas longas e, ainda, diferentes graus de iluminação. Isso é possível graças a variações na cor, na espessura, no número de placas ou na presença de películas metalizadas. Essas variações são capazes de atender a diferentes demandas de projeto, inclusive de custo.

03 – Pontos a serem considerados no projeto

É importante que o projeto ambientalmente eficiente nasça com critérios bem definidos quanto às demandas sobre as superfícies translúcidas para que elas sejam caracterizadas corretamente desde o começo da proposta. Essa caracterização em função das demandas do lugar e do uso determinará propriedades dos vidros que são elementos significativos à elaboração formal, como cores, textura e brilho, principalmente em casos onde essas superfícies ocupam grandes áreas. A importância está, principalmente nesses casos, em garantir que tais superfícies translúcidas tenham um comportamento satisfatório em termos de trocas térmicas e iluminação natural.

4.4.8 . Sombreamento de cobertura

01 – Influência na eficiência ambiental

A possibilidade de manter a cobertura da edificação sem receber radiação solar direta reduz drasticamente os ganhos de calor por radiação solar e diminui bastante a necessidade de utilização de equipamentos de ar condicionado em lugares quentes.

02 – Estratégia

Em lugares de baixas latitudes, como o Brasil,[206] as superfícies que conformam a cobertura da edificação são as mais castigadas pela radiação solar, devido ao fato de que o sol passa alto no céu quase o ano todo. Desta forma, as superfícies que constituem os telhados, mesmo que inclinados, estão sujeitos a cargas muito maiores de radiação (lei do co-seno). O advento do concreto armado e das telhas de amianto e metálicas no século vinte contribuiu para incrementar os ganhos térmicos diretos nos ambientes através das coberturas, uma vez que, na grande maioria dos casos, esses materiais são utilizados no Brasil sem qualquer proteção ou isolamento térmico.

A utilização de um segundo plano de cobertura sobre o primeiro cria um anteparo à radiação solar, gera uma área de sombra cujo ar é constantemente ventilado e ainda cria a possibilidade de utilização como terraço[207]. Mas como o ar muda de posição ao longo do dia e ao

---

[206] Boa Vista e Macapá, as capitais mais ao norte estão em latitudes 3ºN e 0º respectivamente e Porto Alegre, a capital mais meridional está na latitude 30ºS, aproximadamente.

[207] Muitas construções populares no Brasil trazem soluções que utilizam essa estratégia, com os chamados "terraços paulistas".

longo do ano, essa cobertura suplementar deverá ser dimensionada e posicionada conforme a necessidade de sombra diária e sazonal.

03 – Pontos a serem considerados no projeto

A criação de uma cobertura sobre a cobertura mistura duas estratégias mencionadas antes, a pele dupla e o sombreamento de superfícies. O arquiteto deve estar atento para algumas questões quanto à esse princípio: seu correto dimensionamento e posicionamento em relação à construção, a máxima possibilidade de ventilação desse espaço, assim como no caso das peles duplas e assegurar pés-direitos suficientes para utilização, caso exista essa possibilidade.

4.4.9 . Sombreamento de áreas externas de transição

01 – Influência na eficiência ambiental

A criação de zonas intermediárias de transição contribui para o retardo das trocas térmicas entre os espaços utilizados da edificação e o exterior, estabelecendo uma área de transição. Esta estratégia reduz a necessidade de climatização artificial.

02 – Estratégia

Áreas sombreadas por não receberem radiação solar direta, mantém o chão com temperaturas menores evitando o aquecimento do ar por convecção. A criação de áreas de sombra externas à construção em locais quentes determina espaços em que o ar está mais fresco do que externamente a eles. Desta forma, qualquer corrente de vento que penetrar na edificação, passará primeiro por estas zonas sombreadas, resfriando-se. Além disso, esses espaços intermediários contribuem para a inércia térmica da edificação.

Na prática podem ser obtidos de diversas formas, uma delas utilizada na arquitetura brasileira há muito tempo, a varanda. A utilização de espaços com esse caráter, em que o telhado se prolonga além do que seria um beiral, sendo por isso estruturado com apoios verticais, forma um espaço de permanência intermediário, a maneira de uma *loggia* e cria também a possibilidade de utilização de espaços externos abertos. Esta necessidade é comum em um país com regime de chuvas intenso em uma determinada época do ano, como acontece em grande parte do Brasil. Zonas de transição sombreadas podem também ser obtidas através de vegetação, seja com espécies arbóreas ou com caramanchões. Em ambos os casos, tem-se o ganho da evapotranspiração vegetal, que aumenta a umidade do ar que entra na edificação, mas perde-se a proteção total de chuva nessas áreas. Existe também a possibilidade de criação de áreas desta

forma através da utilização de pergolados. Estes podem ser fixos ou móveis. Se forem fixos e posicionados de acordo com a trajetória solar, proporcionam proteção à radiação direta, mas não contra a chuva, se forem móveis, conseguem oferecer proteção tanto do sol quanto da chuva. Zonas de transição com pergolados são também importantes como transição luminosa entre espaços fechados e espaços abertos contribuindo para evitar ofuscamentos.

As zonas de transição descritas são soluções para locais quentes onde resfriam o ar entorno da edificação e assim resfriam o ar que nela penetra, além de retardar as trocas térmicas tanto diurnas quanto noturnas. Para locais frios existem zonas de transição que ao contrario das que foram discutidas, possibilitam o aquecimento do ar em volta da edificação, como por exemplo jardins de inverno.[208]

03 – Pontos a serem considerados no projeto

As edificações modificam as condições de vento e sol ao seu redor criando um microclima especial nestes locais. O arquiteto deve então trabalhar no sentido de potencializar microclimas agradáveis dependendo das relações entre a edificação e as condições locais de sol e ventos. A estratégia de criar zonas externas sombreadas é especialmente útil na grande maioria do país. O arquiteto deve ter o cuidado de pensá-la não simplesmente como um sistema de resfriamento passivo e inércia térmica da edificação, mas como um elemento integrado à forma da edificação como um todo e com possibilidades de uso efetivo. Dessa maneira um arquiteto pode retomar uma solução que já é trabalhada desde a arquitetura colonial brasileira, obviamente de acordo com o contexto cultural e técnico que lhe cabia.[209]

4.4.11 . Sombreamento das aberturas

01 – Influência na eficiência ambiental

Nas aberturas de uma edificação deve ocorrer um equilíbrio com relação à quantidade de luz e de calor que entram através dela de forma a criar uma condição de melhor eficiência ambiental. Para isso ocorrer, em muitos casos, é preciso que seja pensada uma proteção para sombrear as aberturas de forma a barrar parte do calor sem permitir o bloqueio total de luz.

---

[208] Esses espaços de aquecimento do ar serão mais discutidos ainda neste capítulo.

[209] Lúcio Costa fez isso de maneira brilhante no projeto do prédio de apartamentos do Parque Guinle no Rio de Janeiro, onde cria em cada apartamento, uma zona de circulação externa protegida do sol e ventilada, graças ao uso de cobogós. Ver: WISNICK (2001).

02 – Estratégia

Numa superfície opaca, no máximo 12% do calor solar alcança as áreas internas. Já através de uma janela de vidro, de 75% a 85% da radiação solar incidente podem entrar, graças a sua propriedade da transmissividade.[210] Desta forma, deve ser criado algum tipo de proteção contra a radiação solar sem, contudo, barrar a luz em demasia.

Existem várias formas de barrar o sol que penetra pelas janelas, a mais simples é a utilização de cortinas e persianas. Essa estratégia, no entanto, é pouco eficiente, uma vez que a radiação solar de onda curta penetra pelo vidro e só então é barrada pelo anteparo que, por estar dentro do ambiente, acaba se esquentado e emitindo radiação de onda longa. Essa estratégia consegue atingir coeficientes de sombreamento de no máximo 40% (o que significa que da radiação que incide sobre a janela, 40% penetra no ambiente). A utilização de árvores externas às janelas gera coeficientes que variam de 20 a 60%, dependendo da espécie, da densidade da copa, da cor e do tamanho das folhas. Beirais nas fachadas norte têm coeficiente entre 20 e 50%.

As proteções para sombreamento de janelas que tem maior eficiência são aquelas que se colocam a frente desta, do lado de fora da edificação, limitando a entrada de radiação solar direta, mas permitindo a entrada de luz e a integração visual entre interior e exterior. Essas soluções apresentam grande eficiência de sombreamento, sendo que algumas chegam a ter coeficientes de 10%. Podem ser de vários tipos: venezianas externas, toldos de enrolar, grelhas grandes e pequenas e principalmente os quebra-sóis ou *brise-soleil*. [211] Os *brises* podem ser de vários tipos: fixos ou móveis horizontais, verticais ou conjugados, mas sua eficiência varia de acordo com o seu dimensionamento e posicionamento à frente da janela em relação ao sol. Existe também, no caso de locais com climas frios à noite, a possibilidade de criar uma proteção interna para as janelas que diminua as perdas de calor para o meio externo nesse período. Pode ser na forma de uma lona de enrolar, ou uma placa móvel de forma que possam ser removidas ou recolhidas durante o dia.

03 – Pontos a serem considerados no projeto

Para projetar corretamente o sombreamento de uma janela, primeiramente é necessário conhecer a trajetória solar na localidade em que se está projetando e a partir daí determinar através de um mapa solar estereográfico – como por exemplo a carta solar – a trajetória do sol ao longo do ano e ao longo dos dias. Para um estudo inicial do projeto arquitetônico, o arquiteto pode se valer de um croqui da carta solar do local que mostre a posição do sol ao longo do ano e a ao

[210] Mostrada no capítulo 3.3.
[211] Ver capítulo 2.1.

longo do dia. [212] *Brises* horizontais e verticais oferecem proteções distintas a uma janela. A escolha pela utilização de um ou de outro ou ainda de uma conjugação dos dois depende basicamente da orientação da fachada em que a janela se encontra. Cada orientação está sujeita a diferentes incidências de radiação solar em diferentes horas do dia e em diferentes dias do ano, o que determina a necessidade de maior ou menor proteção. (Fig. 4.4.2)

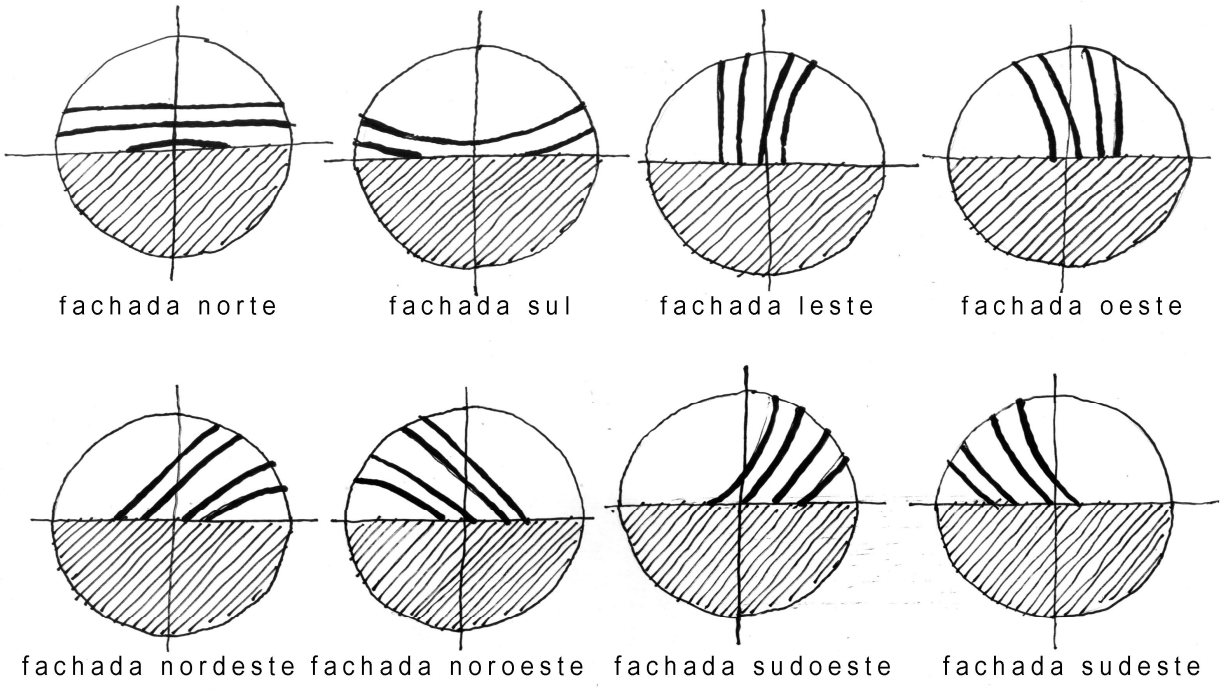


Figura 4.4.2 – Incidência de sol nas fachadas em Belo Horizonte latitude aproximada 20ºS
Fonte: Desenho do autor

Através de um transferidor pode se obter o ângulo α entre a base da janela e a ponta do *brise* horizontal vista num corte transversal pela janela e o ângulo β entre um determinado canto e a ponta do *brise* vertical visto em planta. No entanto mais importante do que obter a medida dos *brises* em função de uma janela de dimensões já definidas, é poder operar livremente com as dimensões não só dos *brises*, mas também da janela, principalmente nas fases iniciais do projeto. Para isso é preciso que o arquiteto tenha em mente a relação em corte e em planta entre a dimensão da janela **J** e a dimensão do *brise* **B**. Se **J=B**, ou seja se a janela tem a mesma dimensão em corte ou em planta do que o *brise*, significa que α= 45º e β= 45º. Levando-se em conta como são marcadas as proteções verticais e horizontais com ajuda do transferidor, o arquiteto pode marcar sobre a indicação de radiação solar na fachada desejada, como será a proteção horizontal e vertical com **J=B**, ou seja, com ângulos de 45º. (Fig. 4.4.3) Para a proteção

[212] Ver figura 4.1.6

vertical basta marcar um ponto na metade do quadrante (1/8 de da circunferência), e ligar os pontos ao centro. Para o brise horizontal, basta marcar pouco menos da metade da normal à fachada e traçar uma curva que liga este ponto aos dois pontos extremos da fachada. Assim o arquiteto terá uma mascara sobre a área sombreada para proteções à 45º, ou seja *brises* que tem a relação **J=B**. Todo esse processo é rápido e permite ao arquiteto averiguar nas fases iniciais de projeto que tipo de *brise* terá que usar e se terá que trabalhar com anteparos maiores ou menores do que as janelas em planta e em corte. Poder trabalhar a relação entre **J** e **B** nas fase de anteprojeto é mais importante do que dimensionar o *brise* (definir a dimensão **B**). Através desse processo simples, que pode ser feito somente com croquis, o arquiteto saberá se determinada abertura necessita de um *brise* horizontal, vertical ou de ambos e ainda se a sua dimensão deve ser maior ou menor do que as dimensões da janela, o que significa saber se α deve ser maior ou menor do que 45° e se β deve ser maior ou menor do que 45°. Sabendo a relação que deve existir entre **J** e **B** para oferecer proteção à radiação solar direta numa determinada abertura, o arquiteto pode criar qualquer tipo de anteparo, até mesmo inclinado, desde que mantendo os mesmos ângulos α e β. (Fig. 4.4.4)

Numa fase posterior do projeto, as dimensões precisas para proteção solar, baseadas na carta solar exata daquela localidade poderão ser calculadas, utilizando *softwares* específicos. Mas o mais importante é que o tipo de brises e sua posição já terão sido determinados corretamente desde o estudo preliminar. [213]

[213] Para maiores detalhes sobre o processo geométrico de cálculo de *brises*, ver: FROTA; SCHIFFER (1995: 75)

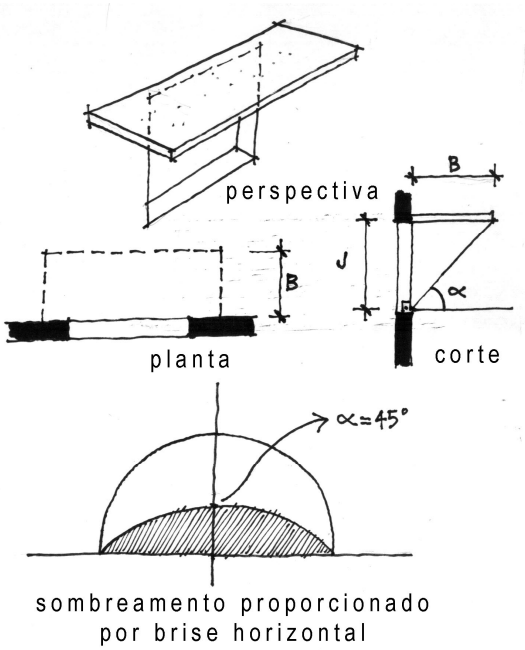


Figura 4.4.3a – *Brise* horizontal
Fonte: Desenho do autor

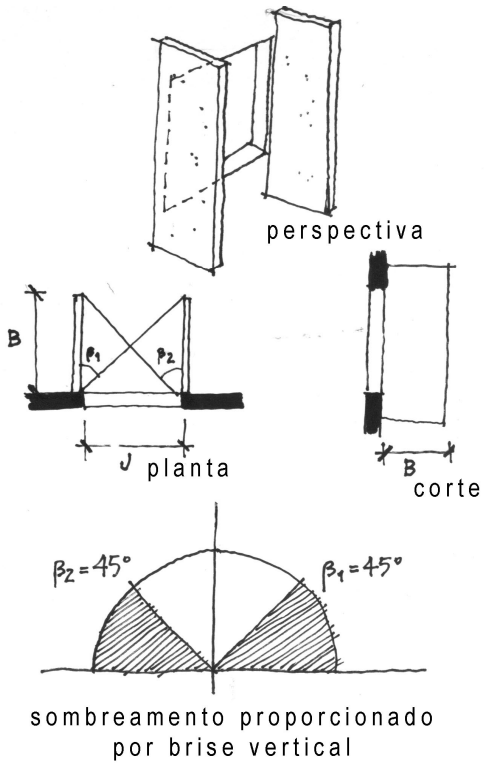


Figura 4.4.3b – *Brise* vertical
Fonte: Desenho do autor

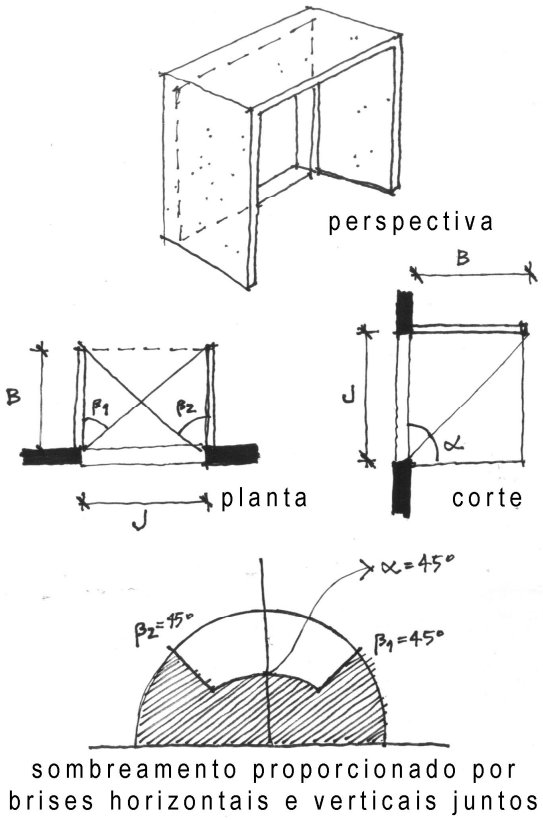


Figura 4.4.3c – Brise horizontal + vertical
Fonte: Desenho do autor

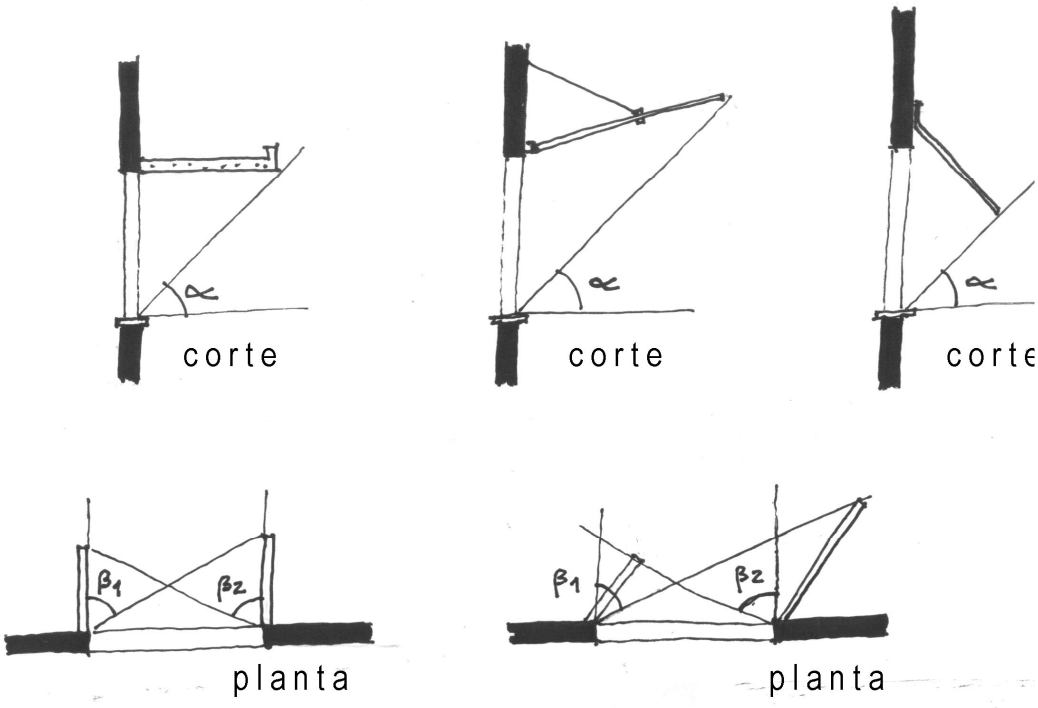


Figura 4.4.4 – Varições nas dimensões dos brises mantendo o mesmo ângulo
Fonte: Desenho do autor

4.4.12 . Iluminação Natural

01 – Influência na eficiência ambiental

A utilização do máximo de luz natural durante as horas em que é possível, além de reduzir os gastos de energia com iluminação artificial, reduz também os ganhos térmicos gerados pelas luminárias e lâmpadas.

02 – Estratégia

Os níveis de iluminação necessários para a realização da maioria das tarefas é em média 1.000 vezes menor do que os níveis de iluminação externos, o que mostra que a necessidade de luz natural nos recintos deve ser bastante controlada para evitar ganhos luminosos excessivos, que provocam ofuscamento e ganhos térmicos indesejáveis com a radiação solar. O objetivo de um projeto que faz uso da iluminação natural deve ser conseguir níveis mínimos de luz para viabilizar a realização de uma determinada tarefa em um espaço, durante o maior período de tempo ao longo do dia e ao longo do ano, sem nunca ultrapassar significativamente esse valor mínimo.

A quantidade de luz que penetra em um recinto é uma função basicamente da transmissividade das aberturas, da localização e do seu tamanho, da proporção e do tamanho do recinto, da refletância das superfícies internas e da refletância de obstruções e anteparos externos.

As superfícies que tem os maiores índices de transmissividade (**T**) são os vidros, plásticos e policarbonatos totalmente transparentes e incolores. Essas superfícies têm a grande vantagem da alta transmissividade, mas transmitem também grande quantidade de radiação solar de onda curta, o que contribui para um significativo incremento dos ganhos térmicos. Os vidros coloridos que têm pigmento adicionado na massa possuem transmissividade inferior aos transparentes e aqueles que são coloridos através de películas plásticas, como os laminados, têm transmissividade ainda menor. Os vidros com películas reflexivas externas metalizadas são os que têm menor transmissividade.

A localização e dimensão das janelas também têm forte influência nos níveis de iluminação natura. Uma janela deve ter dimensão mínima de 1/8 da área do recinto que ilumina, para oferecer níveis mínimos de luz. Além disso, o cômodo iluminado não deve ter profundidade maior do que 2,5 vezes a altura da janela para que a luz chegue até o fundo. Esse parâmetro mostra que uma janela em fita vertical é mais eficiente para iluminação natural do que uma janela

em fita horizontal com a mesma área, pelo menos no que diz respeito à profundidade de iluminação.

A refletância das superfícies internas também afeta a quantidade de luz que entra num recinto. Cômodos escuros tem níveis de refletância entre 20 e 35%. Cômodos com cores e materiais de tonalidades médias têm refletância entre 35 e 50%. Cômodos com superfícies brancas ou muito claras têm refletância entre 50 e 60%. Na prática, a maioria dos recintos consegue ultrapassar índices de refletância de 50% devido a presença de móveis, objetos, etc.

Também interferem na quantidade de luz que entra em um ambiente os anteparos, obstruções e superfícies externas em geral. Se seus índices de refletância são altos (alto albedo), então mais luz entrará em função da capacidade do entorno em refletir luz para dentro da edificação. No caso contrário, de superfícies externas à janela com baixos índices de refletância, reduzir-se-á consideravelmente a absorção de luz pela abertura.

No caso de espaços dentro da edificação que não estejam nos seus limites externos existem soluções para iluminação natural indireta, através de poços de iluminação e átrios das mais diferentes formas. Dependendo da condição climática local, esses átrios podem ser fechados ou não com superfícies translúcidas convertendo-se também em acumuladores de calor.[214] Em cômodos que não tenham janelas ou, ainda, em cômodos muito profundos, a iluminação natural pode ser aumentada através de entradas de luz através do teto, normalmente chamadas de iluminação zenital. Quando isso for possível, no caso do cômodo em questão estar no nível mais alto da edificação, é necessário criar algum tipo de anteparo para barrar a radiação solar direta e contribuir para que a luz penetre no ambiente de maneira difusa. Para que a luz penetre dessa forma é sempre importante utilizar anteparos e superfícies com alta refletância, ou seja, de cores claras, preferencialmente brancas.

Nesse sentido, um importante mecanismo de reflexão de luz para os ambientes é a prateleira de luz. Este mecanismo se baseia na idéia do *brise* horizontal mas com a superfície superior com alta refletância, e uma faixa de vidro entre ela e o teto. Desta forma a luz solar incide sobre essa superfície e reflete para o teto do recinto, de onde reflete para todo o espaço interno, inclusive para o fundo. Esta é uma solução que incorpora as vantagens da proteção de radiação solar direta do *brise* com a possibilidade de incorporação de luz natural refletida e difusa. A prateleira de luz deve se projetar para fora o tanto necessário para oferecer a proteção de um *brise* e para dentro de forma a proteger o recinto da entrada do sol quando ele está mais baixo, o que acarretaria incidência solar direta pela janela acima da prateleira. Vale lembrar que quanto

[214] Esta estratégia será abordada adiante ainda neste capítulo.

maior a refletância do teto maior a capacidade de entrada de luz natural através deste recurso. Em alguns casos os níveis de iluminação são maiores com a colocação de anteparos de cor clara à frente da janela, como prateleiras de luz, ou mesmo *brises* horizontais móveis do que sem nenhuma obstrução.[215]

03 – Pontos a serem considerados no projeto

Para o arquiteto potencializar a utilização de luz natural em seu projeto não basta aumentar ao máximo o tamanho das janelas ou criar panos de vidro em todas as paredes. O ganho térmico devido a radiação solar acompanha o incremento de luz e portanto devem ser criadas aberturas que deixem entrar a luz mas não o sol diretamente. De uma maneira geral, aberturas que deixam entrar a luz de maneira refletida e indireta são mais adequadas, pois conseguem fazer com que a luz entre em um ambiente de maneira difusa, sem que incida com grande intensidade nas proximidades da janela criando problemas com ofuscamento.

Antes de fazer as opções pelo tipo de abertura que irá proporcionar a iluminação desejada, o arquiteto deve verificar quais espaços precisam de mais luz e quais espaços precisam de menos luz e que tipo de luz esses espaços precisam, o que é definido pelo seu uso. Em seguida, o arquiteto deve tentar potencializar a entrada de luz nos espaços de maior uso através da escolha de vidros de maior transmissividade, dimensionando e posicionando as aberturas em função dos recintos, de seu tamanho, de sua profundidade e de seu uso. Por último o arquiteto deverá se valer da máxima refletância pra possibilitar maior entrada de luz através da reflexão de luz nas superfícies externas, utilizando sempre que possível, anteparos como por exemplo as prateleiras de luz.

4.4.13 . Ventilação natural por diferença de pressão

01 – Influência na eficiência ambiental

A ventilação interna de um espaço provocada pela diferença de pressão é a maior fonte de climatização natural para situações de clima quente e úmido como ocorre em grande parte do Brasil. A correta utilização deste recurso representa um grande avanço na direção da economia de energia elétrica com equipamentos de ventilação e de ar condicionado.

02 – Estratégia

---

[215] José Melendo mostra que no prédio do MESP, no Rio de Janeiro, isso ocorre em relação aos brises horizontais móveis na fachada norte. Ver: MELENDO (2004)

A ventilação dos espaços internos de uma edificação tem basicamente três funções distintas: manter a qualidade do ar no prédio sob certos níveis mínimos de troca do ar interno – viciado nos processos de respiração e uso – pelo ar fresco externo; proporcionar conforto térmico aumentando a perda de calor dos corpos e evitando o desconforto do suor; resfriar as superfícies internas do edifício quando a temperatura interna está acima da externa.

A ventilação natural dos espaços deve proporcionar uma renovação do ar suficiente para diminuir os níveis de dióxido de carbono e evitar cheiros desagradáveis. Mas a função primordial da ventilação natural nos ambientes internos de uma edificação, e que a liga diretamente à esta pesquisa, é sua ação com relação ao resfriamento e diminuição da umidade nos espaços internos das edificações. Os níveis de movimento do ar dentro de um espaço devem ser suficientes para resfriar a estrutura interna da edificação, aumentando as perdas de calor das paredes e objetos para o ar por convecção. Desta forma o ambiente como um todo é resfriado, perdendo calor para o ar que entra mais fresco, retira o calor e sai novamente. A ventilação através de um espaço tem também a importante função de aumentar as perdas de calor da superfície da pele dos usuários através da convecção e do aumento da evaporação de suor. Quanto menor for a pressão de vapor (relação entre a umidade e a pressão atmosférica), mais fácil será a transpiração e conseqüentemente maior a perda de calor para o ambiente. Em locais quentes úmidos, uma ventilação de aproximadamente 2 m/s é o ideal para evitar desconfortos e em locais quentes secos, entorno de 1 m/s. A ventilação é especialmente necessária em locais quentes, mesmo durante a noite, quando as temperaturas internas da edificação estão acima das externas – o que aumenta sua ação de resfriamento.

A forma mais eficiente de proporcionar este fluxo de ar dentro dos ambientes é através da ventilação cruzada. O termo ventilação cruzada se refere ao fluxo de ar criado em um determinado espaço dotado de duas aberturas distintas cada qual em lados submetidos a pressões de vento opostas. Isto quer dizer, que a ventilação cruzada só existe em um cômodo com uma janela situada numa parede a barlavento e outra em uma parede a sotavento. Há muita confusão no uso dessa expressão, principalmente no sentido da redução à abertura de duas janelas quaisquer. No entanto, se houver em um determinado ambiente duas aberturas mesmo que em alturas diferentes, de tamanhos diferentes e em paredes diferentes, haverá um fluxo de ar interno muito pequeno se essas paredes não estiverem sujeitas a níveis diferentes de pressão externa.

A ventilação cruzada pode ser forçada até mesmo em duas aberturas na mesma superfície, através da criação de anteparos fixos externos, como *brises* verticais que induzem pressões positivas ou negativas de vento a frente das janelas criando um fluxo de ar interno entre elas. Em cômodos onde não há circulação cruzada de ar, o tamanho da janela não faz muita

diferença com relação ao fluxo especificamente. Com relação ainda às dimensões das aberturas, a combinação de entradas de ar menores e saídas de ar maiores, produz correntes de ar velozes e mais concentradas próximas da entrada do que a combinação oposta. Isso significa que o tamanho da janela a barlavento importa pouco na definição de ventilação cruzada, que é muito mais determinada pela dimensão da janela a sotavento.

Quando se relaciona a necessidade de ventilação cruzada às necessidades específicas do uso deste espaço, é necessário pensar qual a intensidade e a qual a posição do fluxo de ar a ser criado. Como o ar quente e úmido tende a subir dentro de um ambiente pelo seu menor peso, quase sempre é desejável que o fluxo de ar passe pelas partes mais altas de modo a retirar a umidade interna. Como a altura e a posição da abertura de ar influencia muito mais a direção do fluxo do que a posição da saída de ar e então a abertura deve ser responsável pelo direcionamento desejado. A utilização de janelas basculantes nas tomadas de ar oferece a maior flexibilidade nesse sentido, uma vez que o fluxo pode ser direcionado para cima, para baixo ou ainda interrompido. É importante considerar que o fluxo de ar passando a uma altura de aproximadamente 1 metro pode ser extremamente indesejável em escritórios ou salas de aula por fazer papéis voarem.

Plantas que tem maior nível de compartimentação obviamente são menos beneficiadas pelos efeitos de ventilação cruzada do que plantas livres com divisórias no máximo até meia altura.

Em locais que não tenham problemas de excesso de umidade, podem ser criadas torres coletoras de ar para direcionar através delas o fluxo de ar para dentro dos ambientes. Nas entradas, filtros umedecidos são posicionados de forma a proporcionar resfriamento do ar que entra, através da perda de calor para a água por convecção.

03 – Pontos a serem considerados no projeto

O arquiteto deve ter em mente que para obter ventilação cruzada eficiente deve posicionar as fachadas principais em pressões de vento opostas. Além disso, garantir que os espaços internos sejam menos compartimentados de forma a obter maior fluidez dos fluxos de ar pelos ambientes. É importante também que o arquiteto posicione as aberturas e as saídas de ar de forma a criar fluxos de ar que retirem o máximo de calor sem prejudicar os usos desse espaço.

4.4.14 . Ventilação natural por diferença de temperatura

01 – Influência na eficiência ambiental

A circulação de ar por diferença de temperatura é capaz de criar fluxos de ar dentro dos espaços de forma a resfriar as temperaturas e retirar a umidade, reduzindo parte da utilização de sistemas de climatização artificial.

02 – Estratégia

Para locais quentes e mesmo para locais de clima temperado a força de ventilação provocada pela diferença de pressão (introdução de um fluxo de ar externo) é muito maior do que a ventilação provocada pela força térmica (convecção). Ainda sim, esta pode ser uma estratégia importante para situações em que a ventilação cruzada não seja possível. Isso é especialmente válido para edificações em meios urbanos adensados onde a movimentação do ar seja reduzida pela presença massiva de edificações ou, ainda, localidades com ofertas escassas de ventos. Para essa estratégia a posição do prédio em relação aos ventos dominantes não é importante já que independe deles.

Este fluxo de ar induzido, normalmente chamado de efeito chaminé, se baseia na movimentação do ar provocado pela diferença de temperatura. Como o ar mais quente tende a subir pelo menor peso, se houver uma abertura alta num cômodo, ela possibilitará a saída de ar quente que levará consigo parte do calor retirado deste recinto. O movimento de ar em direção à saída alta cria um vácuo nas partes baixas que tende a sugar algum ar externo para dentro. Se houver uma tomada de ar baixa, o ar mais fresco mais pesado e por isso mais baixo entrará na medida em que se cria essa sucção de dentro para fora.

A eficiência da ventilação por efeito chaminé depende basicamente da distância vertical entre a tomada e a saída de ar, do seu tamanho e da diferença de temperatura entre o ar exterior e o na parte mais alta do recinto (ar aquecido).

03 – Pontos a serem considerados no projeto

A configuração de um projeto pensado para possibilitar uma ventilação através do efeito chaminé terá que se basear na articulação vertical dos espaços de modo a permitir um funcionamento efetivo dos fluxos ascendentes de ar. A altura das saídas externa de ar pode ser aumentada, criando-se uma verdadeira chaminé, de forma a aumentar a diferença de altura entre as tomadas e saídas e assim incrementar o fluxo de ar. Da mesma forma se os dutos por onde o fluxo de ar subirá forem aquecidos, esquentarão o ar, que subirá mais rápido aumentando o fluxo de saída nos recintos. Isso pode ser obtido através de ganhos térmicos passivos nas chaminés através da radiação solar, por exemplo. Para tanto, devem ser utilizados cores, texturas e

materiais com alto índice de absorção da radiação de ondas curtas nas chaminés. Em termos de fluxo de ar através do efeito chaminé, o maior potencial é obtido quando as entradas e saídas têm o mesmo tamanho.

4.4.15 . Aquecimento passivo

01 – Influência na eficiência ambiental

Apesar de menos comum no Brasil, o uso de aparelhos elétricos ou a gás para calefação é utilizado em várias regiões com invernos mais marcados, determinando significativos gastos energéticos. Nesses locais, o aquecimento solar passivo pode ser uma boa estratégia para garantir um menor gasto com energia nesses locais.

02 – Estratégia

Nos países mais frios, localizados fora da faixa intertropical, os invernos são mais pronunciados gerando a necessidade da utilização de aparelhos para esquentar o ambiente. Mas também nestes países já existe há muito tempo, técnicas arquitetônicas para obtenção passiva de calor nos meses frios. Tal efeito pode ser obtido através da criação de áreas envidraçadas voltadas para o norte (ou para o sul se estiverem no hemisfério norte). Desta forma pode se determinar que o sol passará a maior parte do dia penetrando diretamente através do vidro, esquentando as superfícies internas, as quais emitirão radiação de onda longa que o esquentarão, por não conseguirem sair do ambiente. Esse artifício pode ser utilizado em cômodos de permanência prolongada, em que esse esforço se justifique e tomando devidos cuidados para evitar radiação solar diretamente sobre áreas de trabalho.

Em locais frios existem também estratégias para criar zonas intermediárias de acumulação de calor. Estes locais, envidraçados e voltados para o lado em que o sol passa no inverno, servem de acumuladores de calor por efeito estufa durante o dia, retardando sua entrada nos demais ambientes. Normalmente são áreas ajardinadas e por isso chamadas de jardins de inverno.

03 – Pontos a serem considerados no projeto

Em locais onde no inverno as temperaturas médias ficam na casa dos 10 a 15ºC ou mais baixas, o arquiteto deve pensar em soluções para o aquecimento passivo. A melhor delas se faz através da criação proposital de um efeito estufa, desde que restrito aquela época mais fria do ano. Esta restrição é imprescindível para um país como o Brasil sob pena de criar um efeito que

pode ser desastroso na maior parte do ano, com as temperaturas acima dos 15 a 20ºC. Esta restrição do efeito estufa ao inverno pode ser obtida associando-se às superfícies envidraçadas voltadas para o norte, proteções solares horizontais dimensionadas para permitir a entrada de sol somente no inverno quando ele está mais baixo.

O arquiteto pode também lançar mão de artifícios semelhantes, mas que não determinem o aquecimento direto dos espaços de permanência, criando zonas de aquecimento intermediárias ou paredes de acumulação de calor.

4.4.16 . Uso de vegetação na edificação

01 – Influência na eficiência ambiental

A presença de espécimes vegetais em uma edificação, especialmente nas áreas externas e junto às entradas de ar, traz vários ganhos objetivos, como a redução do ar que penetra na edificação, a diminuição do albedo e diminuição da penetração de radiação solar, o que traz para a edificação ganhos energéticos em vários níveis.

02 – Estratégia

A vegetação nas proximidades da edificação, próximo das aberturas de iluminação e ventilação traz alguns benefícios como a diminuição da temperatura do ar quando as correntes que passam por entre as copas perdem calor para as folhas por convecção. Também em virtude da evapotranspiração dos vegetais, o ar ganha umidade ao passar por elas levando umidade para os recintos, o que é desejável em locais secos. A presença de vegetação também aumenta a absorção de radiação solar nas proximidades da edificação, reduzindo a incidência de sol nas suas superfícies.

A presença de vegetação próxima às edificações pode, contudo, criar alguns problemas. Em locais de temperatura quente e úmida, a corrente de ar que penetra na edificação deve retirar o ar o calor e também a umidade e, nesses casos, árvores e arbustos próximos das tomadas de ar contribuirão para umedecer as correntes de ar que entram nos ambientes, o que se torna um problema. Além disso, nos casos em que os espécimes vegetais não estejam plantados no solo, deverão ser criadas caixas impermeabilizadas para abrigá-las. A utilização de vegetação na edificação cria também uma demanda extra de água, variando de uma espécie para outra, o que em certos casos pode ser problemático.

03 – Pontos a serem considerados no projeto

Apesar de grande parte das justificativas para utilização de vegetação em uma edificação ambientalmente correta se basearem em aspectos subjetivos, existem motivos mais pragmáticos para que o arquiteto lance mão desse recurso, desde que não crie para isso um esforço técnico e financeiro. Em muitos projetos e edificações ecológicas a presença de vegetação parece trazer mais prejuízos do que benefícios do ponto de vista da eficiência energética. Isso ocorre principalmente em casos em que espécimes vegetais são plantados longe do solo, em edificações verticais. Nesses casos, as caixas onde são plantadas, deverão ser dimensionadas de acordo com as raízes, o que deve determinar a escolha das espécies para que não sejam criadas cargas estruturais exageradas ou mesmo potenciais problemas de infiltração de água com problemas na impermeabilização dessas caixas. Espécies trepadeiras tem maior êxito nesse sentido por demandarem pequeno espaço para o plantio e conseguirem obter bons resultados como proteção solar. A necessidade de água pode ser suprida através de sistemas de captação de águas pluviais, aliviando o consumo de água tratada.[216]

[216] O tema do reaproveitamento de água é abordado no cap. 3.5.

5 . Estudo de Caso:
Disciplina Ofertada no Curso de Graduação de Arquitetura e Urbanismo da EAUFMG

Servindo como um estudo de caso da pesquisa, foi ofertada uma disciplina optativa no curso de graduação de arquitetura e urbanismo da escola de arquitetura e urbanismo da universidade federal de minas gerais, durante os meses de março, abril e maio de 2004. A disciplina teve um total de 30 horas-aula e foi restrita a um número de 24 alunos que estivessem cursando do sexto período em diante no curso de arquitetura e urbanismo [217]. A disciplina optativa foi ofertada como uma disciplina do departamento de projetos da escola (PRJ) e recebeu o nome de "Tópicos em projeto: a elaboração do projeto a partir do uso racional dos recursos naturais e energéticos". (Fig. 5.0.1)

A disciplina foi ofertada no período que marcou o começo da elaboração desta pesquisa. Dessa forma, desempenhou papel fundamental na elaboração do corpo principal que viria a constituí-la, formado exatamente por estratégias de projeto. Graças à experiência proporcionada pela disciplina, com o acompanhamento do desenvolvimento dos projetos dos alunos da graduação, pode ser desenvolvido o roteiro metodológico de projeto apresentado nos capítulos anteriores. Cumpre então ressaltar que a disciplina optativa teve a função de geradora do conjunto de estratégias e não de experimentação prática do roteiro que havia sido desenvolvido antes somente em nível teórico. Para que o planejamento das aulas pudesse ser feito, foi criado um esboço metodológico, um conjunto de pressupostos baseados na situação problema que havia sido diagnosticada. A base desses pressupostos estava na necessidade de uma maior fundamentação sobre os assuntos relativos à eficiência ambiental e a sua exposição aos alunos através de princípios científicos. Vários desses princípios foram selecionados e apresentados nas primeiras aulas.

A disciplina optativa contou com um número reduzido de horas-aula o que em parte foi compensado pelo número também reduzido de alunos. Dos 24 alunos matriculados, cinco não compareceram às aulas o que reduziu o número de alunos em sala de aula para 19.

5.1 . Metodologia Utilizada

A disciplina foi divida em dois módulos principais: um módulo teórico seguido de um módulo prático. No módulo teórico que deveria ocupar os primeiros três dias (seis horas-aula), foram apresentados alguns conceitos em cima dos quais seriam desenvolvidos os trabalhos práticos da disciplina, projetos de arquitetura. Nessas aulas, foram mostrados alguns conceitos

[217] Com isso pretendeu-se escolher aqueles alunos que já tivessem alguma experiência nas disciplinas de projeto. O curso de Arquitetura e Urbanismo oferecido pela EA-UFMG é dividido em dez períodos semestrais.

ESCOLA DE ARQUITETURA – DEPARTAMENTO DE PROJI

DISCIPLINA OPTATIVA: TÓPICOS EM PROJETO

A ELABORAÇÃO DO PROJETO A PARTIR DO USO RACIONAL DOS RECURSOS NATURAIS E ENERGÉTICOS.

CARGA HORÁRIA: 30 horas

PERÍODO: 1º Semestre 2004.
EMENTA: A elaboração do projeto a partir do uso racional dos recursos naturais e energéticos.
PROFESSOR: André Luiz Prado

A- MÓDULO TEÓRICO

Nas três primeiras aulas serão apresentados alguns conceitos em cima dos quais deverão ser desenvolvidos os trabalhos práticos (projetos) da disciplina.
A primeira aula mostrará os conceitos gerais que envolvem a relação entre arquitetura e meio ambiente e entre arquitetura e conservação de energia.
A segunda aula tratará mais especificamente dos assuntos relacionados com o desenho bioclim na arquitetura. Serão abordados conceitos gerais de conforto térmico e lumínico, aplicados ao projeto.
Na terceira aula, falar-se-á sobre outras estratégias para conservação de energia nas edificaçõe além do desenho da arquitetura. Serão mostrados outros aspectos técnicos de outras áreas alén arquitetura, que devem ser considerados na gestação de um projeto arquitetônico que pretende eficiente energeticamente.

B- MÓDULO PRÁTICO

Será desenvolvido um projeto arquitetônico ao longo do curso.
Este deverá ser desenvolvido em grupos de no máximo 3 (três) alunos.
Deverá também ser desenvolvido no horário das aulas e em horário extraclasse.
Durante as aulas práticas, orientações coletivas serão ministradas, reforçando e detalhando os conceitos mostrados nas aulas teóricas. Serão mostrados também, através de projeções, exemp práticos de projetos e soluções técnicas que da mesma forma, trabalham com os parâmetros da construção de edificações eficientes.
A participação de todos os alunos nas orientações é imprescindível para o desenvolvimento dos projetos de acordo com os parâmetros do curso e será avaliada.

OBJETIVOS PEDAGÓGICOS/ CONTEÚDO PROGRAMÁTICO

Apresentar ao estudante de arquitetura as preocupações relativas à conservação de energia pensadas desde a concepção inicial do projeto arquitetônico.
Demonstrar a importância de tratar as questões relativas à conservação de recursos energéticos naturais desde o início do processo e de forma aplicada ao projeto.
Verificar nos alunos a capacidade de operar criativamente em cima dos conceitos apresentados desta forma ir além da mera aplicação prática de um receituário pré-estabelecido.

PLANO DE TRABALHO

OS PROJETOS DEVERÃO SER DESENVOLVIDOS LEVANDO-SE EM CONTA OS CONCEITO APRESENTADOS AO LONGO DO CURSO.

TRABALHO PRÁTICO (projeto) – Valor Total: 70 Pontos
Programa Básico: Edifício comercial de salas (escritórios). Área líquida de aproximadamente 200
Local: Terreno de 820 m², localizado em Nova Lima, no bairro do Vale do Sereno.
Maiores detalhes sobre o trabalho serão fornecidos na apresentação do tema.

Figura 5.0.1a – Programa do curso: Página 1

PARTICIPAÇÃO NAS ORIENTAÇÕES COLETIVAS – Valor Total: 30 Pontos

TOTAL DE PONTOS DISTRIBUIDOS NO SEMESTRE: 100 PONTOS

Será aprovado o aluno **freqüente** que obtiver o mínimo de **60 pontos**, ou mais pontos, somados valores obtidos ao longo do curso. Será observada na avaliação de participação dos seminários d aluno, sua assiduidade, participação e interesse durante as aulas.

ATIVIDADES DISCENTES

Estão previstas atividades extraclasse para estudo, levantamentos, pesquisas, treinamento e, sobretudo, para prosseguimento e conclusão dos trabalhos iniciados em aula.
O trabalho prático desenvolvido pelos alunos deverá ser entregue encadernado em formato A2 (420x594mm), contendo além de todos os elementos imprescindíveis à compreensão do projeto (plantas, cortes, fachadas), também croquis explicativos demonstrando os princípios de funcionamento dos recursos de conservação energética e conforto ambiental aplicados ao projeto
Os alunos deverão assinar as listas de presença distribuídas no início das aulas para comprovaçã da sua freqüência. As listas serão arquivadas na secretaria do Departamento de Projetos e serão considerados **infreqüentes** os alunos que tiverem **mais de 25% de ausência nas aulas.**

CALENDÁRIO LETIVO

MÊS	AULA	DIA	ASSUNTO
MARÇO	01/02	17-Q	Apresentação do Curso – Introdução ao tema – Apresentação do T.P.
	03/04	22-S	Exposição de conceitos gerais
	05/06	24-Q	Exposição de estratégias aplicadas de projeto
	07/08	29-S	Exposição de estratégias aplicadas de projeto
	09/10	31-Q	Exposição de estratégias aplicadas de projeto
ABRIL	11/12	05-S	Apresentação de exemplos de edificações construídas
	13/14	07-Q	Seminário de orientações coletivas
	15/16	12-S	Seminário de orientações coletivas
	17/18	14-Q	Seminário de orientações coletivas
	19/20	19-S	Seminário de orientações coletivas
	21/22	26-S	Seminário de orientações coletivas
	23/24	28-Q	Seminário de orientações coletivas
MAIO	25/26	03-S	Seminário de orientações coletivas
	27/28	05-Q	Seminário de orientações coletivas
	29/30	10-S	**ENTREGA Trabalho Prático** Discussão sobre os trabalhos e encerramento do curso

Figura 5.0.1b – Programa do curso: Página 2

BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA (DISPONÍVEL NA BIBLIOTECA DA EAUFMG)

BLUME, Hermann. *La Casa Pasiva* - Clima y Arroho Energético. Tradução do inglês por José C Madri: Unigraf, 1884.
COSTA, Lúcio. *Registro de uma vivência*. São Paulo: Empresa das Artes, 1995.
GIVONI, B. Man. *Climate and Architecture*. Londres, 1976. (texto xerocopiado)
GRUPO DE ESTUDOS DE ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA DA ESCOLA DE ARQUITETURA UFMG. *Sistemas Construtivos Vernaculares de Minas Gerais e sua Adequação ao Fato Clima*. Belo Horizonte, 1983. (texto xerocopiado)
LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. *Eficiência Energé na Arquitetura*. São Paulo: PW Editores, 1997
MASCARÓ, Lúcia Raffo de. *Energia na Edificação*. São Paulo: Parma, 1985
_____. *Luz, Clima e Arquitetura*. São Paulo: FAUUSP, 1978
_____. *Ventilação Natural dos Edifícios*. São Paulo: FAUUSP, 1978
MILLER-CHAGAS, P. (org.). *Le Milieu Physique et le Projet d'Archictecture*. Strasbourg, 1986. xerocopiado)
OLGYAY, Victor. *Arquitectura y clima*. Manual de diseño bioclimático para arquitetctos y urbani Trad. Espanhola Josefina Frontado e Luis Clavet. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 199
PEREIRA, F.O.R. . *Iluminação Natural no Ambiente Construído*. Gramado, R.S., 1995. (texto xerocopiado)
RIVERO, Roberto. *Arquitetura e Clima* acondicionamento térmico natural. Tradução: José Migu Aroztegui. Porto Alegre: DC Luzzato, 1986.
ROMERO, Maria Adriana Bustos. *Arquitetura Bioclimática do Espaço Público*. Brasília: ed. Universidade de Brasília, 2001.
_____. *Princípios Bioclimáticos para o Desenho Urbano*. São Paulo: Pro Editores, 2001.
SERRA, Rafael. *Arquitectura y climas*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 1999.
SHEPPARD, Richard; WRIGHT, Hilton. *Building for a Daylight*. Londres: George Allen & Unwin 1948.
STEADMAN, Philip. *Energia, Medio Ambiente y Edificación*. Tradução do inglês por Rosa Aguil Madri: Unigraf, 1978.
SZOKOLAY, S.V.. *Energia Solar y Edificacion*. Tradução do inglês por Kyrill Pawlowsky. Barce Blume, 1978.
VALE, Brenda; VALE, Robert. *The new autonomous house*. Londres: Tames & Hudson. 2000.
YEANG, Ken. *El rascacielos ecológico*. Trad. Espanhola de Carlos Saenz de Valicourt. Barcelo Editorial Gustavo Gili, 2001.

Figura 5.0.1c – Programa do curso: Página 3

gerais que envolvem a relação entre arquitetura e meio ambiente e entre arquitetura e conservação de energia, assuntos relacionados ao chamado desenho bioclimático da arquitetura e à configuração formal na arquitetura, estratégias para conservação de energia nas edificações, além do desenho da arquitetura através de aspectos técnicos de outras áreas que devem ser considerados na gestação de um projeto arquitetônico que pretende ser eficiente energeticamente.

No segundo módulo, que ocuparia o restante das aulas, foi proposto um projeto arquitetônico a ser desenvolvido em grupo. Estes, por sua vez, foram organizados para conterem dois ou três alunos. Desde o início do planejamento da disciplina, pensava-se em fazer orientações de projeto de maneira coletiva, detalhando os conceitos mostrados nas primeiras aulas para todos os grupos e auxiliando os alunos a adaptá-los às especificidades de cada projeto. Também fazia parte do planejamento inicial que essas orientações fossem interrompidas às vezes para exposição de alguns exemplos construídos através de projeções. Assim alguns temas levantados em alguns projetos poderiam ser discutidos através de um exemplo de aplicação prática em projeto, deixando definitivamente de lado seu caráter apenas teórico como fora discutido nas primeiras aulas.

O trabalho prático, o ponto chave da disciplina optativa, se caracterizava por um projeto arquitetônico, desenvolvido até o nível de anteprojeto, para um edifício vertical de escritórios com uma área útil de aproximadamente 2.000 m². O local escolhido para o projeto foi um lote de aproximadamente 820 m², com um declive de cerca de 30m no loteamento denominado Vale do Sereno em Nova Lima, na Grande Belo Horizonte. O lote tem a forma de um trapézio, com 18 metros de largura e 41,5 metros na lateral maior e 47,5 metros na lateral maior. Seu acesso se faz por duas ruas, por cima através da rua das acácias e por baixo pela rua pau-brasil. (Fig. 5.0.2)

O lote escolhido situa-se numa das áreas de maior crescimento imobiliário da região de Belo Horizonte. Devido a sua proximidade com a capital, a cerca de 20 min. da região central da cidade, e à presença de centros de comércio, faculdades e condomínios de alto luxo, a região tem crescido rapidamente nos últimos anos. A escolha deste local para o projeto de um edifício ambientalmente eficiente está ligada a necessidade de se tentar trabalhar dentro da idéia de eficiência ambiental dentro da realidade da construção no país. A chance de realizar um projeto em um local de tamanho interesse por parte da especulação imobiliária na capital mineira dá aos alunos a chance de colocar suas propostas frente a frente com o que está sendo realizado hoje, forçando-os a ter uma visão crítica tanto dos projetos que estão sendo construídos como das suas próprias propostas.



Figura 5.0.2a - Vista lateral do terreno



Figura 5.0.2b – Vista frontal do terreno

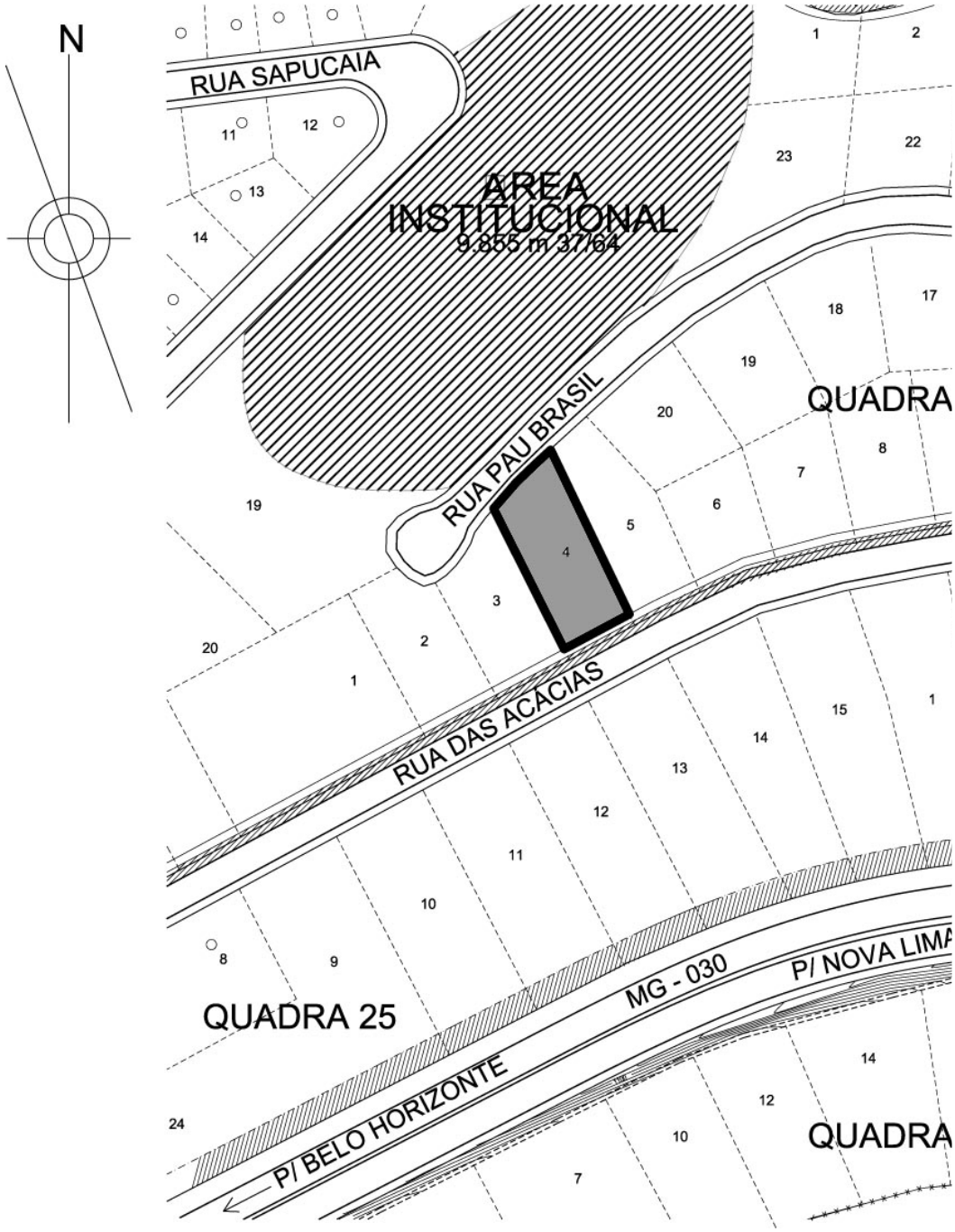


Figura 5.0.2c – Situação Lote

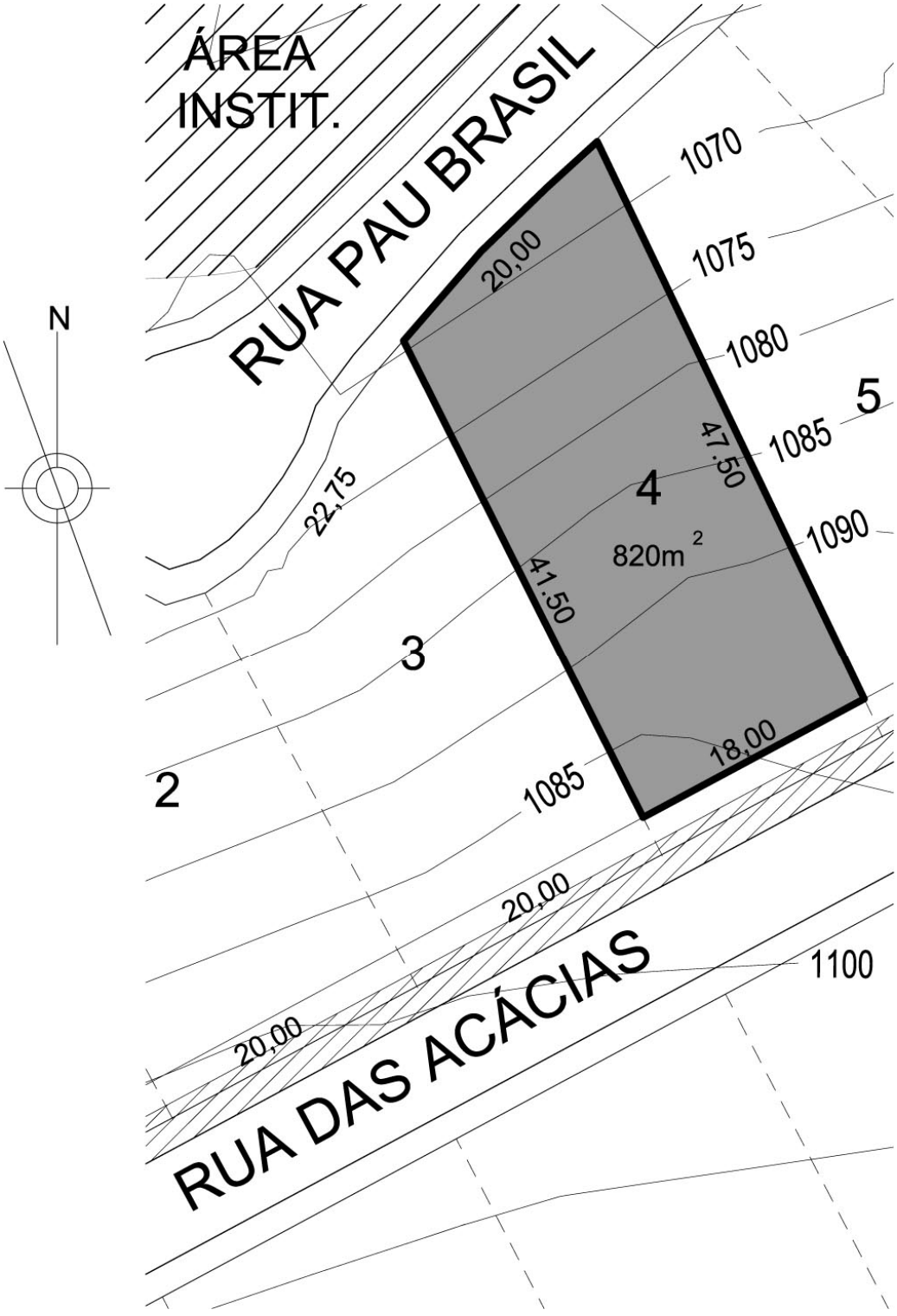


Figura 5.0.2d – Planta Lote

5.2 . Objetivos da disciplina

Alguns objetivos que faziam parte do planejamento inicial mantiveram-se ao longo das aulas como um norte a garantir um foco bastante determinado. Isso foi crucial para conseguir um máximo aproveitamento das poucas aulas teóricas. Os objetivos principais da disciplina em cima dos quais procurou-se trabalhar foram:

- Apresentar ao estudante de arquitetura as preocupações relativas ao meio ambiente principalmente no que diz respeito à conservação de energia elétrica e ao uso prudente da água;
- Verificar a pertinência de levar em consideração estas preocupações desde a concepção inicial do projeto arquitetônico;
- Demonstrar a importância de tratar as questões relativas à conservação de recursos energéticos e naturais como conceitos de outras áreas distintas da arquitetura, como conhecimentos aplicados ao projeto;
- Verificar nos estudantes a capacidade de operar criativamente num projeto com todos os seus condicionantes e ainda em cima dos conceitos ambientais discutidos para tentar ir além da mera aplicação de soluções prontas ou de um simples arranjo de elementos arquitetônicos pré-estabelecidos;
- Colocar durante todo o processo da elaboração dos projetos, a condição de igualdade com que os aspectos relativos à eficiência ambiental devem ser tratados em relação ao demais aspectos normalmente abordados como questões ligadas à configuração formal, aos aspectos técnicos e ás questões funcionais.

5.3 . Resumo das Aulas

A experiência docente anterior e a experiência profissional com projeto de arquitetura tornaram as aulas bastante proveitosas. Tanto as estratégias de projeto como os projetos individuais foram analisados coletivamente, através das discussões com os alunos e entre eles próprios. Essa discussão interna pareceu ter sido bastante proveitosa em virtude da escolha de

trabalhar os projetos em pequenos grupos. Com relação às discussões gerais com os alunos, de forma geral, alguns assuntos dos quais se esperava extrair boas discussões acabaram se esgotando rapidamente e, em contrapartida, alguns conceitos sobre os quais se pretendia falar rapidamente geraram algum debate mais aprofundado. Isso exigiu constante adaptação do planejamento inicial.

O reduzido número de alunos contribuiu para uma maior troca de informações e uma maior aproximação com cada um dos projetos desenvolvidos. Os alunos demonstraram interesse nas aulas expositivas, mas também demonstraram uma certa ansiedade para começar o projeto e assim tentar colocar em prática os conceitos que estavam sendo discutidos. Quando se percebeu essa vontade geral para que se iniciassem logo os projetos, o que ocorreu entre o terceiro e o quarto dia de aula, optou-se por concentrar os aspectos que ainda faltavam ser abordados em apenas mais uma aula, a fim de começar logo com as orientações de projeto. Com isto, as orientações se iniciaram com uma aula de antecedência, passando do sétimo para o sexto dia.

Esse foi um dos aspectos mais ricos proporcionados pela disciplina: a relação entre teoria e prática no ensino de projeto. A concentração de uma carga teórica exagerada no início do curso, mesmo que diretamente relacionada ao projeto, deu claras mostras de ser pouco eficiente. Na medida em que os alunos mostravam-se pouco interessados e ansiosos para começar o projeto durante a exposição de conteúdos teóricos, percebeu-se que os erros apontados no ensino de conforto ambiental poderiam estar se repetindo na disciplina, mesmo se tratando de uma disciplina de projeto. Isso porque os conceitos teóricos se tivessem sido explorados durante mais algumas aulas teriam diminuído sua chance de aplicabilidade prática direta. Como as aulas iniciais eram constituídas de um conjunto de aplicações práticas de conceitos teóricos, corria-se o risco de fazer com que grande parte da informação transmitida não fosse assimilada pelos alunos se não fosse colocada em prática logo. A transmissão de um conjunto tão grande de estratégias de projeto, oriundos de várias áreas distintas do conhecimento, mostrou ser muito mais eficiente para o estudante de arquitetura, ao longo do projeto, durante as orientações das propostas, após a explanação básica inicial das primeiras aulas. Nesse sentido também ficou claro que se as aulas práticas prescindiam das aulas teóricas, a recíproca era verdadeira, uma vez que seria muito mais difícil abordar todas essas estratégias de projeto sem que os assuntos tivessem sido abordados antes em um nível teórico ainda que bastante sucinto.

O envolvimento dos alunos com a disciplina aumentou quando começaram as orientações de projeto. Apesar de haver apenas sete grupos, entre triplas e duplas, o horário da

aula era invariavelmente extrapolado. Além disso, como em duas oportunidades nem todos os alunos conseguiram ser orientados, foi necessário marcar horários extras no dia seguinte. O aumento significativo do interesse dos alunos aconteceu principalmente na medida em que cada um deles percebia a possibilidade real de aplicação dos conceitos teóricos estudados, em seus projetos. Também ficaram entusiasmados com o universo de possibilidades de aplicação prática que se abriu para eles através dos projetos. Isso foi um dos motivos que reforçou durante a elaboração da pesquisa, a impressão de que as estratégias de projeto deveriam ser trabalhadas apenas no nível conceitual, para não direcionar qualquer tipo de formalização das propostas arquitetônicas.

É claro que nas primeiras orientações, os alunos permaneciam ainda um pouco temerosos em trabalhar com um projeto que normalmente já ofereceria a eles grandes dificuldades de elaboração e ainda tendo que levar em consideração todos os assuntos que foram abordados antes. Por isso mesmo, as primeiras orientações cumpriram o importante papel de demonstrar a eles que todos os assuntos não deveriam ser pensados separadamente das demais questões que balizavam o projeto, como as demandas do programa e a legislação municipal, por exemplo. Na medida em que isso foi percebido por eles, as orientações foram cada vez mais produtivas e ficou mais espontânea a consideração de aspectos ambientais aliados às considerações que eles já conheciam das outras disciplinas de projeto. Essa noção, de levar em conta os aspectos ambientais através dos demais aspectos de projeto e não como um grupo isolado de demandas, foi proporcionada pelas orientações da disciplina optativa e serviram de base para orientar a estruturação do capítulo 4 da pesquisa, sobre as considerações e estratégias para o projeto arquitetônico.

As reflexões de ordem mais técnica e tecnológica, ligadas a aspectos de engenharia, quase não foram abordados durante as orientações, devido ao pouco tempo e à quantidade de informações com que os alunos já estavam trabalhando. Ainda sim, nos dois últimos dias de orientação, todos os grupos foram lembrados sobre algumas considerações principalmente a respeito de reuso de água. A busca pela eficiência dos sistemas de iluminação e climatização artificial assim com os sistemas de automação predial não foram abordados nessas últimas orientações em virtude do nível de desenvolvimento dos projetos.

Os principais assuntos abordados nas aulas expositivas foram os seguintes:

1º. DIA (Aulas 01/02) – Introdução e Conceitos Gerais

Inicialmente, foram explicadas aos alunos as motivações para escolha do tema como dissertação de mestrado assim como as razões para a opção por um estudo de caso através de uma disciplina no curso de graduação de arquitetura.

Como a sala de aula só seria utilizada pela disciplina durante todo o semestre, uma frase que sintetiza os objetivos da disciplina foi escrita no quadro negro, onde permaneceu até o final do curso. A frase era "elaboração do projeto arquitetônico a partir do uso racional de recursos naturais e energéticos", exatamente o nome da disciplina e também o título da pesquisa. Pretendeu-se com isto, como foi explicado aos alunos, ter durante todo o período das discussões um norte bem definido, a sinalizar exatamente o rumo que se deveria tomar, não perder de vista os objetivos nem desviar o foco do trabalho durante as discussões e as orientações de projeto. Também a metodologia de trabalho foi explicitada, bem como algumas características gerais do projeto a ser desenvolvido.

A seguir, de maneira panorâmica, foram listados e discutidos alguns dos parâmetros principais que comparecem no processo de elaboração arquitetônica, a saber, aqueles ligados ao lugar, ao uso, à técnica e à forma, nesta ordem. A escolha destes quatro aspectos se dá por motivações didáticas e pela sua ampla abrangência das mais diversas questões que são consideradas no processo de projeto. Foi demonstrado que o projeto a ser desenvolvido deveria levar em conta as questões relativas à eficiência ambiental através das demandas usuais de um projeto arquitetônico e não como um grupo separado de preocupações a serem inseridas num dado momento do processo. Foram discutidas as formas através das quais isso poderia ocorrer, através de exemplos práticos. Foi recomendada aos alunos, a leitura paralela do livro "Eficiência Energética na Arquitetura" (LAMBERTS et. al, 2004), por tratar de vários assuntos que seriam abordados no curso e principalmente pela forma pela qual são abordados, voltados para o projeto arquitetônico.

2º. DIA (Aulas 03/04) – Conceitos Gerais e Estratégias aplicadas

Foram abordados aspectos relacionados à consideração dos recursos naturais e energéticos como bens comuns, que devem ser compartilhados por todos, de onde se extrai a justificativa para o zelo com a sua utilização. A partir dessa discussão, foram debatidas questões gerais sobre a relação entre arquitetura e ecologia.

Numa retomada dos conceitos discutidos na primeira aula, foi buscado um aprofundamento nas discussões sobre eficiência energética, arquitetura ecológica, arquitetura verde, e arquitetura bioclimática. Foi sugerida a idéia de tentar extrair dessas várias correntes

aquilo que tivesse maior interesse para o cumprimento dos objetivos enunciados no nome da disciplina, de modo a formar uma idéia mais ampla.

Dentro deste tópico, discutiu-se também o objetivo da disciplina que é trazido pelo seu nome. No lugar de propor-se uma “Arquitetura eficiente” ou uma “Arquitetura Bioclimática”, propôs-se uma “Arquitetura elaborada a partir da racionalização do uso dos recursos naturais e energéticos”. Procurou-se aprofundar as diferenças que nascem da escolha deste nome em relação aos objetivos pretendidos, mostrando a diferença entre considerar tais aspectos no momento inicial do projeto ou em suas fases posteriores.

Depois dessa discussão, como forma de ilustrar o quadro do consumo energético brasileiro, foi mostrado um quadro geral do balanço de energia do país. Através deste panorama, pode-se abrir uma discussão sobre as origens dos problemas com o consumo energético no país, principalmente nos setores residencial e comercial, que interessavam mais de perto aos objetivos da disciplina. Após a discussão sobre esse panorama, procurou-se discutir onde o arquiteto deveria agir para diminuir o consumo energético, uma vez que os pontos críticos já haviam sido mostrados no quadro anterior. Coletivamente, chegou-se a conclusão de que a chave para a solução do problema passava principalmente pela diminuição do consumo de energia com iluminação e condicionamento artificial (resfriamento/calefação). A partir daí, chegou-se a um objetivo a ser perseguido no projeto que seria desenvolvido pelos grupos. Este objetivo também foi escrito no quadro, como referência para o desenvolvimento dos trabalhos práticos:

POTENCIALIZAR A ILUMINAÇÃO NATURAL A E VENTILAÇÃO NATURAL ATRAVÉS DO PROJETO ARQUITETÔNICO.

Iniciaram-se discussões com relação a relação entre o edifício e o lugar, assim como a forma arquitetônica em relação a adaptação climática. Foram dados exemplos de casos extremos de adaptação da forma das edificações ao clima como iglus, cabanas do deserto, casas mediterrâneas, casas subterrâneas, palafitas e a dificuldade para o arquiteto em projetar em lugares que estão sujeitos a diferentes condições ao longo do dia ou do ano.

Falou-se da importância da implantação da edificação para se atingir melhor os objetivos. Destacou-se a importância da orientação em relação ao sol e aos ventos dominantes, da relação com o entorno natural ou urbano, da topografia. Sobre este último aspecto, procurou-se aprofundar um pouco mais em virtude das dificuldades que seriam encontradas no terreno escolhido para implantação do projeto, devido ao seu forte declive. Foi demonstrado o custo energético criado com movimentos de terra exagerados, que criam excessivos cortes e aterros e os problemas ambientais gerados por estas movimentações, principalmente pelos chamados

"bota-foras". Com vistas à correta orientação dos alunos com relação a esse problema que seria encontrado adiante, procurou-se, portanto, criar uma maior preocupação com as questões ligadas aos movimentos de terra.

Visando especificamente o projeto que deveria ser elaborado em seguida, discutiu-se alguns aspectos específicos da elaboração de edificações verticais. Tomou-se como base para estas discussões o livro *The Green Skyscraper* [218], que trata principalmente da relação entre edificações verticais de maior porte e meio ambiente. Foram discutidas: as vantagens da verticalização em relação à maior ocupação do solo; as relações ecológicas nos grandes edifícios; a possibilidade de haver sustentabilidade na arquitetura de grandes edifícios comerciais; as relações entre o edifício e o meio urbano e natural em relação ao que ele consome e ao que ele lança através das redes públicas; a viabilidade do edifício verde como proposto no livro, com um caráter positivo e regenerativo frente ao meio natural.

3º. DIA (Aulas 05/06) – Estratégias Aplicadas

Nesta aula foram desenvolvidas estratégias baseadas nos conceitos discutidos anteriormente, aplicadas diretamente ao projeto.

Tratou-se da importância das vedações para o projeto. Discutiu-se através de croquis esquemáticos desenhados no quadro alguns conceitos como refletividade, absortividade e transmissividade. Discutiu-se a idéia de retardo e amortecimento de calor, de inércia térmica e da importância do conceito de massa térmica, como um instrumento de projeto tanto para locais frios como quentes.

Discutiu-se bastante sobre a utilização dos *brise-soleils*. Pode-se perceber que apesar de grande parte já ter passado pela disciplina de conforto ambiental – há poucos meses antes – nenhum deles se lembrava perfeitamente de como calcular os *brises* do projeto. Foi explicado que os alunos deveriam em seus projetos utilizar este recurso se fosse necessário, mas que o dimensionamento preciso dos mesmos não seria exigido. Procurou-se dar ênfase à articulação formal entre eles e os demais elementos da edificação, o que seria exigido nos projetos. A falta de capacidade dos alunos em calcular os brises, pouco tempo após terem saído das disciplinas de conforto, motivou a tentativa de desenvolver um sistema mais rápido e intuitivo para um pré-dimensionamento desses elementos, como foi visto no capítulo 4.

[218] YEANG (2001)

Falou-se também das fachadas de vidro e das vedações translúcidas. A geração do efeito estufa foi abordada e também foram discutidas as propriedades dos vidros e as possibilidades geradas pelas peles duplas de vidro de efeitos chaminé e efeito venturi.

4º. DIA (Aulas 07/08) – Estratégias Aplicadas

Inicialmente, foram abordados aspectos relativos à ventilação e iluminação natural. Foram mostradas as diferenças entre iluminação e ventilação totalmente artificiais, totalmente passivas e mistas. Nesse sentido, foi discutida a possibilidade de usar estratégias de projeto, não para eliminar qualquer uso de iluminação e climatização artificial, mas sim para minimizar seu uso.

Foram discutidas as possibilidades de utilização de sistemas passivos de ventilação. Foi mostrado como funciona a ventilação por diferença de pressão e a ventilação por diferença de temperatura. Foram discutidos os efeitos do vento sobre a edificação e as modificações provocadas pelos edifícios no microclima urbano. Essa questão interessava de perto ao projeto, uma vez que o loteamento onde seria implantado se encontra em um vale que recebe um vento constante. Como o loteamento ainda tem uma ocupação bastante rarefeita, discutiu-se a diferença entre trabalhar com possibilidades de ventilação natural no edifício sem e com edificações vizinhas.

As possibilidades de iluminação natural também foram abordadas. Foi demonstrado o conceito da prateleira de luz ou *light-shelf*. Foram discutidos assuntos relacionados às necessidades de luz para um espaço de trabalho, o que seria necessário para o projeto do edifício de salas. Foram também discutidos alguns conceitos ligados à iluminação artificial.

No final da aula foram expostos assuntos ligados às possibilidades de automação predial, e ao conceito de “edifício inteligente”. Também foram discutidas fontes alternativas de energia e geração autônoma. A utilização de energia hidráulica e eólica foi mostrada, mas descartada para utilização no projeto a ser realizado. Sistemas de geração de energia a partir da radiação solar foram mostrados, assim como a possibilidade de aquecimento de água através da energia do sol foram discutidos. Sobre este último foi explicado que seu uso maior se dá em edificações residenciais por causa dos banhos, mas como o lote se encontra em uma região fria no inverno, a utilização desses sistemas foi considerada interessante por alguns alunos, mesmo que somente para os lavatórios. Foram explicadas também as possibilidades de reutilização de águas de esgotos cinzas e águas pluviais na edificação, tanto no que diz respeito aos seus princípios de funcionamento como nos espaços que necessitam na edificação.

5º. DIA (Aulas 09/10) – Parâmetros para o Projeto e Análise de Objetos Construídos

Na primeira metade da aula foram discutidos os parâmetros urbanísticos para o projeto e o programa, já com vistas ao desenvolvimento do trabalho prático a partir da aula seguinte, adiantando o início das orientações.

Os alunos foram incentivados a ir ao terreno desde a primeira aula, quando o local foi apresentado em sala de aula e plantas do terreno foram fornecidas. A grande maioria dos alunos foi ao terreno nas duas semanas do período entre o 1º. e o 5º. dia de aula. Todos ficaram bastante impressionados principalmente com o grande declive que encontraram. Foi solicitado aos alunos que observassem as soluções construtivas dos prédios com programa semelhante nas regiões próximas ao lote escolhido para o projeto e que opinassem com relação à sua eficiência ambiental.

As questões trazidas por eles como críticas das edificações foram trabalhadas de modo a criar uma discussão mais consistente, eliminando as questões que esbarravam nas preferências pessoais e de juízo de valores. Essas questões, discutidas em cima dos problemas apontados, acabaram se tornando referências para os projetos desenvolvidos por eles. Uma das principais questões abordadas foi com relação à implantação das edificações nos lotes de forte inclinação, vizinhos ao do projeto. Todos concordaram que as soluções utilizadas pela grande maioria dos pequenos edifícios comerciais da região ou cortavam demais o terreno, gerando enormes bota-foras, no caso dos terrenos em aclive. No caso dos terrenos em declive, o problema apontado foi a criação dos chamados “paliteiros” sob os prédios, subestruturas abaixo da base, compostas de vários níveis, aparentes e sem qualquer uso. Esse problema em particular tomou boa parte da aula, o que foi produtivo porquanto foram questionados os limites entre a viabilidade de um projeto ambientalmente eficiente e, ao mesmo tempo, economicamente eficiente, que atende as exigências do mercado imobiliário. Felizmente, nesse particular, chegou-se à conclusão de que é possível tentar se estabelecer uma zona de confluência de interesses ambientais, onde se manifestam os assuntos discutidos na disciplina e dos interesses econômicos e onde é admitida a viabilização econômica como um dos fatores prioritários do projeto. Foi colocada também a noção de que apesar de serem possíveis, essas estratégias não são colocadas em prática muitas vezes pela forma com que a especulação imobiliária cria novas edificações, repetindo modelos arquitetônicos prontos e já bastante testados independentemente do lugar onde são implantados, o que cria, por exemplo, o problema dos “paliteiros”.

Também foram discutidas outras questões observadas nos prédios comerciais de pequeno e médio porte no Vale do Sereno e Vila da Serra. Foi observado que as aberturas nos prédios poucas vezes observam as melhores orientações solares. Também neste caso, a repetição de modelos tipológicos prontos em qualquer terreno foi apontada como responsável por essas discrepâncias do ponto de vista do consumo de energia.

Na segunda parte da aula foram apresentadas através de projeções, algumas obras construídas de arquitetura. Essas obras foram escolhidas em função da sua preocupação com o uso racional de recursos naturais e energéticos. Com vistas a um maior aprofundamento da análise dos projetos, optou-se por resumi-las a apenas duas, sendo um exemplo estrangeiro e outro brasileiro. Para o exemplo estrangeiro foi apresentado o projeto do arquiteto italiano Renzo Piano para o seu *Building Workshop*, na Itália, que serviu para demonstrar uma estratégia projetual para um terreno acidentado gerando menor impacto no terreno natural. Para ilustrar a consideração destas questões no projeto de arquitetura em obras brasileiras, foram escolhidos os projetos do arquiteto João Filgueiras Lima, o Lelé, para os hospitais da rede Sarah Kubistschek.

Nas aulas seguintes os alunos desenvolveram os trabalhos práticos distribuídos em sete grupos. Destes, seis grupos conseguiram entregar o projeto.

5.4 . Análise dos trabalhos finais da disciplina

Como os alunos que se matricularam na disciplina eram oriundos de diferentes períodos do curso de graduação, e se agruparam por questões de afinidade, os trabalhos apresentam, já numa primeira análise, considerável heterogeneidade entre si. Isso já era esperado e fez com que os trabalhos fossem orientados e analisados de maneiras distintas, evitando comparações. Os alunos matriculados na disciplina estavam cursando do quinto ao nono período do curso de graduação.[219]

Apesar da diferença encontrada nos níveis de maturidade na elaboração do projeto, pode-se dizer que todos os seis trabalhos entregues conseguiram atingir um ótimo nível de

[219] O curso de graduação de Arquitetura e Urbanismo na EA-UFMG conta, pelo menos até o período em que a disciplina optativa foi ofertada, com seis cadeiras de projeto, desenvolvidas do quarto ao nono semestre, chamadas Projeto Arquitetônico 1,2,3 e 4 e Projeto Integrado de Arquitetura e Urbanismo 1 e 2. Além, disso, há uma disciplina introdutória ao projeto no terceiro semestre e o TFG, trabalho final de graduação, constituído de um projeto arquitetônico, desenvolvido no décimo semestre. O primeiro contato dos estudantes com um projeto para uma edificação vertical acontece no sétimo período, na disciplina Projeto Arquitetônico 4. Os alunos matriculados na disciplina optativa e que estavam cursando o quinto, sexto e sétimo períodos nunca haviam tido algum contato com um projeto dessa natureza.

desenvolvimento, cada qual a sua maneira. Foi exatamente este excelente nível encontrado nos projetos que forneceu material precioso usado como fonte de estudo e reflexão para a elaboração do corpo principal desta pesquisa. Os seis trabalhos e seus comentários encontram-se a seguir. [220] Os comentários tiveram por objetivo avaliar o resultado final dos projetos através da análise de cinco aspectos distintos, que coincidem com a metodologia proposta nos capítulos 3 e 4. São eles: as considerações do lugar, as considerações de uso, as considerações construtivas e as considerações da forma que compõe o quarto capítulo e ainda as considerações técnicas que foram discutidas em sala e serviram de base para a constituição do terceiro capítulo da pesquisa. A análise se baseia na verificação de considerações ambientais discutidas na sala de aula por trás das considerações de projeto, o que permite avaliar a capacidade dos alunos de projetar considerando as questões ambientais através das demandas de projeto com que eles já trabalham nas outras disciplinas. A análise também tenta avaliar a capacidade criativa de cada um dos grupos em articular aspectos formais, técnicos, funcionais e ainda com todas questões levantadas nas aulas expositivas. Isso significa tentar verificar em que medida foram capazes de criar suas próprias soluções arquitetônicas em cima dos princípios discutidos, sua capacidade de operar positivamente com os dados que lhes foram apresentados e de configurar propostas em cima de uma metodologia baseada em conceitos oriundos de outros campos do conhecimento.

GRUPO 1

Formado por três estudantes do sexto e sétimo períodos do curso de graduação. Apresentaram um projeto bem desenvolvido apesar de várias pequenas falhas na representação, próprias de alunos ainda cursando os primeiros projetos. Ainda sim, conseguiram articular de maneira satisfatória as questões funcionais, técnicas e estéticas sem perder de vista todas as preocupações necessárias à elaboração de um projeto ambientalmente eficiente. Considerando o fato de que ninguém no grupo havia finalizado o primeiro projeto de uma edificação vertical nas disciplinas regulares de projeto do curso, pode-se afirmar que o resultado obtido foi surpreendente, tendo em vista o pouco tempo para desenvolver questões próprias desse tipo de projeto e com as quais não estavam familiarizados.

---

[220] As pranchas finais dos seis grupos se encontram no volume anexo

Uma questão significativa do projeto, sua implantação, apresentou-se pouco consistente. Optou-se pela implantação de todo o programa na parte superior do terreno, tendo acesso pela rua das acácias. A parte inferior do terreno foi ocupada por uma massa vegetal, o que garantiu uma série de qualidades ao projeto, entre elas uma maior área permeável de solo do que o solicitado pela legislação municipal e a possibilidade de utilizar espécies vegetais nativas como elementos de auxílio do controle do microclima. No entanto, essa área, onde foi prevista a utilização de árvores, permaneceu sem qualquer tipo de integração funcional com o projeto, como pode ser percebido principalmente através da seção vertical V1. (Anexo 1) Mesmo no que diz respeito à integração visual, somente o foyer consegue se relacionar com a área das árvores. Os andares de uso comum no nível da rua das acácias (pilotis e mezanino) têm pouca ligação visual com o bosque criado e os andares de sala praticamente não conseguem avistá-lo, dada a forte inclinação do lote. A relação do edifício com o bosque, assim como da rua pau-brasil com o bosque ficaram pouco claras. A idéia da utilização do bosque foi defendida pelos estudantes durante as orientações, pelos argumentos acima expostos e apresenta a possibilidade de ambientação e controle climático, além de outras vantagens, sem nenhum grande esforço construtivo, tendo em vista que as árvores seriam plantadas diretamente sobre o terreno natural. Mas alguma ligação entre o foyer e o bosque poderia ter sido pensada, inclusive incluindo um acesso alternativo pela rua pau-brasil o que poderia potencializar a integração entre o projeto e o bosque através do uso e não somente da visualização.

Considerações do lugar

As principais considerações do lugar, com relação ao clima, mostram algumas preocupações com a eficiência ambiental no edifício. O vento foi um fator local bastante trabalhado no projeto, principalmente na configuração dos sistemas de ventilação natural que acontecem nos andares de salas. A trajetória solar também foi levada em conta, na medida em que as aberturas do corpo principal do edifício encontram-se nas fachadas nor-noroeste e sul-sudeste. Para evitar aberturas nas laterais, que receberiam incidência do sol da manhã e da tarde, foi pensado um fosso interno que possibilitou iluminação e ventilação natural para as salas.

Considerações de uso

Exatamente em virtude da criação desse vazio central nos andares, a forma de algumas salas ficou prejudicada, mesmo na possibilidade de uso como um pavimento livre sem a divisão em salas. (Fig. 5.1.X) A ligação do foyer no nível do auditório poderia ter sido mais trabalhada, de forma a promover a possibilidade de uso do espaço do bosque. Ainda sim, de forma geral, as questões funcionais mais importantes do programa foram equacionadas de maneira pertinente. Cabe ressaltar que a solução da garagem ocupou grande parte do tempo da orientação deste grupo, uma vez que era a primeira vez que os estudantes lidavam com este problema numa edificação vertical. Ainda sim, o resultado não só atendeu a exigência do programa no que diz respeito ao número de vagas, como também criou, na garagem, um jardim com árvores de maior porte que se prolongam até o nível do pilotis e podem ser vistos a partir do vazio da torre.

Considerações construtivas

A sugestão de trabalhar com estrutura metálica e painéis prontos de vedação e esquadria para as fachadas foi atendida pelo grupo que conseguiu, a partir daí, operar criativamente na configuração do prédio. O sistema de estrutura metálica foi bem utilizado, tirando partido das possibilidades de maiores vãos, balanços e mãos-francesas. Somente o bloco inferior utiliza sistema estrutural misto, com lajes nervuradas de concreto e pilares metálicos. A torre utiliza pilares metálicos e um sistema de laje e forro apoiados em vigas treliçadas metálicas, criando um entreforro onde foi pensado um sistema de ventilação natural, retirando o ar quente dos espaços de trabalho.

Considerações da forma

A principal consideração quanto à configuração formal de um projeto para o lote proposto é sem dúvida, a sua solução de implantação em um terreno de declive tão forte. Nesse caso, o grupo conseguiu caracterizar uma separação clara entre uma base e uma torre, separados por um pilotis duplo. A torre consegue uma inclinação interessante na fachada voltada para a rua pau-brasil, através dos balanços progressivos, a qual continua na base. A base acaba por afundar-se em demasia no terreno natural, criando um corte profundo e conseqüentemente uma contenção significativa no limite com a rua das acácias. Apesar do gasto energético implícito na solução, ela não é, de fato, economicamente inviável.

Vale ressaltar a preocupação do grupo com a configuração formal do projeto através das aberturas e a tentativa de incorporar no projeto as questões discutidas em sala. (Anexo 1) A

fachada da rua das acácias - elevação 1 - apresenta painéis de esquadria integrando vidros e venezianas que permitem a ventilação cruzada do entreforro. A fachada que recebe o sol da manhã – elevação 2 – é totalmente opaca, com painéis de vedação pré-fabricados. A fachada que abre para o vale – elevação 3 – é aberta mesmo apesar do sol da tarde. Isso se justifica pela bela vista que pode ser observada nessa direção e foi viabilizada com a adição de esquadrias do tipo camarão, que quando abertas ainda funcionam como prateleiras de luz, refletindo a luz solar para o teto das salas. A fachada voltada totalmente para o sol da tarde – elevação 4 – apresenta pequenas janelas para iluminar e ventilar banheiros coletivos e painéis opacos na posição correspondente às salas.

As soluções pensadas para a ventilação natural na base e na torre mostram-se totalmente articuladas com o restante do projeto, funcionalmente, esteticamente e tecnicamente, como é mostrado nos detalhes de cortes. (Anexo 1)

Considerações de tecnologias e sistemas prediais

Sistemas prediais ambientalmente eficientes foram pensados e encontram-se integrados às demais soluções. O grupo conseguiu configurar um sistema de coleta de água de chuva e reuso, com áreas destinadas para reservatórios. (Anexo 1) O aquecimento de água através de energia solar também foi pensado apesar de sido colocado coletivamente como não prioritário em um edifício para fins comerciais.

GRUPO 2

Grupo formado por três estudantes ainda cursando o quinto período do curso de arquitetura. Pelo fato de serem, dentro da turma, os mais novos no curso de arquitetura, obviamente encontraram maior dificuldade para resolver o projeto. Muitas vezes demandaram um maior tempo de orientação para suprir algumas insuficiências que os demais grupos não apresentaram com relação às questões técnicas-construtivas e às soluções funcionais. Ainda sim, apesar da defasagem de dois anos no curso em relação a outros colegas, o que é bastante significativo no processo de aprendizagem de projeto, conseguiram chegar a um resultado satisfatório.

O projeto tem como grande mérito a implantação no terreno, tentando preservar ao máximo a topografia original, minimizando-se cortes e aterros, assim como contenções. A

divisão do programa em dois blocos contribuiu para que as salas pudessem ser desenvolvidas mantendo aberturas para as direções norte e sul. A solução dos dois blocos tenta também gerar um microclima mais favorável entre os dois blocos, com uma solução que escalona o terreno natural em vários níveis de jardins. Os próprios blocos funcionam como anteparos ao vento que sopra constantemente vindo do vale, de modo a melhorar a condição deste pátio interno. Ainda sim, este vazio não ficou tão bem caracterizado em virtude da topografia acidentada e do pouco espaço que a garagem deixou para que ele se desenvolvesse no sentido vertical, como pode ser visto no corte AA. (Anexo 2)

Os dois aspectos do projeto que se apresentam menos consistentes estão em algumas questões funcionais, a solução para a garagem e a solução para a circulação vertical. Talvez em virtude da pouca experiência em lidar com uma edificação vertical, tipologia em que surgem estas demandas funcionais, o grupo não conseguiu resolver tão bem estes dois aspectos, mesmo depois de terem dedicado tanto tempo a eles durante as orientações e as propostas feitas fora da sala de aula. A ineficiência não só ambiental, mas também funcional, que o projeto apresenta nestes aspectos foi relevada pela falta de experiência do grupo com projeto.

Considerações do lugar

A posição do sol em relação ao lote escolhido foi considerada na configuração das aberturas, posicionadas nas direções mais favoráveis nos dois blocos. Também os ventos dominantes foram considerados a partir da configuração de um sistema que tenta melhorar a ventilação natural. O sol da tarde foi barrado do vazio central graças à presença das passarelas que ligam os dois blocos a cada pavimento. Com isto criou-se um plano com barras horizontais, que funcionam ao mesmo tempo como guarda-corpos para as passarelas e proteção solar para o sol da tarde em relação ao vazio e à fachada norte do bloco mais alto. (Anexo 2)

Considerações de uso

Além dos problemas apontados na solução da garagem e da presença de duas circulações verticais, algumas outras questões funcionais não foram resolvidas satisfatoriamente. No nível da rua pau-brasil foi criado um jardim com árvores plantadas diretamente sobre o terreno que não tem uso, nem como espaço público para os pedestres, nem como jardim particular para os usuários do prédio. Apesar da boa intenção, faltou ao grupo caracterizar melhor o uso deste espaço.

Por falhas na representação gráfica, o grupo não apresentou as soluções das vagas de garagem e da configuração do pavimento tipo em salas, conforme haviam sido discutidos nas orientações. Esse fato, aliado à falta de domínio das soluções funcionais, deixou algumas lacunas no projeto, principalmente com relação aos leiautes, dificultando sua análise de uso.

Considerações construtivas

Devido a sua inexperiência, o grupo mostrou-se um pouco inseguro na compatibilização entre os interesses a serem atingidos no projeto e sua adequação a um sistema estrutural. Isso ficou particularmente claro na dificuldade que tiveram em solucionar o projeto da garagem. Assim foi apresentada a eles uma solução estrutura para minimizar o número de pilares, trabalhando com vãos maiores, o que facilitaria a solução funcional tanto na garagem como no pavimento tipo. O sistema é constituído de pilares metálicos e lajes protendidas pré-fabricadas em concreto na base e na torre.

Considerações da forma

Este projeto não apresenta uma solução claramente marcada por base, pilotis e torre. A solução aposta na criação de duas torres, uma assentada na parte alta do terreno e outra na parte baixa, separadas por um vazio central e atravessadas por um vão aberto no nível da rua das acácias caracterizando um grande pilotis. Merece ser ressaltada, a solução adotada para a implantação do terreno, que consegue minimizar os corte e aterros através de um escalonamento do jardim. A configuração formal da proposta do jardim não se apresenta tão apurada, mas mesmo assim deixa clara a intenção do grupo em trabalhar com massas vegetais diretamente plantadas no solo, dispensando reforços estruturais e custos com impermeabilização, o que seria necessário, caso fossem plantadas nas torres.

O conjunto formado pelas esquadrias, *brises* verticais, grelhas metálicas para ventilação do entreforro e prateleiras de luz é que caracteriza formalmente as torres do edifício proposto. Baseado numa composição ortogonal mais rígida, estes quatro elementos se harmonizam de maneira interessante nas quatro fachadas voltadas para as duas ruas. A especulação formal utilizando os anteparos verticais e horizontais fica mais interessante e menos rígida quando imaginada sob a incidência solar, gerando várias sombras, como pode ser visto nas fotos da maquete que o grupo apresentou. (Anexo 2)

Considerações de tecnologias e sistemas prediais

O grupo não conseguiu amadurecer nenhum dos assuntos discutidas na sala com respeito à sistemas prediais, em virtude do tempo perdido com as articulações funcionais. Somente faz menção à existência de um reservatório superior para reuso de água.

GRUPO 3

Assim como o GRUPO 1, este grupo foi formado por três estudantes do sexto e sétimo períodos do curso de graduação, e com pouca experiência em projetos de edificações verticais. No entanto, esta é, sem dúvida, a proposta arquitetônica mais ousada entre os seis projetos. A proposta conseguiu atingir um nível de especulação construtiva e formal muito avançado, a partir do conceito da montagem de módulos industrializados como contêineres em um esqueleto estrutural formado de pilares e vigas treliçadas.

Com isto, os estudantes levaram a limites extremos as possibilidades de construção industrializada, limitando o canteiro à montagem de peças prontas. A discussão sob as vantagens ambientais e energéticas dos processos de construção a seco foi abordada na sala de aula, durante as aulas expositivas. No entanto, na medida em que este grupo demonstrou interesse especial nos processos construtivos industrializados, as discussões nas orientações de projeto acabaram se estendendo e permitindo que eles avançassem nas soluções técnicas para a configuração da sua proposta.

Todavia, o grande esforço empreendido pelo grupo no desenvolvimento formal e técnico da proposta comprometeu o cumprimento das demandas funcionais do projeto que foram feitas através do programa. A deficiência mais grave se deu na falta de uma configuração para o acesso do prédio e para as garagens. O grupo não reservou tempo suficiente para articular as soluções dos níveis inferiores, concentrando toda sua energia na solução da torre, mesmo tendo sido alertados para isso durante as orientações. Com isso, a proposta, mesmo a despeito das interessantes investigações plásticas, permanece incompleta.

As possibilidades abertas pela utilização do sistema construtivo proposto, baseado na montagem de um esqueleto treliçado e contêineres, são inúmeras. Os alunos mostraram-se interessados em desenvolver a idéia com mais profundidade, corrigindo as falhas apontadas, em um outro projeto para um concurso de estudantes, que foi desenvolvido alguns meses depois da disciplina ofertada.

Considerações do lugar

O sistema desenvolvido por este grupo mostra uma flexibilidade capaz de adequar-se a múltiplas situações de clima e topografia. O esqueleto treliçado torna possível a implantação da torre em diferentes terrenos, sem qualquer tipo de interferência na topografia. As aberturas também podem ser ajustadas dentro da malha de placas de vedação que forma a membrana do contêiner. Para isso, a proposta dos estudantes permite que as placas opacas e de vidro fossem configuradas na fábrica de acordo com a necessidade do local onde fosse ser implantada cada torre.

Mas essas vantagens podem apenas ser imaginadas, pois o grupo falhou ao não conseguir demonstrar a flexibilidade tanto do esqueleto como do contêiner para a situação específica do lugar designado para o projeto. Assim, tem-se a impressão de um projeto genérico feito sem qualquer consideração de um lugar específico.

Considerações de uso

Também as considerações funcionais foram deixadas de lado pelo grupo em função do seu exacerbado interesse pelas especulações construtivas e estéticas. As soluções de uso para os pavimentos térreos não foram demonstradas, conforme já foi observado.

Com relação à torre, a solução apresentada para o contêiner desenvolvido para o lote do projeto é interessante, na medida em que permite uma divisão em até três salas de tamanho comercial, com banheiros coletivos no núcleo do andar. Com isto tem-se a concentração de prumadas hidro-sanitárias somente neste núcleo onde também se desenvolve a circulação vertical através da escada e dos elevadores. A possibilidade de alguma utilização do contêiner que exigisse ligações hidro-sanitárias, como um consultório odontológico, por exemplo, foi discutida e seria possível através de ligações de água e esgoto flexíveis, mas que também não foram demonstradas.

Considerações construtivas

As considerações construtivas foram bastante discutidas nas orientações sempre com a premissa do máximo de industrialização dos processos construtivos. O grupo conseguiu demonstrar o elevado grau de maturidade com que conseguiram desenvolver estes aspectos e ao mesmo tempo amarrá-los em uma interessante proposta formal.

A elaboração técnica se concentrou no módulo do projeto que é o contêiner. Para isso foram pensados com detalhes para as aberturas e a ventilação natural, integrados ao sistema de placas desenvolvido como vedação. No ótimo nível de desenvolvimento obtido nos contêineres, o projeto demonstra como o grupo conseguiu estabelecer uma articulação consistente entre questões técnicas-construtivas e questões plásticas, sendo que a consideração ambiental comparece permeando as escolhas que estabelecem essa articulação.

Considerações da forma

O grande mérito da proposta está no bom nível de especulação formal atingido a partir de discussões, todas elas, orientadas no sentido da obtenção de uma máxima eficiência ambiental para uma torre comercial de escritórios. O grupo não partiu de tipologias usuais e com isso conseguiu dar um salto criativo bastante significativo no que diz respeito à configuração formal de uma proposta ambientalmente correta. Sem fazer uso de qualquer elemento comum à essas propostas, como *brises*, prateleiras de luz, placas fotovoltaicas ou ainda sem a presença de qualquer espécie vegetal, o grupo conseguiu estabelecer uma proposta que, pela sua altíssima eficiência energética, pode ser considerada ambientalmente eficiente.

Infelizmente a proposta final não ilustrou as idéias discutidas para a base do prédio e não conseguiu demonstrar a flexibilidade permitida pelo contêiner no seu posicionamento em relação ao esqueleto estrutural. O grupo desenvolveu durante as orientações a idéia de criar espaços variados entre o esqueleto e os contêineres de modo a permitir alguma variação no seu posicionamento ao longo do andar. Para isso, tiveram que desenvolver uma passarela flexível, como uma sanfona, que conseguisse ligar o contêiner ao núcleo central em quatro posições diferentes, como demonstrado através de perspectivas. (Anexo 3) A margem de variação nas posições dos contêineres pode ser observada na elevação lateral de um andar tipo. (Anexo 3)

A perspectiva da torre, no entanto, mostra todos os contêineres na mesma posição, sem qualquer variação, empobrecendo a idéia inicial. O posicionamento diferenciado dos módulos proporcionaria, conforme foi conversado com o grupo, uma melhor condição de ventilação natural através das grelhas inferiores e superiores que foram pensadas, uma vez que aumentariam os espaços intersticiais entre os contêiners. (Anexo 3)

Considerações de tecnologias e sistemas prediais

O grupo não desenvolveu qualquer tipo de proposta para sistemas dessa natureza.

GRUPO 4

Grupo formado por dois estudantes, no sétimo e nono períodos, ambos já com boa experiência de projeto, considerando-se tratarem estudante de arquitetura. Essa vivência foi obtida nas disciplinas de projeto do curso de graduação, nos estágios que fizeram em escritórios de arquitetura e na participação em concursos para estudantes. A dupla demonstrou, não só muita maturidade ao introduzir as preocupações ambientais no projeto de um edifício comercial, como também um grande interesse no desenvolvimento das soluções em diversos níveis do projeto durante as orientações. Isto gerou uma proposta bastante equilibrada nos aspectos técnicos, formais e funcionais e com um nível de soluções de projeto que em alguns casos, superou as expectativas iniciais, que eram de um anteprojeto.

O primeiro aspecto que chama a atenção na proposta é sua configuração em um único bloco triangular que só toca o terreno através do núcleo de circulação vertical, fazendo o acesso de pedestres pela rua pau-brasil e através dos andares de garagem que chegam até a rua das acácias. Esta configuração tipológica, além de todas as suas implicações formais, funcionais e técnicas, demonstra a intenção do grupo em propor uma solução não usual para o prédio e ao mesmo tempo, faz uma leitura da topografia íngreme do loteamento, como uma especulação alternativa aos modelos de edifícios que são utilizados nos empreendimentos vizinhos. A solução encontrada apesar de bastante ousada, demonstra, a um só tempo, a capacidade dos estudantes em articular questões de ordem técnica, formal e funcional não somente entre si, mas também com as preocupações quanto à eficiência energética discutidas nas aulas expositivas e orientações.

Além disso, as soluções pormenorizadas de alguns elementos do projeto além de demonstrarem o alto grau de interesse do grupo, indo além do que foi solicitado, deixam claras as possibilidades criadas com uma metodologia de projeto que se baseia em fundamentos ao invés de modelos prontos. A partir de princípios científicos abordados nas aulas, os estudantes foram capazes de operar criativamente, criando elementos de projeto que fazem uso desse conhecimento científico para chegar a soluções arquitetônicas específicas da sua proposta. Esses elementos se articulam entre si e com os princípios físicos discutidos, configurando elementos arquitetônicos bastante criativos. São soluções que não podem ser consideradas como aplicações de modelos divulgados em manuais de arquitetura bioclimática e agrupados em um determinado projeto arquitetônico. São, de fato, respostas criativas dos estudantes a todos os problemas que lhes foram colocados em diferentes dimensões e que se encaixam na sua proposta arquitetônica de forma coesa. O projeto não só está bem resolvido em todos os

aspectos que lhe são intrínsecos, como ainda consegue demonstrar através deles, sua preocupação ambiental.

Considerações do lugar

A investigação proposta através da implantação do bloco que se eleva em relação ao terreno, sem modificá-lo, demonstra como a apropriação de um espaço íngreme para a criação de uma edificação pode ser mais correta ambientalmente falando, do que as soluções convencionais. Obviamente, há um grande esforço estrutural para compensar esta generosidade com a topografia local. Mas como se trata de uma investigação de caráter especulativo, a proposta é absolutamente legítima, até mesmo porque, do ponto de vista estrutural, não há nenhuma impossibilidade técnica.

A conformação do projeto em relação ao lugar não se mostra somente na relação com a topografia, mas também na relação com as diferentes orientações solares. Cada fachada foi pensada com um diferente sistema de vedações, cada um mais adequado a sua respectiva orientação solar. Além disso, a face voltada para a rua pau-brasil inclina-se em planta, para ficar voltada somente para o norte, eliminando boa parte da radiação solar do final do dia. Isso aconteceria se ela fosse exatamente paralela à frente do lote, ficando voltado para nor-noroeste. (Anexo 4)

Somente os ventos aparentemente foram esquecidos das considerações locais configuradas na proposta. Isto pode ser percebido por dois motivos: nem o sistema de ventilação natural faz uso das diferenças de pressão existentes, o que seria muito mais eficiente do que a ventilação por convecção forçada, e nem a solução das membranas de enrolar demonstra alguma preocupação com a impermeabilidade aos fortes ventos gerados pelo vale, principalmente por causa das frestas entre uma membrana e outra. Isso não invalida a solução das membranas, mas mostra que a consideração dos ventos ficou em segundo plano, pois certamente haveria soluções técnicas para resolver esta questão.

Considerações de uso

A proposta resolve muito bem as demandas funcionais colocadas pelo programa da disciplina e ainda propõe sistemas de vedações internas flexíveis, de forma a permitir apropriações diversas para os pavimentos-tipo. O núcleo de sanitários apresenta uma solução menos consistente, pois apesar de estarem no meio do pavimento, os sanitários não fazem

parte do núcleo central que abriga as circulações verticais e estrutura o prédio. Se os sanitários fossem localizados dentro do núcleo central, concentrariam as áreas molhadas do pavimento, trazendo as tubulações de água esgoto para dentro do tubo de concreto que vai até o chão. Tampouco os sanitários se localizam em umas das faces do prédio, de forma a permitir ventilação e iluminação naturais. Por gerarem uma demanda de iluminação artificial e ventilação forçada (exaustão), tornam-se soluções que não consideram a eficiência energética.

Já solução para as garagens é extremamente enxuta, atendendo ao número de vagas solicitadas em dois níveis com o mínimo de área necessária e apenas uma rampa, fazendo um corte pequeno no terreno. A solução adotada é eficiente e se incorpora perfeitamente ao partido formal adotado para o todo, sem criar uma separação dos volumes.

A proposta demonstra ainda a possibilidade de uso abaixo dos níveis de garagem o que normalmente é desprezado pelas tipologias mais utilizadas nos terrenos inclinados da região, que optam pela criação dos "paliteiros". A solução apresentada para os pavimentos inferiores é técnica e comercialmente viável em um terreno com tamanha inclinação, principalmente levando-se em conta o fato do bloco se elevar em relação ao terreno, permitindo maior ventilação e iluminação nestes andares.

Considerações construtivas

O desenvolvimento do sistema estrutural foi motivo de várias conversas durante as orientações, o que resultou em um dos aspectos mais significativos da proposta. Isso porque, a solução pensada para o prédio e sua implantação no terreno dependia do aprimoramento técnico de um sistema estrutural. Como desde o início das orientações, os grupos foram induzidos a trabalhar com sistemas construtivos industrializados, a estrutura metálica foi adotada pela dupla de estudantes. Ainda assim, apesar de todas as discussões sobre a estrutura do prédio, algumas soluções técnicas ainda permaneceram pouco claras na configuração final da proposta, talvez pela falta de um corte menos confuso do que o foi apresentado.

Aspectos relativos às propriedades dos materiais e das superfícies de vedação também foram bastante trabalhadas, no sentido de configurar os sistemas que possibilitam a eficiência ambiental solicitada.

Considerações da forma

A opção pelo bloco triangular solto do terreno é um bom exemplo de como o projeto conseguiu chegar a uma forma que atendeu as demandas sem ferir o terreno, com excessivos cortes e aterros. Somente o acesso de pedestres corta uma faixa do terreno para permitir o acesso ao núcleo central, o que seria necessário de qualquer maneira, para acessar sua base e assim construir sua fundação. A proposta do bloco solto, além de minimizar os movimentos de terra, proporcionou um alto percentual do solo totalmente permeável e favorece a utilização de massas vegetais plantadas diretamente sobre o terreno natural.

Um aspecto importante da configuração formal do prédio proposto é a solução dada para as "membranas mutantes" como foram chamados pelo grupo os painéis de enrolar triplos, que fazem os fechamentos das fachadas laterais e da fachada da rua das acácias. Esta última ainda apresenta uma solução para *brises* horizontais móveis deslizantes, que podem ser utilizados somente no verão. Uma vez que este plano é voltado para sul e inclinado, recebendo insolação direta em grande parte do dia e justamente na época mais quente do ano, as placas deslizantes podem cumprir a função de anteparos somente na época mais conveniente. A fachada norte por sua vez apresenta uma terceira proposta, com uma pele tripla formada de duas camadas de vidro, uma interna e outra externa, além de uma grelha metálica preta entre elas. A proposta se baseia da criação de um efeito chaminé do interior da fachada tripla, o que seria induzido pela absorção de radiação solar e emissão de radiação de ondas longas por parte da grelha metálica preta. Assim, cria-se um efeito de sucção nas salas que ajuda a retira o ar quente acumulado nas partes superiores. Esta última solução merecia ser mais desenvolvida, principalmente para se tornar mais viável técnica e economicamente, além de não criar um efeito absorção da luz natural com a grelha interna preta, o que ocasionaria maiores gastos de energia com a iluminação artificial.

De todos os méritos da proposta, o maior está na capacidade demonstrada pelos alunos em configurar suas próprias respostas formais para as considerações ambientais discutidas. De fato, o projeto demonstra sua consistência na materialização de um objeto arquitetônico, que apesar de apresentar alguns pequenos problemas, consegue sintetizar considerações técnicas, estéticas e funcionais, todas elas costuradas através da eficiência energética e ambiental.

Considerações de tecnologias e sistemas prediais

O grupo demonstrou preocupação com vários aspectos discutidos como elementos complementares ao projeto arquitetônico. O reuso de água foi mencionado no texto, apesar de não ter sido demonstrado nenhum reservatório ou área para bombas e tratamento de esgotos cinzas nas planta ou nos cortes e nem ter sido apontado onde seria recolhida a água de chuva. Para diminuir o consumo de energia das redes de abastecimento, painéis fotovoltaicos foram pensados para a cobertura do núcleo central, assim como a futura possibilidade de utilização de adesivos transformadores de radiação solar em energia nas membranas de enrolar.

GRUPO 5

Grupo formado por três estudantes do sétimo período e, portanto sem experiência anterior em trabalhar com edificações verticais. Essa pouca experiência prejudicou o grupo principalmente na configuração de uma proposta para abrigar o número de vagas de garagem solicitado pelo programa. Tal exigência consumiu boa parte do tempo de orientação com grupo e ainda sim não foi solucionada de forma totalmente satisfatória.

Talvez pela falta de prática com questões que são mais comuns a projetos de edificações verticais, o grupo não soube como articular de forma consistente as questões próprias do projeto e da eficiência energética na materialização da proposta como um todo. Sua configuração não parece coesa, uma vez que adota soluções distintas para a torre e para a encosta, separando-as com quatro andares de garagem e ainda um andar para o acesso e um café. Com isso a proposta se mostra fragmentada, com volumes que não dialogam tão bem entre si, mesmo a despeito da adoção de planos inclinados tanto na parte escalonada como na torre. De forma geral, poderia se dizer que a configuração volumétrica adotada é um partido quase convencional, semelhante aos modelos de apropriação das encostas vizinhas, sendo constituída basicamente de uma torre sobre uma base de estacionamentos. O avanço proporcionado pela disciplina no âmbito geral da proposta está na troca do “paliteiro” por uma transição estrutural com mãos-francesas e na ocupação da encosta com um partido escalonado.

Apesar da falta de consistência nos aspectos gerais da proposta, as aulas expositivas e as discussões promovidas em sala deram grandes contribuições ao projeto em aspectos mais específicos, ajudando o grupo a resolver questões pontuais do projeto. Se na configuração geral da proposta a questão da eficiência energética e ambiental não está tão clara, nas soluções de

aspectos particulares ela é muito evidente, o que pode ser comprovado pelo memorial descritivo ilustrado que acompanha o projeto. (Anexo 5)

Considerações do lugar

A demonstração mais clara da consideração do lugar presente nesta proposta arquitetônica está na configuração das fachadas voltadas para a rua pau-brasil. O grupo optou por criar um jogo de planos inclinados em relação ao corpo principal do prédio formando uma ondulação em zigue-zague. Os planos opacos se voltam para noroeste e os planos de vidro para norte, minimizando os ganhos térmicos com a radiação solar direta no período da tarde.

Considerações de uso

O maior problema enfrentado pelo grupo, assim como no caso dos grupos 1 e 2, foi a solução funcional para as vagas de garagem. A pouca experiência do grupo fez como que grande parte das orientações fosse tomada com essa discussão. Mesmo assim, a proposta apresentada para a garagem mostra-se pouco consistente, utilizando quatro pavimentos para abrigar todos os veículos. Houve também alguns problemas no entendimento da articulação das rampas entre estes pavimentos.

A solução para os sanitários na parte do bloco inferior escalonado obriga a utilização de iluminação artificial e exaustão mecânica nesses locais, uma vez que foram posicionados no fundo dos pavimentos.

Também pela falta de experiência, o grupo configurou o bloco escalonado com uma largura que não ocupa totalmente o lote, criando jardins laterais. Estes não podem ser vistos por quem está nos pavimentos corridos deste bloco, uma vez que as paredes laterais dão cegas, somente sendo avistados a partir das varandas. Além disso, estes jardins se configuram como corredores inclinados e correm o risco de se tornarem becos com pouca iluminação, caso os vizinhos laterais venham a construir no limite máximo de altura nas divisas. Isso já acontece mesmo sem os vizinhos laterais na altura das garagens que não tem qualquer ligação com os jardins e tem nos fechamentos laterais grandes planos cegos. Ainda que com alguns problemas funcionais, a criação dos jardins mostra a preocupação do grupo em criar maior área permeável e ambientar melhor as salas do bloco inferior através da utilização de massas vegetais plantadas diretamente sobre o solo.

Considerações construtivas

O grupo utiliza sistema estrutural de pilares e vigas metálicas mas não o leva a maiores especulações, talvez por ter sido este seu primeiro contato com a estrutura em aço. Nos demais aspectos construtivos, o grupo não conseguiu atingir um nível de especulação que permitisse incorporar maiores preocupações com a eficiência ambiental.

Considerações da forma

Apesar da adoção de uma volumetria escalonada no bloco inferior, o grupo não conseguiu criar uma compensação entre corte e aterro. Como pode se observar no corte longitudinal, a implantação da proposta praticamente só gera cortes, criando um considerável bota-fora. (Anexo 5) Isto pode ser visto como uma contradição conceitual, uma vez que a adoção de um partido escalonado tem sua maior justificativa na melhor acomodação de um programa em um terreno inclinado. A falta de experiência do grupo, aliada a dificuldade natural imposta pelo terreno fez com que o grupo escolhesse um partido correto para um lote inclinado, talvez influenciado pela exibição do *Renzo Piano Building Workshop* no quinto dia de aula, mas implantado de forma incorreta, gerando quase que somente cortes no terreno.

Na torre o grupo trabalha um grande vazio central de forma a permitir uma ventilação cruzada para as salas. O sistema, no entanto não foi mostrado.

Considerações de tecnologias e sistemas prediais

O grupo menciona a existência de um reservatório superior para água de chuva. Outros sistemas prediais não foram pensados.

GRUPO 6

Dentre os grupos formados na disciplina, este era o que tinha integrantes em períodos mais avançados, com os três membros oriundos do nono período. A proposta mostrou-se por isso bastante concisa da articulação entre os elementos que são considerados nas demais disciplinas de projeto. Nesse sentido o programa foi atendido, quanto à área desejada para salas, número de vagas de garagem, circulações horizontais e verticais e atendimento à

legislação municipal. O grupo ainda criou um restaurante no nível da rua das acácias com pé-direito duplo, conseguindo resolver seus espaços de maneira satisfatória e indo além do programa na elaboração dos usos no edifício.

As considerações ambientais foram abordadas na proposta, mas aparecem quase que somente em dois momentos e de forma independente uma da outra. A primeira delas, demonstrada através da forma como o bloco se eleva em relação ao terreno e apenas se apóia na torre de circulação vertical, o que mostra a preocupação do grupo em reduzir os impactos dos cortes e aterros. No entanto, esta proposta não vislumbra uma utilização efetiva para a encosta que foi aparentemente apenas ajardinada e nem mesmo uma possibilidade de contato visual com o projeto. Corre-se o risco, nessa proposta, de se criar uma área sombria e sem uso, exatamente como nos "paliteiros" e ainda, ao contrário deles, através de um esforço estrutural enorme.

O outro aspecto da eficiência energética abordado pelo grupo pode ser percebido no sistema pensado para a ventilação natural das salas. Esse grupo foi o que mais trabalhou as possibilidades de ventilação natural e da ventilação cruzada, criando uma proposta que envolve sucção do ar quente das salas através do entreforro, submetido a diferenças de pressão de vento, e ainda uma pele solta da fachada em pressão negativa que ao mesmo tempo barra o sol da tarde e incrementa o sistema criando um efeito chaminé.

O projeto está bem resolvido técnica, funcional e esteticamente, o que era esperado para um grupo de alunos prestes a se graduar. As considerações de eficiência no uso de energia e água discutidas durante as aulas expositivas e que constituíam o cerne da disciplina optativa comparecem em elementos isolados e sem articulação entre si. Tem se a clara impressão de que, se fosse eliminado o sistema de ventilação natural das salas pelo entreforro incluindo as esquadrias/brises pivotantes e o plano solto da fachada e ao mesmo tempo se permitisse com que todos os pilares chegassem até o chão, criando um "paliteiro" sob a garagem, a proposta seria absolutamente convencional. Não restaria nenhum traço de preocupação com eficiência energética. Talvez, exatamente pelo fato de os membros desse grupo já estarem no final do curso, traziam consigo uma maior carga de preconceitos arquitetônicos com relação as questões de conforto ambiental e por isso mesmo trataram as duas questões – a solução de um projeto de arquitetura e a preocupação com a utilização de energia e água – como aspectos distintos a serem resolvidos.

Considerações do lugar

A consideração do lugar está presente principalmente na identificação do vento dominante e na determinação das fachadas a barlavento e a sotavento. Este foi o único grupo que trabalhou efetivamente uma proposta que utiliza a diferença de pressão de ventos para forçar a ventilação natural. A consideração da insolação no lote também foi considerada na configuração de painéis pivotantes formando *brises* verticais no lado voltado para o sol da manhã e da pele solta da varanda na fachada voltada para o sol da tarde.

Considerações de uso

O aspecto funcional criado em função da eficiência energética foi a possibilidade de uma circulação avarandada, o que permite o funcionamento da ventilação forçada das salas. No entanto o espaço deixado para essa circulação no pavimento tipo parece exagerada em relação à proporção de área das salas.

Considerações construtivas

Não há nenhuma consideração de eficiência energética e ambiental por trás dos princípios técnicos e construtivos adotados no projeto. Somente as vigas no sistema estrutural adotado são de aço. Ainda sim, os vãos utilizados são modestos, à exceção do vão sob a garagem.

Considerações da forma

A formalização da implantação do bloco sem tocar o terreno e a configuração do pavimento tipo são as demonstrações de utilização das considerações ambientais no processo de elaboração do projeto neste grupo. A grande curva que caracteriza a torre vista em planta, é justificada pela tentativa de direcionar o vento dominante para dentro da pele dupla dessa fachada.

Apesar da forma como as preocupações ambientais foram incorporadas ao processo, o grupo demonstrou competência na articulação formal da proposta, integrando os elementos que possibilitam a ventilação cruzada com a proposta plástica da torre. De fato, são exatamente

esses elementos, as janelas-brises na fachada leste e o plano solto na fachada oeste, que dão ao prédio sua imagem.

Considerações de tecnologias e sistemas prediais

Nenhum sistema predial foi considerado pelo grupo.

5.5 . Considerações finais sobre a disciplina optativa

Os dados colhidos durante o curso e obtidos através da análise dos trabalhos serviram de base para a elaboração do corpo principal da pesquisa. A partir da análise dos seis projetos, alguns aspectos podem ser destacados e apontados como conclusivos em relação à disciplina optativa oferecida. São eles:

- As considerações relativas ao lugar, abordadas no capítulo 4.1, principalmente aquelas relativas ao clima, são por onde os aspectos ambientais e de eficiência energética mais compareceram nos projetos. Isto pode acontecer pela bagagem que os alunos já tinham das disciplinas de conforto ambiental que trabalham tradicionalmente com estes conceitos.
- Dentre as considerações do clima, a relação do edifício com a posição relativa do sol foi a que os estudantes mais trabalharam nos seus projetos. Mesmo assim, nenhum grupo foi capaz de dimensionar as proteções solares nas aberturas.
- A ventilação natural foi pensada em todos os grupos, mas a consideração das diferenças de pressão a que o edifício está submetido só foi levada em conta em um deles. Apesar das discussões em sala de aula terem apontado este processo como mais eficiente do que a ventilação por efeito chaminé, ele não foi lembrado pela maioria dos alunos.
- As possibilidades de implantação de uma edificação em um terreno reduzindo o impacto de cortes e aterros foram trabalhadas por todos os grupos e, em todos os casos, foram o fator determinante da configuração formal da proposta. Apesar de conseguir explorar de maneira satisfatória as soluções

estéticas e técnicas geradas por uma implantação escalonada, poucos conseguiram trabalhar as possibilidades de uso nesse tipo de configuração.

- A maior dificuldade funcional dos grupos foi a solução das garagens, principalmente para aqueles formados por estudantes mais novos no curso. De forma geral este aspecto tomou muito tempo da orientação que poderia ter sido empregado para aprimorar outras soluções mais direcionadas para a eficiência ambiental.
- Quase todos os trabalhos mostraram um desenvolvimento da setorização funcional do projeto em função dos condicionantes climáticos do lugar. Nesse sentido, os banheiros, escadas e elevadores, foram posicionados na face voltada para o sol da tarde, criando uma condição de retardo para absorção dessa radiação solar.
- Todos os grupos utilizaram pelo menos parte do sistema estrutural em aço, tentado trabalhar com sistemas construtivos industrializados. No entanto, pela falta de discussão sobre esse tema nas aulas expositivas, apenas um grupo avançou sua proposta nesse aspecto, o que foi possível pelas conversas criadas nas orientações.
- As propriedades dos materiais que formam as superfícies envoltórias dos prédios foram pouco trabalhadas pelos alunos. Durante as aulas, elas foram tratadas de modo bastante sucinto, o que talvez tenha resultado na pouca importância dada a esses aspectos.

Todas as equipes conseguiram introduzir preocupações ambientais na configuração de suas propostas. No entanto as soluções arquitetônicas em que essas preocupações estão inseridas de forma mais consistente são aquelas em que a eficiência energética e ambiental comparece por trás das considerações formais, técnicas e funcionais, ajudando a amarrá-las. Nos projetos em que as considerações ambientais aparecem como elementos arquitetônicos isolados, falta essa coesão e a preocupação com a eficiência energética e ambiental se torna um acessório acrescentado à proposta arquitetônica. Todos as conclusões acima, obtidas a partir da análise dos projetos e das discussões em sala de aula, serviram para direcionar os esforços da pesquisa durante seu desenvolvimento. A última das conclusões, em especial, serviu para reforçar a necessidade de uma metodologia de projeto baseada em fundamentos que possibilitassem uma maior eficiência ambiental nas edificações, mas que fossem abordadas através das considerações usuais do projeto arquitetônico.

6 . Conclusões da dissertação

A pesquisa apresentada procurou estabelecer um estudo sobre a relação entre a arquitetura e o meio ambiente nos dias de hoje, com o foco voltado para o consumo de energia elétrica e água nas edificações. A possibilidade de projetar edifícios que façam uso desses bens de maneira mais racional foi averiguada através de uma proposta teórica, que se fundamentou basicamente em: um experimento projetual através da disciplina ofertada no curso de graduação e que determinou os rumos que deveria tomar a proposta; em seguida, uma pesquisa que forneceu uma contextualização geral para o tema da eficiência ambiental nas edificações tanto do ponto de vista histórico como técnico e científico; por fim, uma proposta metodológica para o projeto arquitetônico que busque tal eficiência, a qual se organiza através de um conjunto de fundamentos científicos e de estratégias projetuais a serem consideradas desde os momentos iniciais da elaboração arquitetônica.A pesquisa mostrou algumas questões que devem ser retomadas à guisa de conclusão.

Um dos aspectos mais pertinentes que pode ser discutido através da pesquisa foi a necessidade de maior fundamentação de conhecimentos técnicos e científicos por parte dos arquitetos para que tais questões sejam levadas em conta nos projetos. O distanciamento da arquitetura em relação às preocupações ambientais ocorre na medida em que princípios essenciais da arquitetura foram sendo gradativamente deixados de lado, ao longo do período que corresponde ao Modernismo tardio ao Pós-Modernismo. Elementos como o *brise-soleil*, foram esquecidos como se tratasse de um modismo ou um estilo arquitetônico e não de uma solução construtiva importantíssima para barrar a radiação solar direta nas edificações. A tentativa de estabelecer uma retomada de fundamentos básicos como esse, com o objetivo de criar edificações que utilizem recursos naturais de maneira mais parcimoniosa pode ser entendido como uma busca por uma postura ética para o arquiteto perante a sociedade. Recursos como a água e a energia elétrica são bens comuns, cada vez mais escassos – e por isso mesmo mais valiosos – e que são consumidos principalmente nas edificações. A criação de um número cada vez maior de edifícios ambientalmente eficientes, como foi discutido nessa pesquisa, pode ajudar a trazer de volta a importância do papel do arquiteto para a sociedade, na medida em que seu ofício passa a ser entendido também no sentido da gestão de recursos caros a todos como a água e a energia elétrica. Longe do discurso muitas vezes incoerente de alguns arquitetos-ecologistas mais radicais ou do discurso pouco operativo e as vezes vago do desenvolvimento sustentável, a adoção de uma série de medidas simples, práticas e objetivas no projeto arquitetônico pode criar um maior número de edificações que utilizam a energia e a água sem desperdícios ou exageros. Isto significa, antes de tudo, uma atitude positiva do arquiteto diante de um problema coletivo. Diante dessa realidade, em que o arquiteto é chamado

a prestar esse serviço à sociedade, seu valor profissional e o valor atribuído a uma edificação estarão ligados à sua capacidade de articular essas demandas aos demais aspectos que orientam o projeto arquitetônico.

Como foi comentado ao final da revisão histórica, há hoje, um crescente número de edificações ambientalmente corretas que vem sendo construídas principalmente na Europa. Não só aumentam os edifícios com preocupações ambientais, como pode ser notado um aumento geral do interesse dos arquitetos e da sociedade em geral a respeito dessas construções. Isso demonstra que, na medida em que as questões ambientais, como, por exemplo, com relação ao melhor uso da água e da energia, foram incorporadas em projetos de grandes escritórios de arquitetura da Europa – principalmente na Inglaterra, Alemanha e França – essa abordagem arquitetônica foi mais bem assimilada pela população em geral do que as experimentações isoladas da arquitetura ecológica mais radical dos anos setenta e oitenta. O maior número de edificações que incorporam essas preocupações no continente europeu está diretamente ligado a uma ampla conscientização ambiental pela qual vem passando esses países há alguns anos e, num sentido mais objetivo, ao atendimento à leis ambientais cada vez mais severas que neles vem sendo instituídas.

No Brasil, faltam oportunidades para um maior desenvolvimento prático da eficiência ambiental na arquitetura, para o estabelecimento de um maior número de obras construídas com essa abordagem. Mesmo que um projeto apresente soluções simples e baratas, há no mercado médio de construção civil brasileira sempre muita desconfiança e falta de boa vontade em tentar investir nessa área. O maior conhecimento, por parte do arquiteto, de meios para incorporar a eficiência ambiental em um projeto cria uma maior possibilidade de incorporação dessas preocupações em edificações, mesmo que sujeitas às leis do mercado imobiliário. Outra possibilidade para viabilizar a construção de protótipos para habitações eficientes está na utilização de mecanismos governamentais de incentivo à pesquisa, o que pode trazer benefícios para aplicação desse conhecimento de projeto em larga escala, na área de habitação popular. Em conjunto com instituições de ensino e órgãos governamentais fomentadores da construção popular, podem ser viabilizadas propostas para habitação popular ambientalmente eficiente, o que já acontece de forma insipiente.

No entanto, mesmo que algumas experiências isoladas sejam levadas a cabo, a solução para se conseguir construir no médio prazo um número significativo de edificações baseadas em princípios de racionalização de recursos naturais passa obrigatoriamente pela necessidade do estabelecimento de leis para a construção de edificações que consumam menos água e energia elétrica no país. São necessárias normas e parâmetros construtivos claros que contribuam para

o desenvolvimento do uso racional de recursos a partir de iniciativas oficiais do governo em todas as instâncias, principalmente do governo federal. É importante o estabelecimento de padrões que demonstrem o impacto energético e ambiental de cada material de construção e de cada sistema construtivo para que, de posse desses dados, os arquitetos sejam capazes de equilibrar de forma responsável o uso de recursos através do projeto arquitetônico.

Outro aspecto importante que pode ser visto na pesquisa foi que grande parte das questões que envolvem a elaboração de um projeto arquitetônico ambientalmente eficiente demanda do arquiteto um esforço no sentido de obter informações a respeito de inovações científicas e tecnológicas. Grande parte dessas inovações é desenvolvida em áreas externas à arquitetura principalmente nas engenharias. A ilusão de que somente a arquitetura, entendida como uma disciplina autônoma, poderá resolver de maneira satisfatória as questões ambientais que são colocadas hoje para a construção de novos edifícios deve ser superada para que os esforços de outros campos do conhecimento possam se articular com a arquitetura com esse objetivo comum. É importante que o arquiteto tenha consciência de que a utilização racional de recursos naturais e energéticos na edificação depende diretamente de um esforço profissional no sentido de uma constante atualização técnica e tecnológica.

Por fim, resta salientar a importância da introdução de toda essa discussão que cerca a elaboração arquitetônica de edificações ambientalmente eficientes no ensino de projeto. Essa questão, bastante abordada ao longo da pesquisa, é um aspecto crucial para o estabelecimento de soluções arquitetônicas viáveis para o problema do consumo de água e energia. A abordagem de tais questões de maneira mais afirmativa no ensino de arquitetura passa necessariamente pela sua introdução nas aulas de projeto, onde os alunos podem exercitar seus primeiros conhecimentos arquitetônicos tendo tais preocupações ambientais já embutidas nos parâmetros gerais de projeto. O estabelecimento da eficiência ambiental como objetivo a ser perseguido no ensino de projeto, nos cursos de arquitetura, evita o risco de tornar todo o conhecimento a esse respeito isolado do projeto e, dessa forma, um conhecimento não operativo. A introdução desse pensamento nos ateliês de projeto é possível desde as primeiras disciplinas, através de uma visão mais geral e conceitual, até o trabalho de graduação, de forma mais aprimorada e detalhada. A idéia da edificação pensada em termos construtivos, funcionais, formais e de eficiência ambiental e cuja qualidade está atribuída ao equacionamento dessas demandas, contribuirá, sem sombra de dúvida, para que esse conhecimento saia das universidades e atinja a sociedade de diferentes formas. A presente dissertação teve exatamente nesse ponto seu maior objetivo, o de fornecer bases para que isso se torne possível.

Referências Bibliográficas

ALMEIDA, João Gabriel Pereira. **Iluminação, Arte e Tecnologia.** Apostila do Curso de Luminotecnia. Belo Horizonte, 1996. (mimeo)

AULETTE, Caldas. **Dicionário Contemporâneo da Língua Portuguesa Caldas Aullete.** 3ª. edição brasileira. Vol. III. Rio de Janeiro: Editora Delta, 1980.

BAKER, Geoffrey H. **Le Corbusier: Uma análise da forma.** Trad. Alvamar Helena Lamparelli. São Paulo: Martins Fontes, 1998.

BARROSO-KRAUSE, Cláudia; SANTOS, Maria Júlia de O.; NIEMEYER, Maria Lygia; PORTO, Maria Maia; GOMES, Anna Manuela R. C.; TEIXEIRA, Kamila C. **Bioclimatismo no projeto de arquitetura: dicas de projeto.** Rio de Janeiro: Apostila do DTC – Proarq / FAU-UFRJ, 2002.

BENEVOLO, Leonardo. **História da Arquitetura Moderna.** Trad. Ana Goldberger. São Paulo: Pesrpectiva, 1989.

BOESIGER W.; GIRSBERGER H.. **Le Corbusier Oeuvre complete, 1938-1946 (vol.4).** Zurique: Edition d'Archicteture, 1995.

BOLZANI, Caio Augustus M.. **Residências Inteligentes.** São Paulo: Editora livraria da física, 2004.

BONDUKI, Nabil Georges (org.). **Affonso Eduardo Reidy.** São Paulo: Instituto Lina Bo e P.M. Bardi, 1999.

BROWN, G. Z.; DeKAY, Mark. **Sol, Vento e Luz.** Trad. Alexandre Ferreira da Silva Salvaterra. Porto Alegre: Bookman, 2004.

BRUAND, Yves. **Arquitetura Contemporânea no Brasil** – título original: L'archictecture contemporaine au Brésil. trad. Ana Goldberger. São Paulo: Perspectiva, 2002.

CARVALHO, Benjamin de. **Ecologia e Arquitetura. Ecoarquitetura: onde vive o homem.** Rio de Janeiro: Globo, 1984.

CAVALCANTI, Lauro. **Quando o Brasil era Moderno: Guia de Arquitetura 1928-1960.** Rio de Janeiro: Aeroplano, 2001.

COGGAN, Donald. **How Can Buildings be Intelligent?** Artigo disponível em: <http://www.coggan.com/buildingintelligence.html>. Acesso em 05 de setembro de 2004.

CORBELLA, Oscar; YANNAS, Simos. **Em Busca de uma Arquitetura Sustentável para os Trópicos – conforto ambiental.** Rio de Janeiro: Revan, 2003.

CPDS, Comissão de Políticas de Desenvolvimento Sustentável; Agenda 21 Nacional. **Agenda 21 Brasileira – Ações Prioritárias.** Brasília, 2001.

CURTIS, William J. R. **Le Corbusier: Ideas and Forms.** Londres: Phaidon, 1986.

FANGER, P.O.. **Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering.** Nova York: McGraw-Hill, 1972.

FARRET, Felix Alberto. **Aproveitamento de Pequenas Fontes de Energia Elétrica.** Santa Maria, editora da UFSM, 1999.

FRAMPTON, Kenneth. **Le Corbusier.** Paris: Hazan, 1997.

FROTA, Anésia Barros e SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de Conforto Térmico.** São Paulo: Studio Nobel, 1995.

GIEDION, Siegfried. **Space, Time and Architecture.** Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press, 1997.

GIVONI, B. **Man, Climate and Architecture.** Londres: Apllied Science Publishers Ltd., 1976.

GOODWIN, Philip. **Brazil Builds – Architecture New and Old 1652-1942.** Nova York: The Museum of Modern Art, 1943.

HARRIS, Elizabeth Davis. **Le Corbusier Riscos Brasileiros.** trad. Gilson César Cardoso de Souza e Antonio de Pádua Danesi. – São Paulo: Nobel, 1987.

HOUAISS, Antônio e VILLAR, Mauro Salles. **Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa.** Rio de Janeiro: Objetiva, 2001.

JENCKS, Charles; KROPF, Karl. **Theories and Manifestoes of Contemporary Architecture.** Londres: Academy Editions, 1997.

JONES,David Lloyd. **Arquitectura y Entorno.** Barcelona: Arte blume, 2002.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O.R. . **Eficiência Energética na Arquitetura.** São Paulo: ProLivros, 2004.

MACHADO, Odete. **Energia Solar em foco.** Revista ABRAVA. São Paulo, p. 26 – 35, outubro de 2002.

MACOMBER, Patrícia S.H..**Guidelines on Rainwater Catchment Systems for Hawaii.** University of Hawaii at Manoa. Artigo disponível em: <http://www.ircsa.org/factsheets/HawiiRainHarv.pdf>. Acesso em 06 de janeiro de 2005.

MAIA, Éolo; VASCONCELLOS, Jô. **Éolo Maia & Jô Vasconcellos.** Rio de Janeiro: Salamandra, 1995.

MASCARÓ, Lucía R. de. **Energia na Edificação – estratégia para minimizar seu consumo.** São Paulo: Projeto, 1985.

McHARG, Ian L. **Design with Nature.** Nova York: John Wiley & Sons Inc., 1992.

MELENDO, José Manuel Almodóvar. **Da janela horizontal ao brise-soleil de Le Corbusier: análise ambiental da solução proposta para o Ministério da Educação de** [sic] **Rio de Janeiro.** Artigo disponível em: <http://www.vitruvius.com.br/arquitextos/arq051/arq051_02.asp>. Acesso em 30 de agosto de 2004.

MINDLIN, Henrique E. **Arquitetura Moderna no Brasil**. Trad. Paulo Pedreira. Rio de Janeiro: Aeroplano Editora, 1999.

NESBITT, Kate. (org.) **Theorizing a new agenda for Architecture – an Anthology of architectural theory 1965-1995**. Nova York: Princeton Architectural Press, 1996.

NICOLÓSI, Marcelo; Di RIENZO, Cristiane. **Em busca da Eficiência Energética.** Revista Climatização. São Paulo, nº. 26, p. 14 - 25, outubro de 2002.

OLGYAY, Victor. **Arquitectura y Clima – Manual de Diseño Bioclimático para Arquitectos y Urbanistas.** (Título original: Design With Climate – Bioclimatic approach to architectural regionalism). Trad. Espanhola Josefina Frontado e Luis Clauet. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 2002.

POLIÃO, Marco Vitruvio. **Da Arquitetura.** Tradução e notas Marco Aurélio Lagonegro. São Paulo: Hucitec, 1999.

PUPPO, Ernesto; PUPPO, Giorgio Alberto. **Acondicionamento Natural y Arquitetctura – Ecología en Arquitectura.** Barcelona: Marcombo - Boixareu Editores, 1979.

RAPOPORT, Amos. **Vivienda y Cultura –** título original House, Form and Culture; trad. espanhola Conchita Díez Espada. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 1972.

REIS, Lineu B.;SILVEIRA, Semida. (org.**) Energia Elétrica para o Desenvolvimento Sustentável.** São Paulo: Edusp, 2001.

RIVERO, Roberto. **Arquitetura e clima: acondicionamento térmico natural.** Porto Alegre: D C Luzzatto Editores: Ed. da Universidade, UFRGS, 1985.

ROMERO, Marta Adriana Bustos. **Princípios Bioclimáticos para o Desenho Urbano.** São Paulo, ProEditores, 2000, 2ª. ed.

_____. **A arquitetura Bioclimática do Espaço Público.** Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2001.

ROSA, Luiz Pinguelli. **O Apagão – Por que veio? Como sair dele?** Rio de Janeiro: Revan, 2001.

RUDOFSKY, Bernard. **Architecture Without Architects: A Short Introduction to Non-Pedigreed**

Architecture; Nova Iorque: Boubleday & Company Inc., 1965.

SANTA CECÍLIA, Bruno L. C. **Complexidade e Contradição na Arquitetura Brasileira: a Obra de Éolo Maia.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Arquitetura, 2004.

SERRA, Rafael. **Arquitectura y climas**. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 1999.

SILVA, Maurício Costa Cabral da. **Reuso de Águas Servidas: Sistemas de Reaproveitamento de Água em Condomínios Residenciais Verticais e Horizontais.** São Paulo, 2000. Artigo disponível em: <http://www.usp.br/cirra/arquivos/reuso_resumo.pdf> Acesso em 06 de janeiro de 2005.

STEADMAN, Philip. **Energia, Medio Ambiente y Edificacion.** Madri, H Blume Ediciones, 1982.

STELCNER, Morris. **Structured Cabling for Intelligent Buildings.** Revista CTI Magazine, Estados Unidos, p. 124-127, julho de 1997.

TEXAS WATER DEVELOPMENT BOARD & CENTER FOR MAXIMUM POTENTIAL BUILDING SYSTEMS. **Texas Guide to Rainwater Harvesting.** 2a.ed, Austin, 1997. Disponível em: <http://www.twdb.state.tx.us/publications/reports/RainHarv.pdf> Acesso em 10 de janeiro de 2005.

VALE, Brenda; VALE, Robert. **The New Autonomous House.** Londres: Thames & Hudson, 2000.

WINES, James. **Green Architecture.** Milão: Taschen, 2000.

WISNIK, Guilherme. **Lucio Costa.** São Paulo: Cosac & Naify, 2001.

WONG, A. C. S. e SO, A. T. P. **Building Automation in the 21st. Century**. Artigo para a Conferência Internacional em Avanços nos Sistemas de Controle, Operação e Gerenciamento de Energia – APSCOM 97 – em Hong Kong, 1997. p.819.

XAVIER, Alberto. (org.). **Depoimento de uma Geração – Arquitetura Moderna Brasileira.** São Paulo: Cosac & Naify, 2003.

YEANG, Kenneth. **Bioclimatic Skyscrapers.** Londres: Artemis, 1994.

_____. **El Rascacielos Ecológico**. Trad. Espanhola: Carlos Saenz de Valicourt. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 2001.

ZEVI, Bruno. **From Bioclimatics to Space -Time Poetry**. – In: ENEA-IN/ARCH (Istituto Nazionale di Archictettura). Archictettura Bioclimatica. Roma: De Luca, 1983.

Glossário de Termos Técnicos e Científicos

Adiabático Diz-se de processo que ocorre em um sistema físico, sem que este ganhe ou perca calor. Que não envolve mudança na *entropia* (diz-se de processo termodinâmico reversível)

Albedo Razão entre a quantidade de luz que é difundida ou refletida por uma superfície e a quantidade de luz incidente sobre a mesma.

Ângulo sólido Figura geométrica delimitada por uma superfície cônica fechada.

Ânodo Elétrodo carregado positivamente para onde se dirigem os elétrons e íons negativos; elétrodo positivo.

Austral Relativo ou pertencente ao hemisfério sul.

a Jusante O sentido da correnteza num curso de água (da nascente para foz); para onde correm as águas de um rio.

a Montante O sentido contrário ao da correnteza num curso de água; na direção da nascente, para o lado da nascente.

Bulbo Seco, temperatura de Temperatura do ar na sombra (abrigo meteorológico).

Bulbo Úmido, temperatura de Temperatura do ar medida em um termômetro com o bulbo coberto com gaze ou algodão molhado na água.

Calor Qualidade, estado ou condição do que é quente ou está aquecido; temperatura (relativamente) alta.

Forma de energia que se transfere de um sistema para outro graças à diferença de temperatura entre eles.

Calor Específico Relação entre a quantidade de calor fornecida a uma unidade de massa de uma substância e a variação de temperatura resultante.

Calor Específico Médio Razão entre a quantidade de calor cedida à massa de uma substância e o aumento de temperatura conseqüente

Calor Latente Calor que deve ser fornecido a uma substância pura para que ela mude de estado [Denominação baseada na antiga suposição de que o calor fornecido para sua transição (fusão, vaporização e sublimação) era guardado pela substância, sem elevação de temperatura.].

Calor Sensível Calor que, cedido a um sistema físico, é capaz de provocar um aumento em sua temperatura.

Cátodo O elétrodo de carga elétrica negativa.

Contraste luminoso Diferença entre a luminância (brilho) de um objeto e a luminância do entorno imediato deste objeto.

Diatérmano Relativo a diatermia, que deixa passar facilmente o calor (diz-se de qualquer corpo); que é bom condutor de calor; diatérmico.

Dicróico Aquilo que está revestido com um filme metálico especial que reflete certas cores e permite que outras o atravessem.

Diodo Válvula ou dispositivo semicondutor usado na retificação da corrente elétrica, também chamado díodo.

Dispersão coloidal Sistema aparentemente homogêneo (leite, fumaça etc.) que consiste em uma mistura microscopicamente heterogênea com duas ou mais fases (sólida, líquida ou gasosa) particuladas.

Dureza (da água) Qualidade da água que, em dissolução, contém excesso de sais de cálcio.

Eclíptica Plano da órbita da Terra; o grande círculo em que o plano que contém os centros da Terra e do Sol corta a esfera celestial.

Eletrólise (da água) Decomposição da água em seus componentes, hidrogênio e oxigênio, mediante a passagem de uma corrente elétrica numa solução.

Eletrólito Condutor elétrico de natureza líquida ou sólida, no qual cargas são transportadas por meio de íons.

Entalpia Conteúdo de calor de um sistema cuja expressão em outro termodinâmico é definida pela soma de sua energia interna com o produto do volume do sistema pela pressão a que está submetido [símb.: *H*]

Entropia Num sistema termodinâmico bem definido e reversível, função de estado cuja variação infinitesimal é igual à razão entre o calor infinitesimal trocado com meio externo e a temperatura absoluta do sistema [símb.: *S*], medida da energia não disponível para a realização de trabalho.

Esferorradiano Unidade de ângulo sólido que subtende sobre a superfície de uma esfera, centrada no vértice desse ângulo, uma calota de área igual ao quadrado do raio.

Estereografia Representação de objetos tridimensionais em um plano.

Evapotranspiração Perda de água de uma comunidade ou ecossistema para a atmosfera, causada pela evaporação a partir do solo e pela transpiração das plantas.

Fluxo Luminoso Potência emitida ou recebida na forma de radiação eletromagnética no espectro visível, com uma correção para a diferente sensibilidade do olho humano aos vários comprimentos de onda. A unidade é o lúmen, unidade de fluxo luminoso do Sistema Internacional, definida como fluxo luminoso emitido por uma fonte puntiforme com intensidade uniforme de uma candela, contido num ângulo sólido de um esferorradiano [símb.: *lm*].

Halogênios Diz-se de ou qualquer elemento pertencente ao grupo VII A da tabela periódica ou dos elementos a ela pertencentes, tais como: flúor, bromo, iodo e cloro.

Homeotérmico Que possui temperatura constante; que conserva temperatura constante.

Iluminância A densidade do fluxo luminoso sobre uma superfície. Medida em lux.

Intensidade Luminosa Quantidade definida como o fluxo luminoso por ângulo sólido emitido por uma fonte pontual numa dada direção. Medida em candelas, unidade de intensidade luminosa do Sistema Internacional, definida como a intensidade luminosa de uma fonte emitindo, numa dada direção, radiação monocromática numa freqüência de 540 x 10^{-12} Hz com uma intensidade de 1/683 watt por esferorradiano [símb.: *cd*]

Lado a Barlavento A face de uma estrutura ou edifício de encontro à qual o vento bate. Lado de pressão de vento, lado de pressão positiva de vento.

Lado a Sotavento A face de uma estrutura ou edifício oposta aquela à qual o vento bate. Lado de sucção de vento, lado de pressão negativa de vento.

Latitude Distância angular de um astro a partir da eclíptica; distância angular de um ponto do globo, medida por um arco do meridiano compreendido entre esse ponto e o equador terrestre e variando de 0 grau a 90 graus para o norte ou para o sul.

Lodo Depósito de terras misturadas a matérias orgânicas em decomposição

Luminância Quociente entre a intensidade do fluxo luminoso emitido por uma superfície em uma dada direção e a área dessa superfície projetada ortogonalmente sobre um plano perpendicular àquela direção; brilhância, brilhância fotométrica, brilho. Medida em cd/m2

Nafta Do latim *naphta* ou *naphtas,* 'espécie de betume inflamável'. Derivado do petróleo que destila entre 100ºC e 200°C, utilizado como matéria-prima na petroquímica.

Patógeno Agente biológico específico, causador de doença.

pH Representação da escala na qual uma solução neutra é igual a sete, os valores de zero a sete indicam uma solução ácida e os maiores que sete até quatorze indicam uma solução básica ou alcalina.

Semicondutor Diz-se de ou substância com resistividade entre a de um condutor e a de um isolante, e que pode variar segundo as condições físicas a que está submetida. São exemplos de semicondutores o silício e o germânio.

Setentrional Relativo ou pertencente ao hemisfério norte.

Temperatura Grau ou quantidade de calor existente num corpo.
Propriedade de um corpo ou região que define a direção da troca de calor com sua vizinhança (símb.: *T*) [Esta troca de calor ocorre sempre na direção do corpo ou na região de maior ou menor temperatura de um corpo, sendo que a situação em que não ocorre troca de calor corresponde ao equilíbrio térmico.]

Termorregulador Que ou o que tende a manter um corpo em uma temperatura específica, independentemente da temperatura ambiental.

Toróide Sólido ou superfície gerada pela rotação de uma curva plana fechada em torno de uma reta que lhe é coplanar e não secante

Turfa Massa de terra formada por tecidos de várias plantas, especialmente de musgos do gênero *Sphagnum*, produzida por lenta decomposição anaeróbica associada à ação da água.

Umidade Absoluta A relação do peso do vapor d'água por unidade de volume do ar e medido em g/m3.

Umidade Específica A relação do peso do vapor d'água por unidade de peso do ar e medido em g/kg.

Umidade Relativa A relação percentual entre a quantidade de vapor d'água presente no ar em uma determinada temperatura e a capacidade máxima de vapor d'água que o ar pode suportar àquela mesma temperatura antes da saturação (100%).

Anexos

Anexo 1 . Trabalho Final do Grupo 1

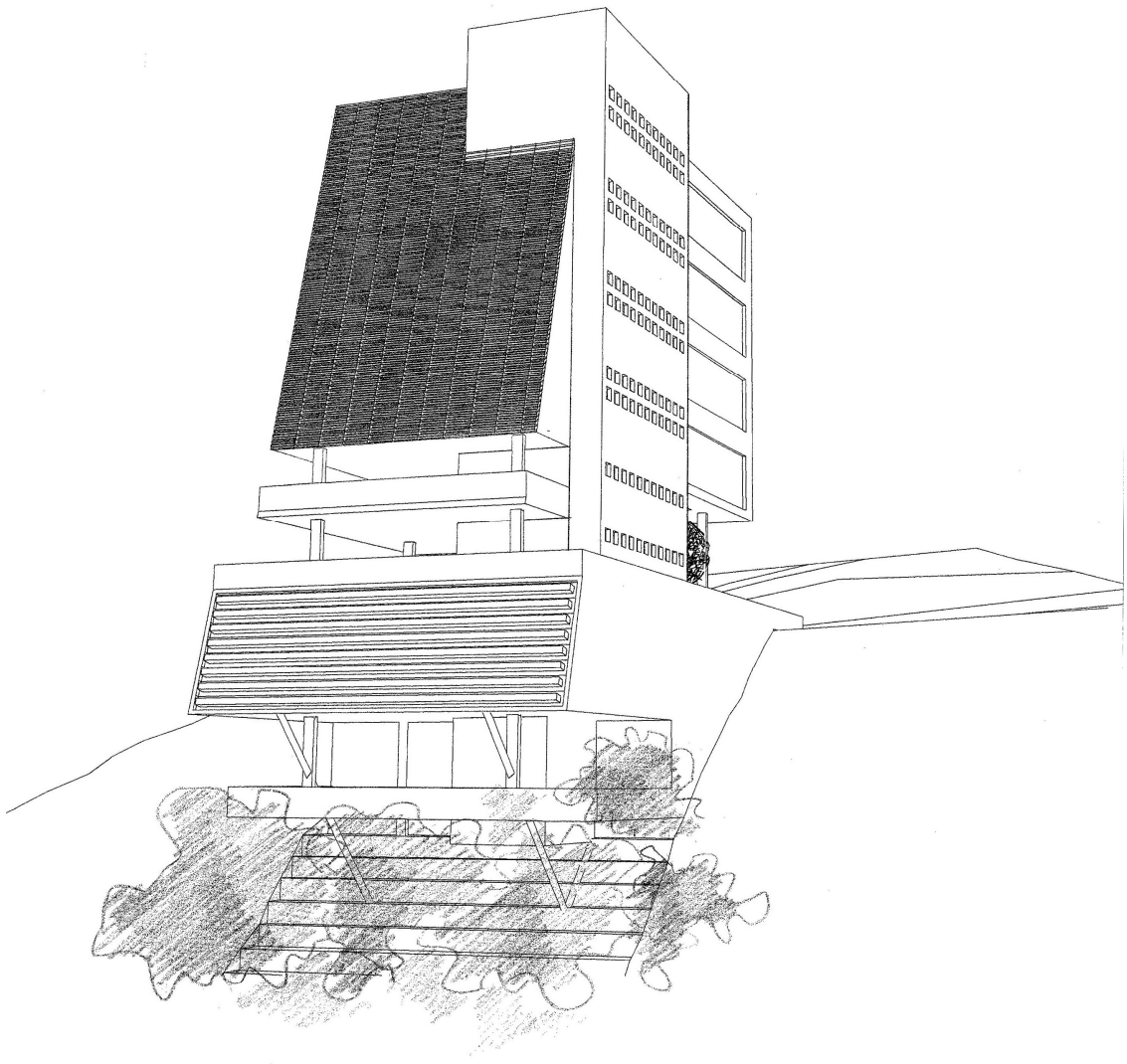


Figura A.1.1 – Prancha 01 Grupo01

A questão energética, amplamente discutida nos dias atuais,
tem exercido grande influência nas decisões construtivas
dos edifícios modernos em toda a sua concepção.
A intensa busca na redução dos gastos energéticos
devido à possível escassez de algumas de suas fontes tem
trazido bons estudos e
soluções arquitetônicas de qualidade.

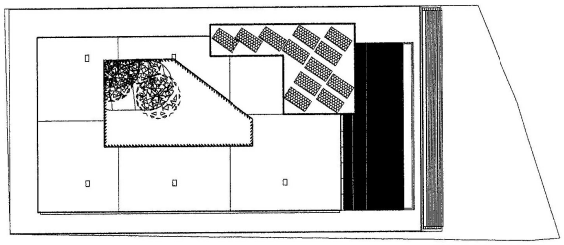
A importância de tratar esses conceitos
é mostrar que a preocupação com essa questão não limita
as respostas arquitetônicas e nem restringe
a criatividade do arquiteto.
Quando bem aplicadas, as soluções energéticas oferecem
boas respostas relativas
à forma e funcionalidade do edifício.

Partindo dos conceitos de racionalização
dos recursos naturais e energéticos,
este projeto de edifício comercial apresenta algumas
soluções simples e eficientes,
a começar pela implantação,
que precisaria vencer a grande declividade do terreno.

Outras explicações relativas às soluções encontradas
estão em meio aos desenhos,
facilitando a leitura e entendimento através
da visualização.

Figura A.1.2 – Prancha 02 Grupo01

Figura A.1.3 – Prancha 03 Grupo01

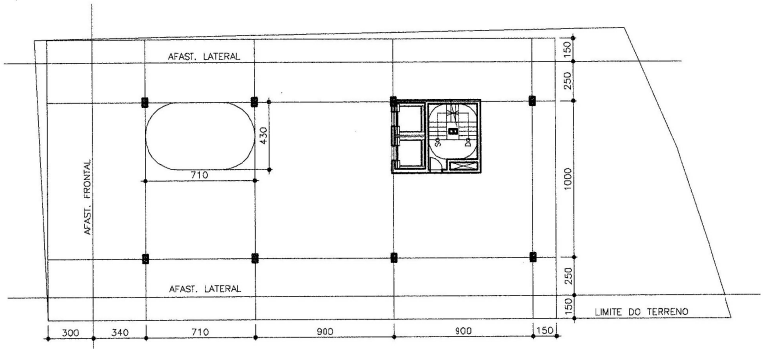


PLANTA COBERTURA
ESCALA 1 : 250

Dentre as soluções mais eficientes em relação à racionalização energética, está a utilização dos coletores solares, que aproveitam ao máximo a radiação do sol. É indiscutível a economia que proporciona, já que o aquecimento de água pode representar uma grande fatia do consumo de eletricidade em edificações.

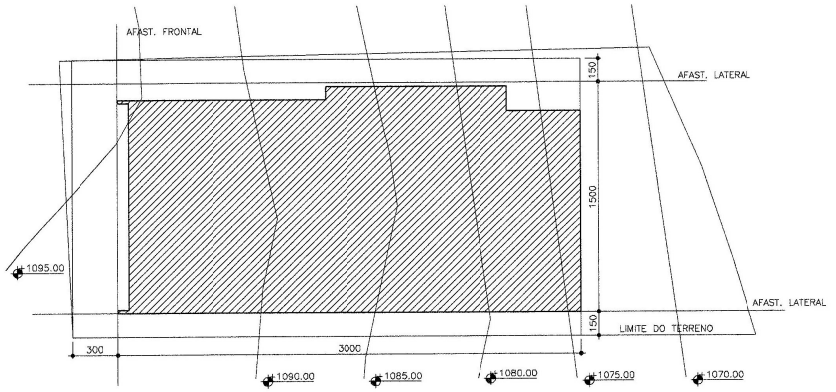


LOCALIZAÇÃO
ESCALA 1 : 1000



MALHA ESTRUTURAL
ESCALA 1 : 200

Devido a grande declividade do terreno, a estrutura de aço tornou-se a mais viável, econômica e esteticamente. A malha é caracterizada por vãos de 9m x 10m e por vãos de 7,1m x 10m e por pequenos balanços nas quatro laterais. Os pilares foram alocados de forma a possibilitar a melhor disposição das vagas nas garagens bem como a melhor articulaçãos dos demais pavimentos.



PLANTA DE SITUAÇÃO
ESCALA 1 : 200

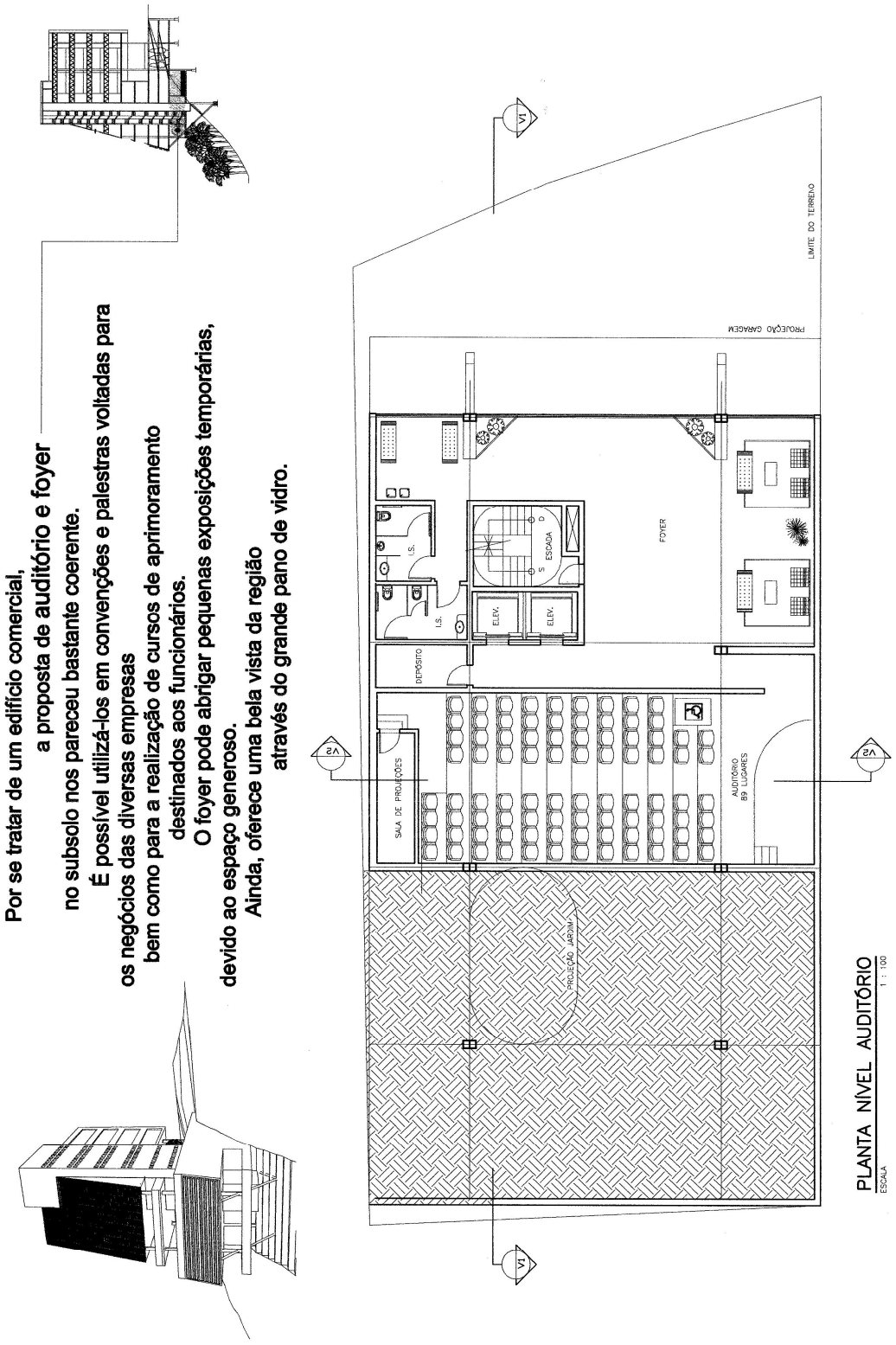


Figura 5.1.A – Prancha 04 Grupo01

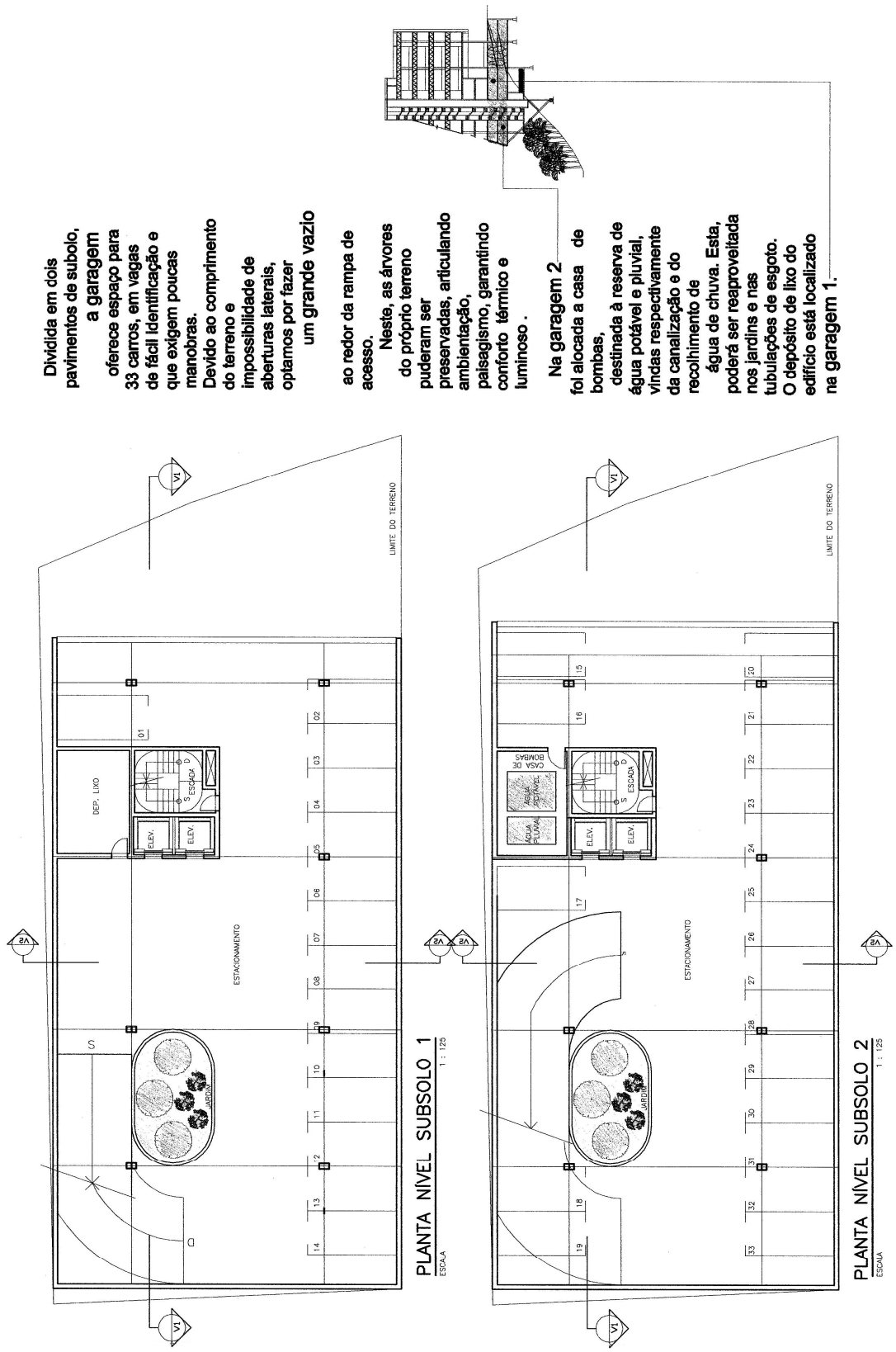


Figura A.1.5 – Prancha 05 Grupo01

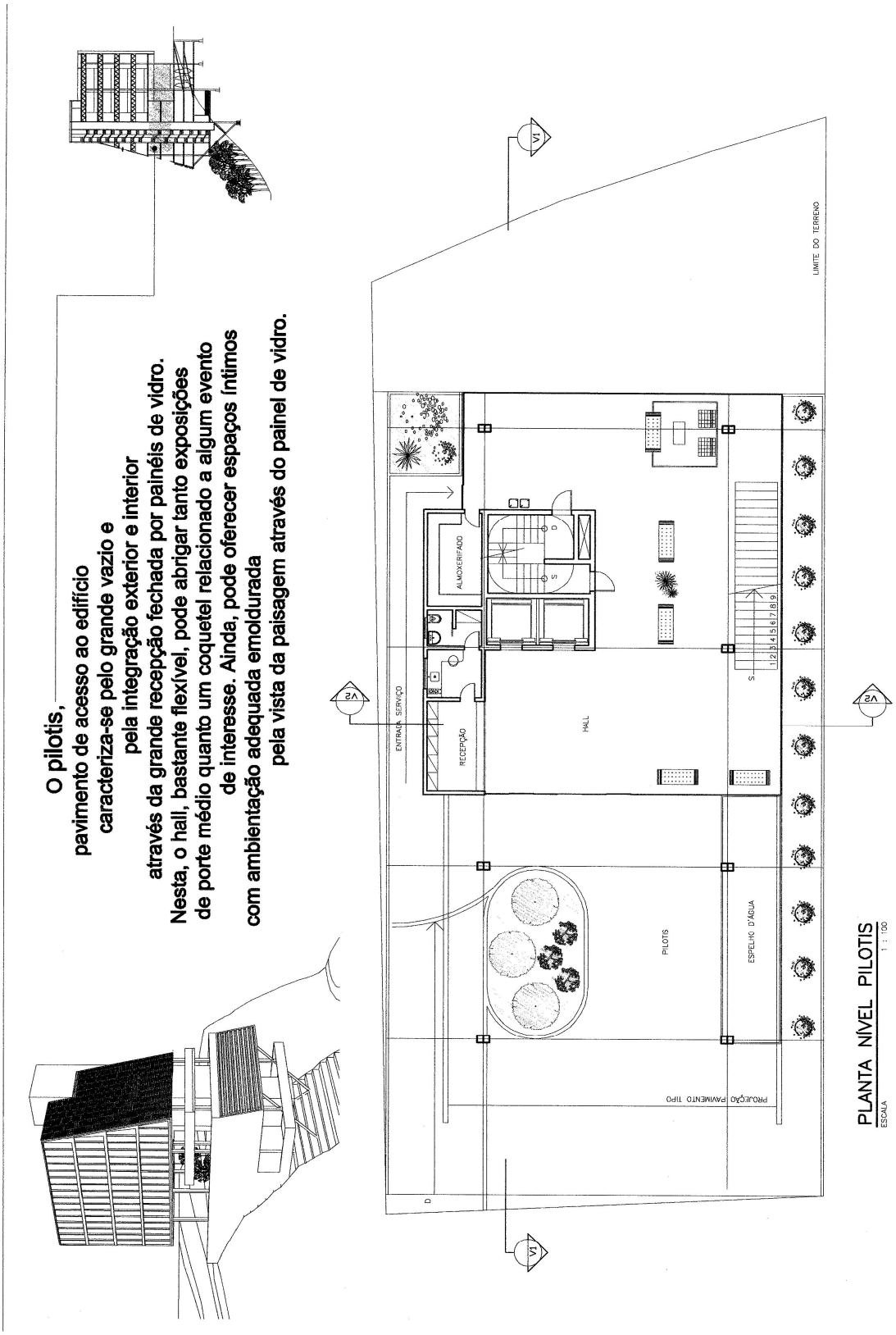


Figura A.1.6 – Prancha 06 Grupo01

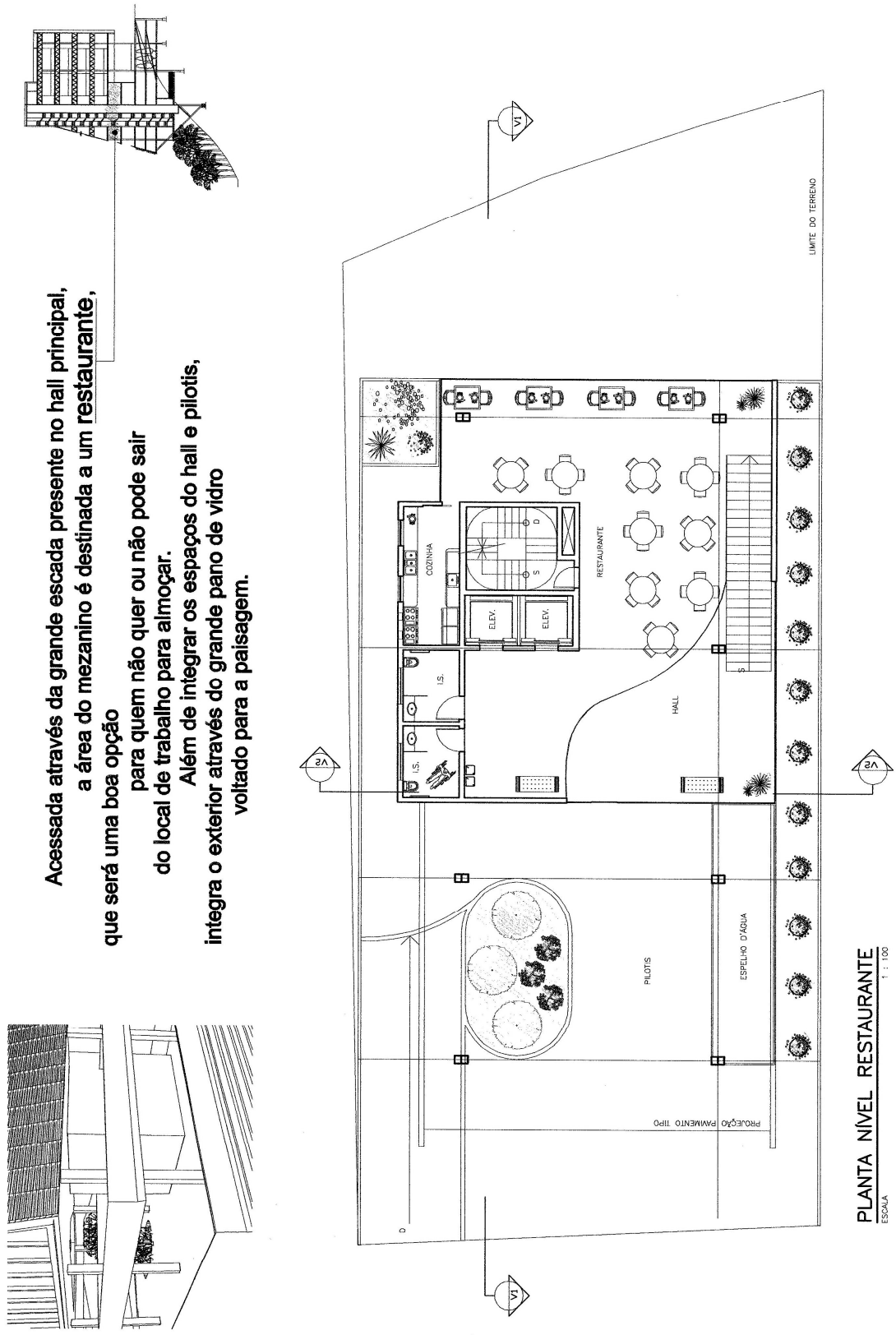


Figura A.1.7 – Prancha 07 Grupo01

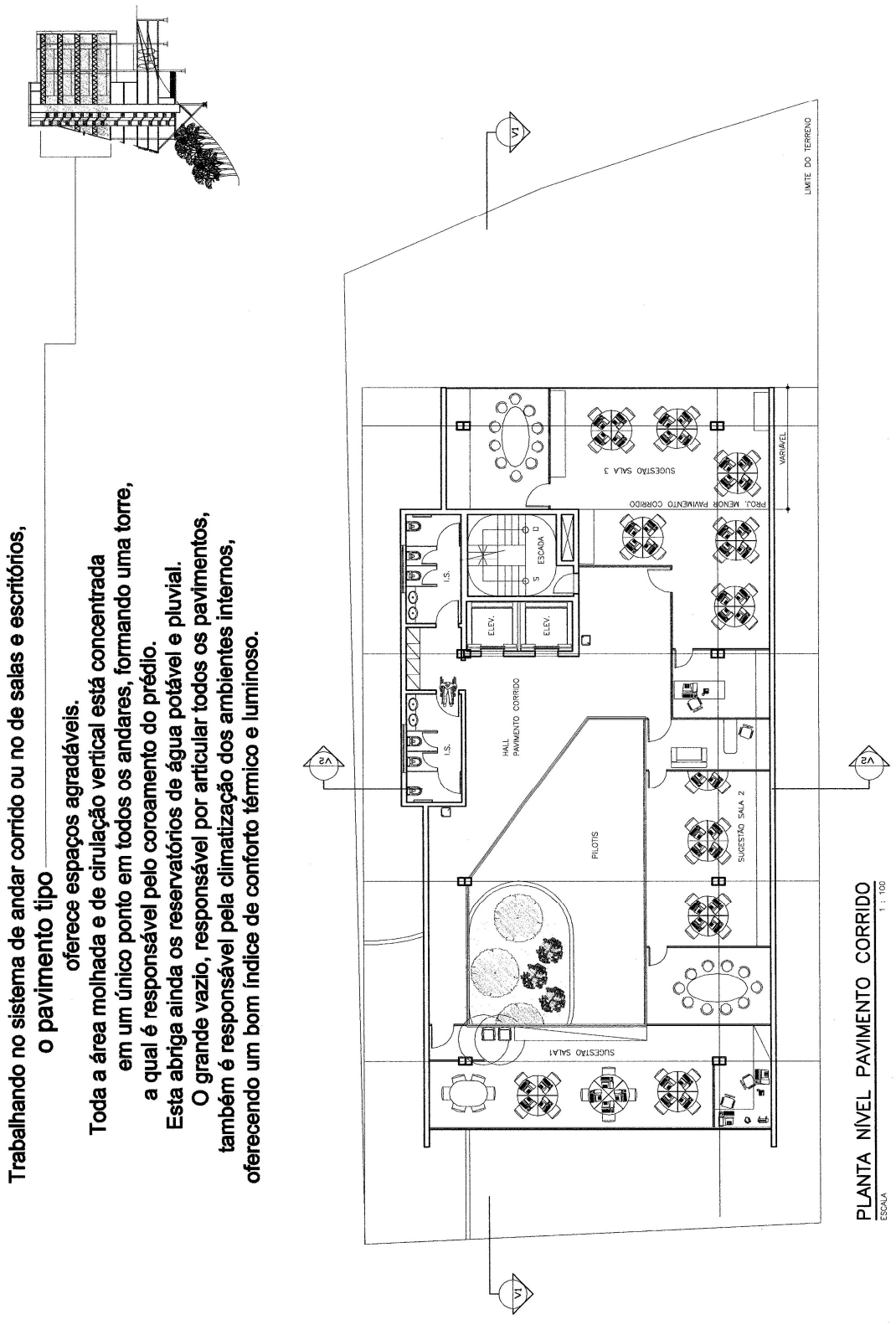


Figura A.1.8 – Prancha 08 Grupo01

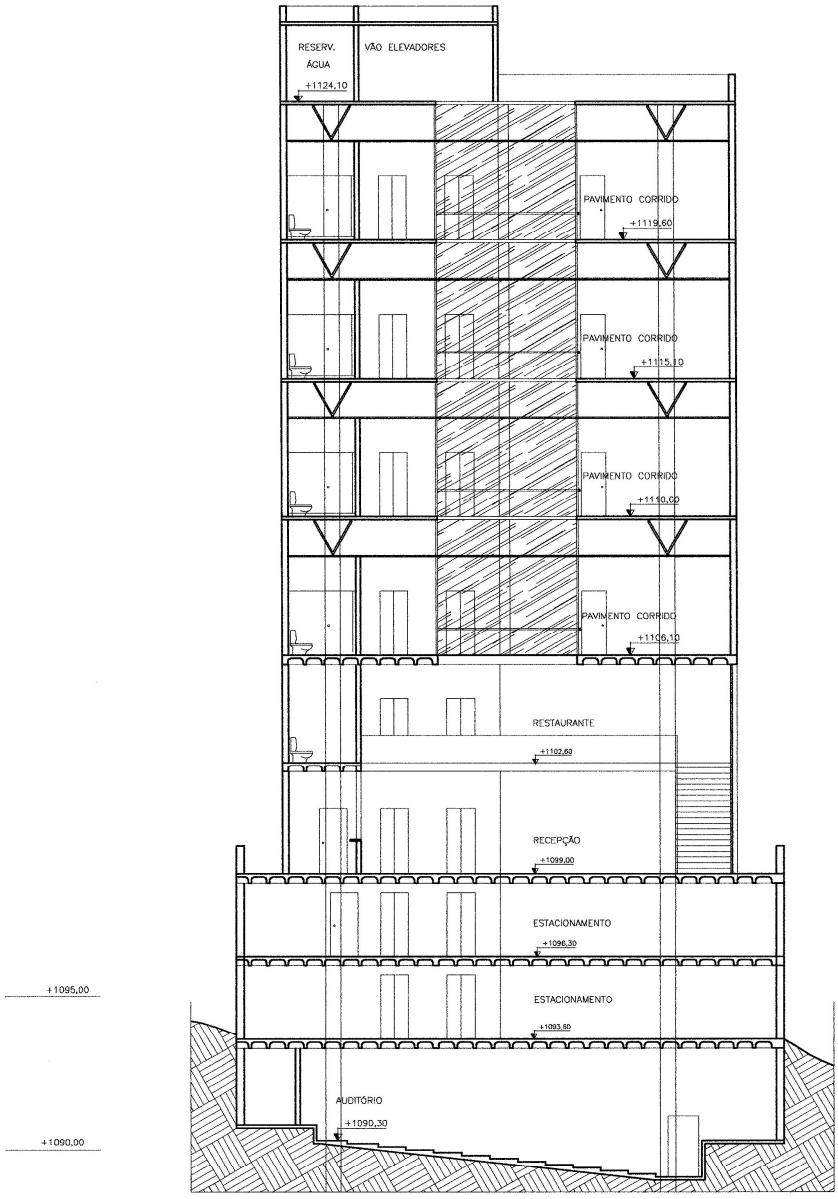


Figura A.1.9 – Prancha 09 Grupo01

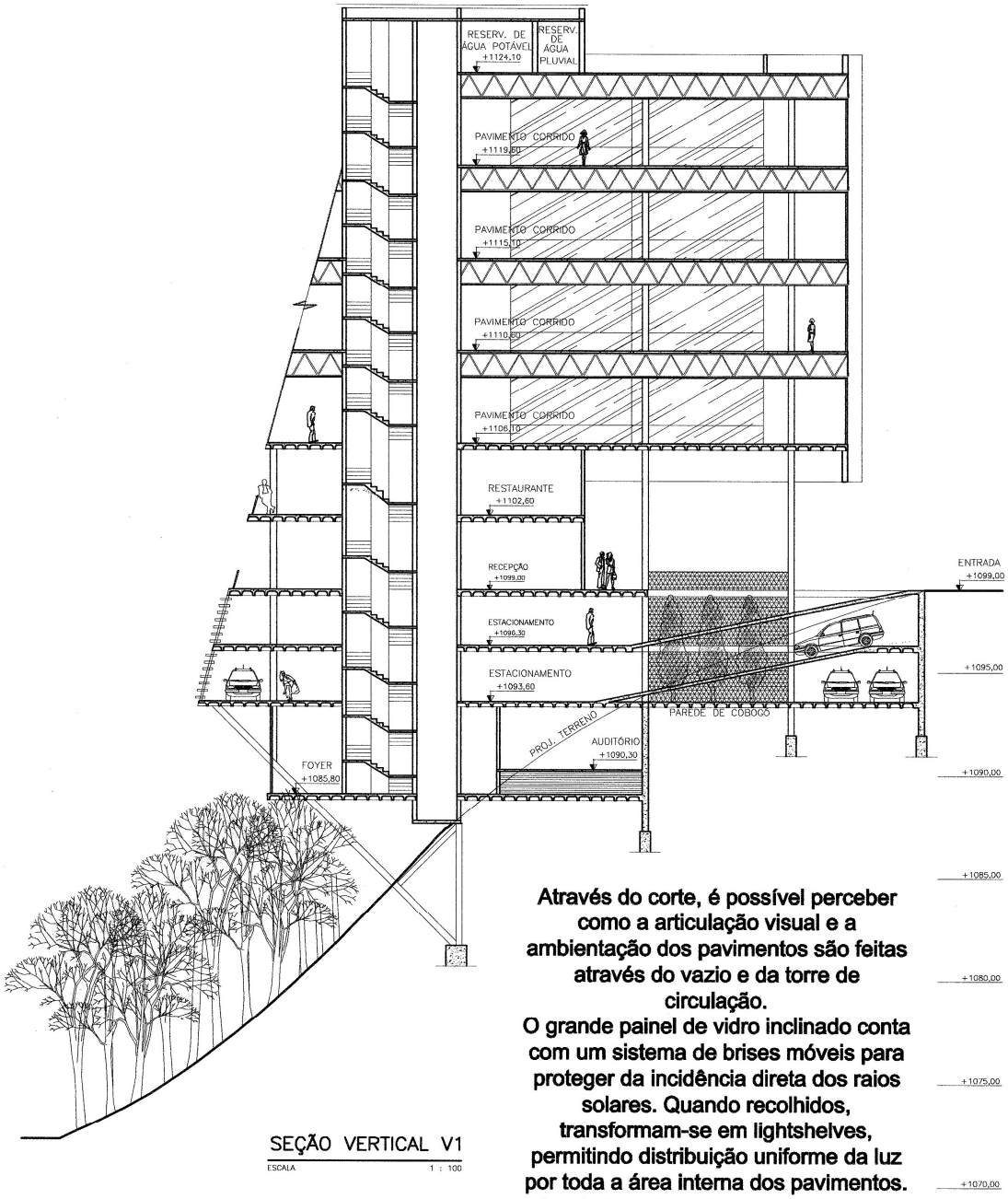


Figura A.1.10 – Prancha 10 Grupo01

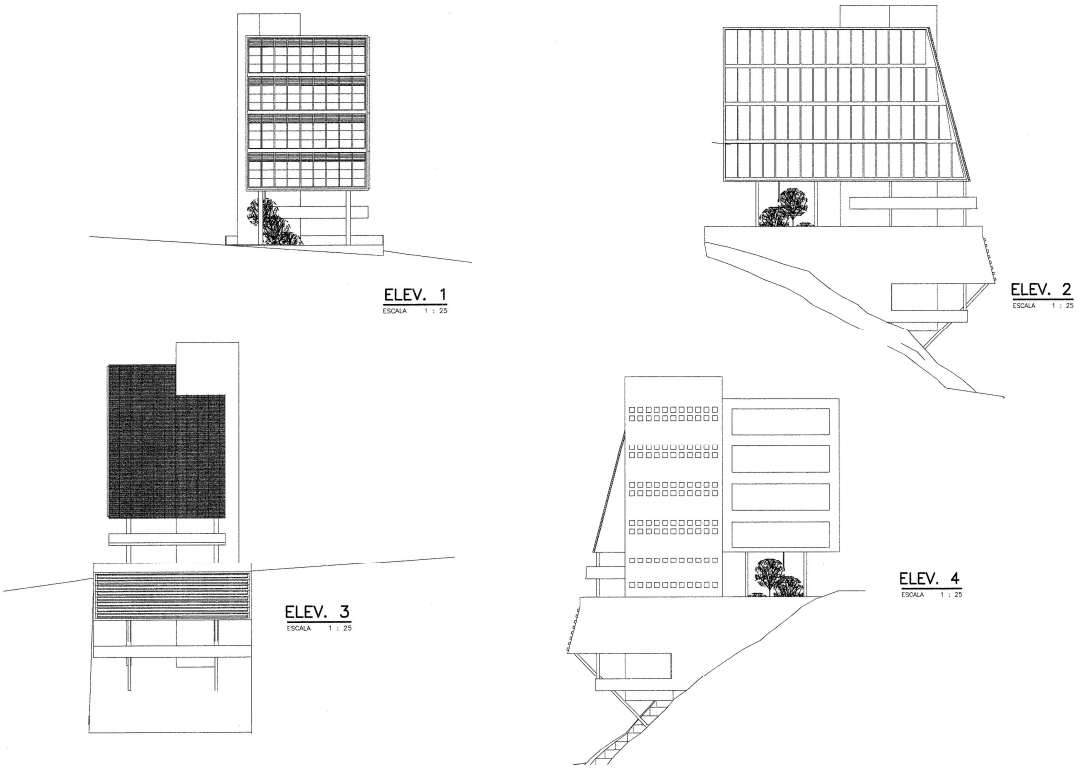
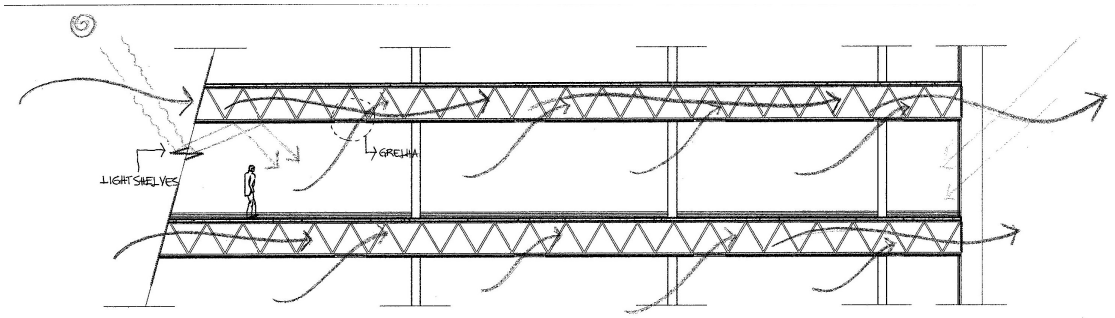


Figura A.1.11 – Prancha 11 Grupo01



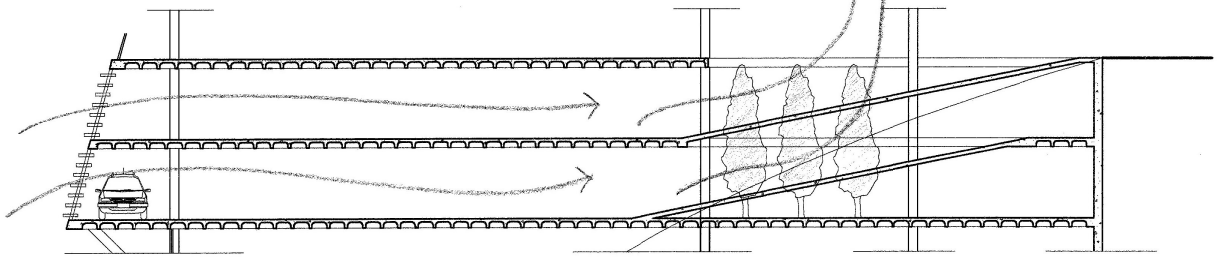
SISTEMA DE GRELHAS REGULÁVEIS

ESCALA 1 : 100

AR FRIO
AR QUENTE
RADIAÇÃO
ILUMINAÇÃO

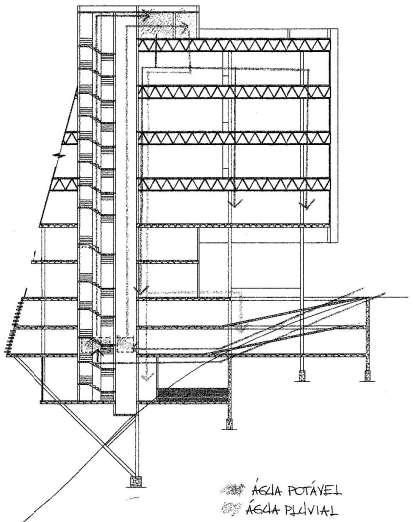
A ventilação dos pavimentos de salas é feita através de um **sistema de grelhas reguláveis.** Na fachada norte, de pressão positiva, há uma faixa de grelhas entre o forro e o pis; entre os quais existe uma viga treliçada pela qual vento entra e atravessa até sair na fachada sul, de pressão negativa. Essa circulação força a saída do ar quente dos ambientes internos através das **grelhas presentes nos tetos,** mantendo o ar sempre renovado.

Nas garagens, o ar também entra pela fachada de pressão positiva, e segue até o **grande vazio,** pelo qual sobe, expelindo os gases provenientes dos automóveis.



VENTILAÇÃO GARAGENS

ESCALA 1 : 100



ESQUEMA REAPROVEITAMENTO DE ÁGUA

Figura A.1.12 – Prancha 12 Grupo01

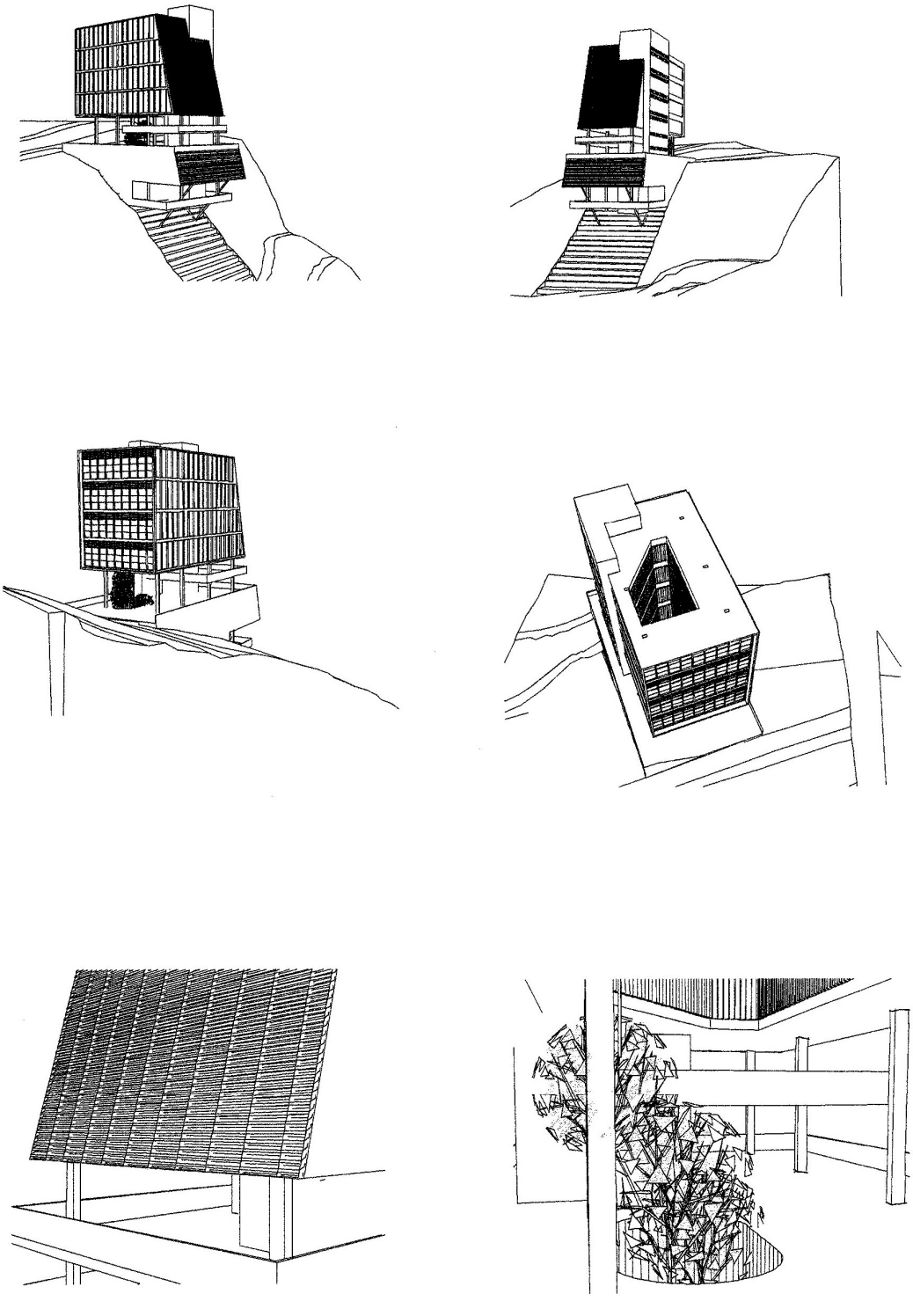


Figura A.1.13 – Prancha 13 Grupo01

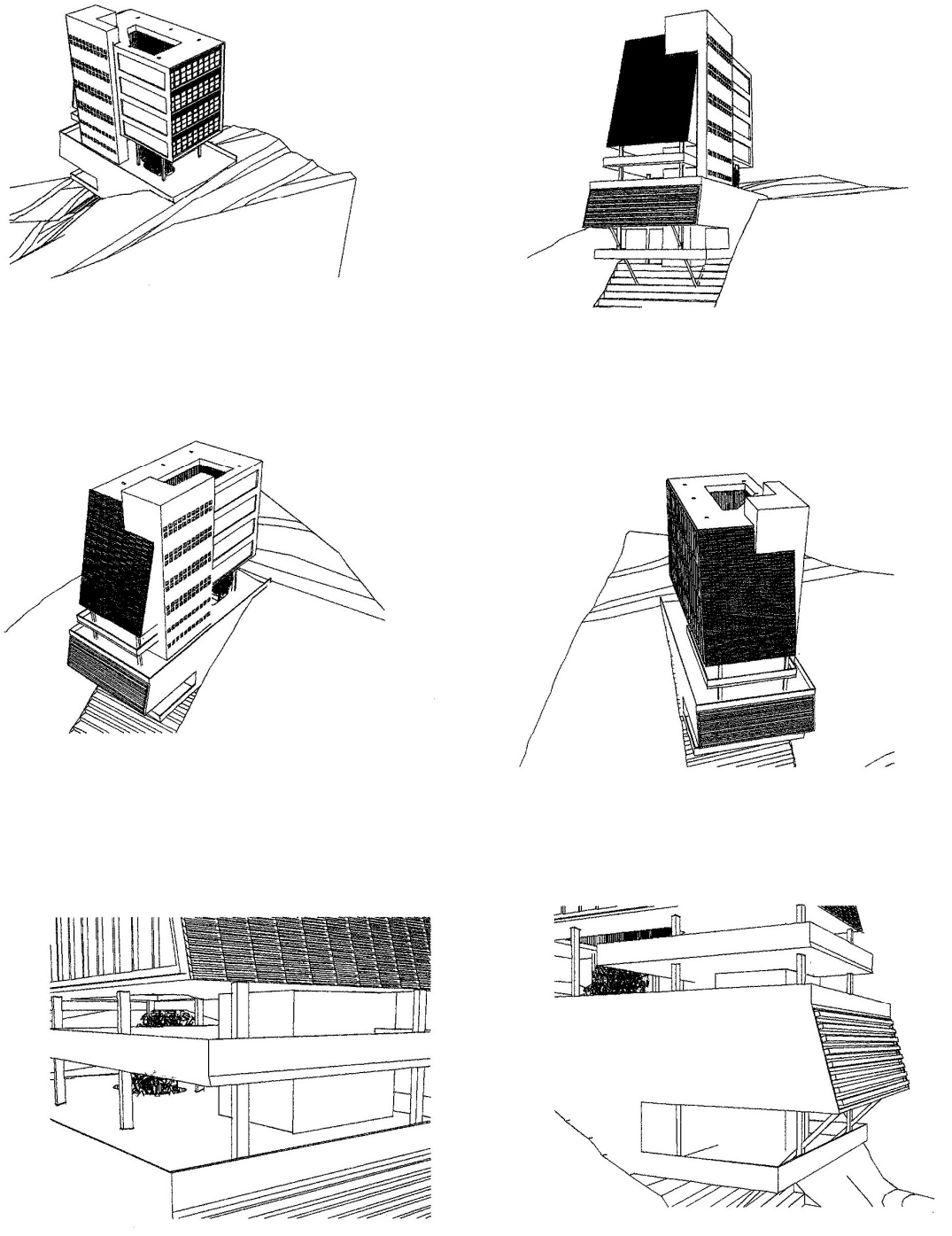


Figura A.1.14 – Prancha 13 Grupo01

Anexo 2 . Trabalho Final do Grupo 2

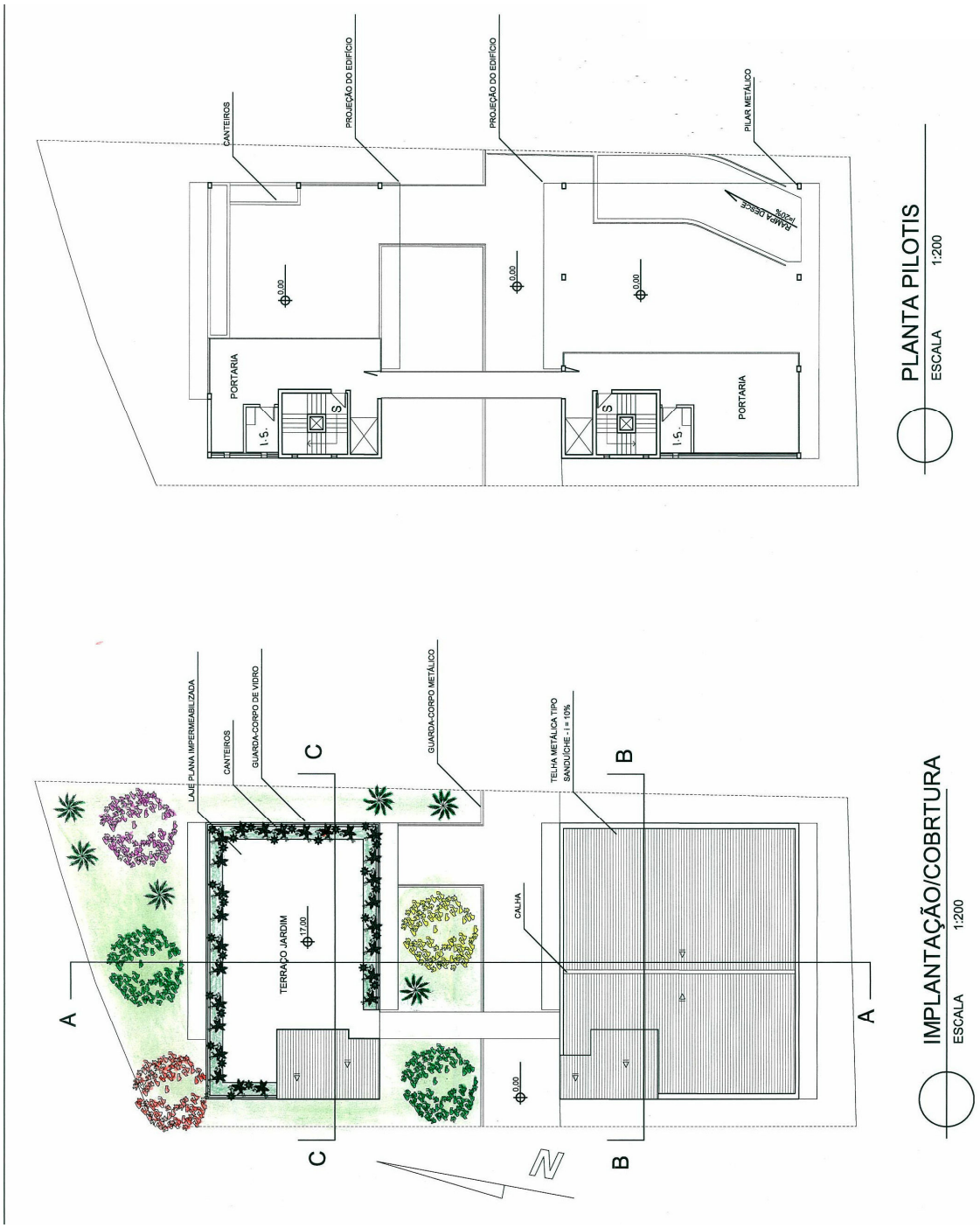


Figura A.2.1 – Prancha 01 Grupo02

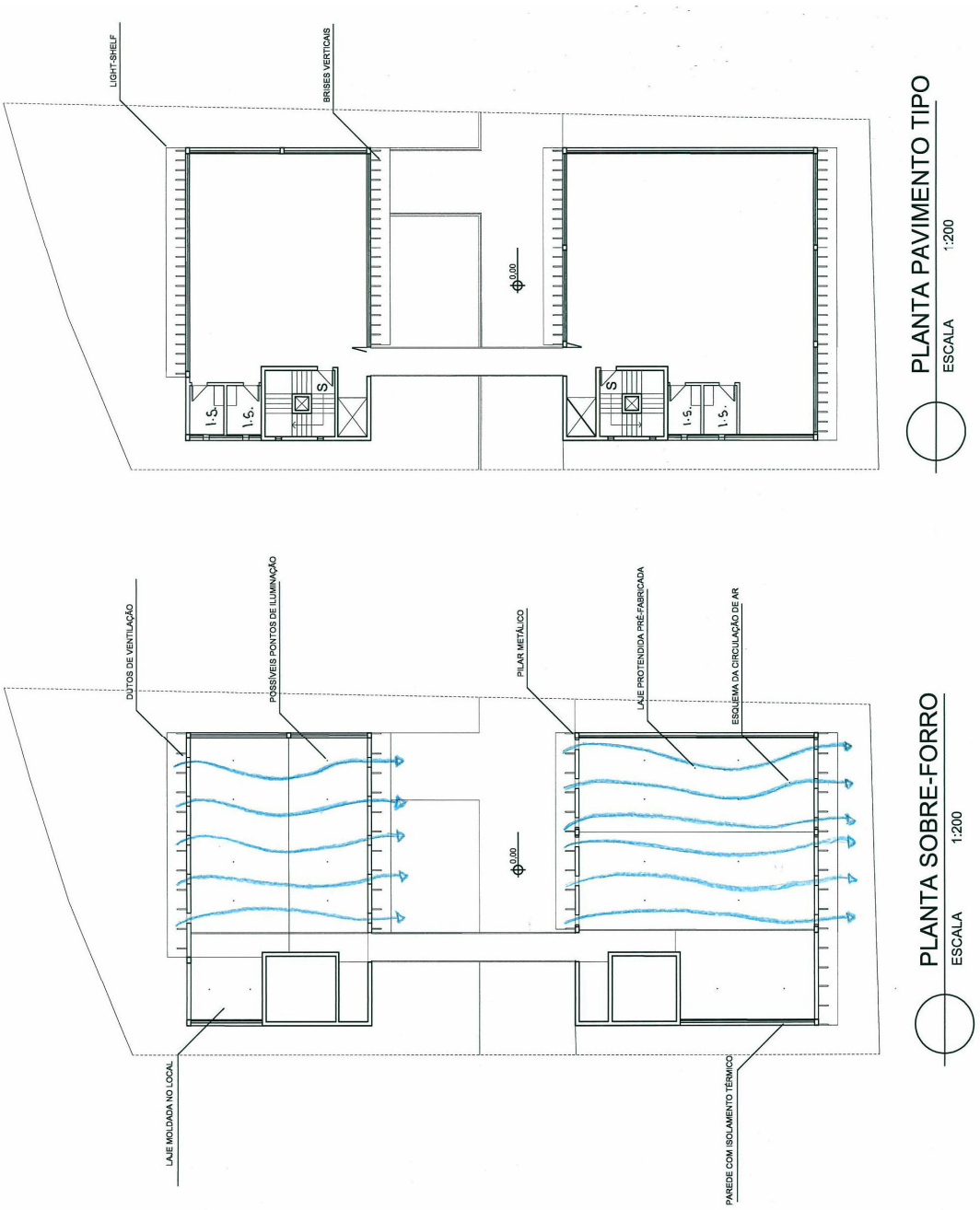


Figura A.2.2 – Prancha 02 Grupo02

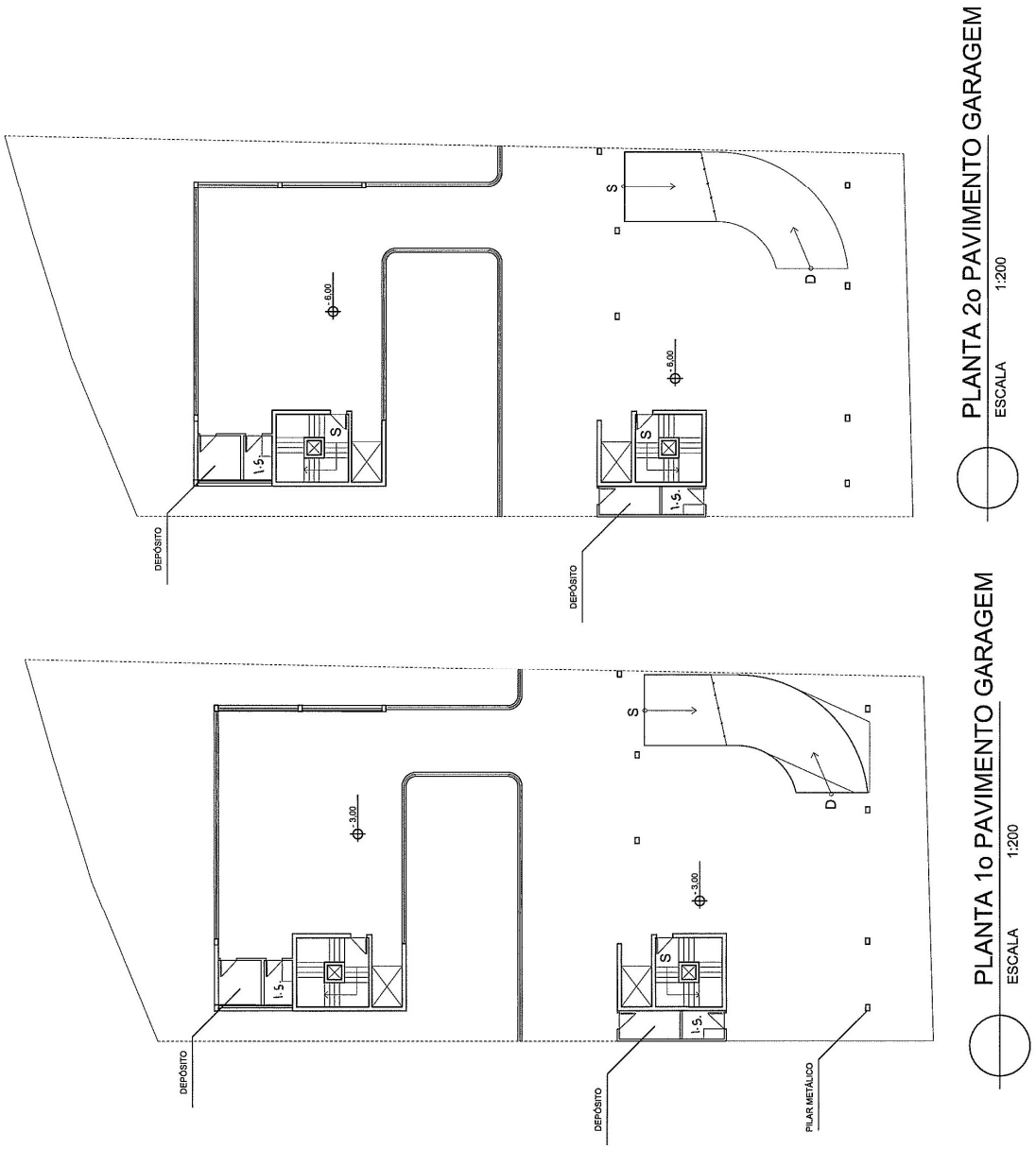


Figura A.2.3 – Prancha 03 Grupo02

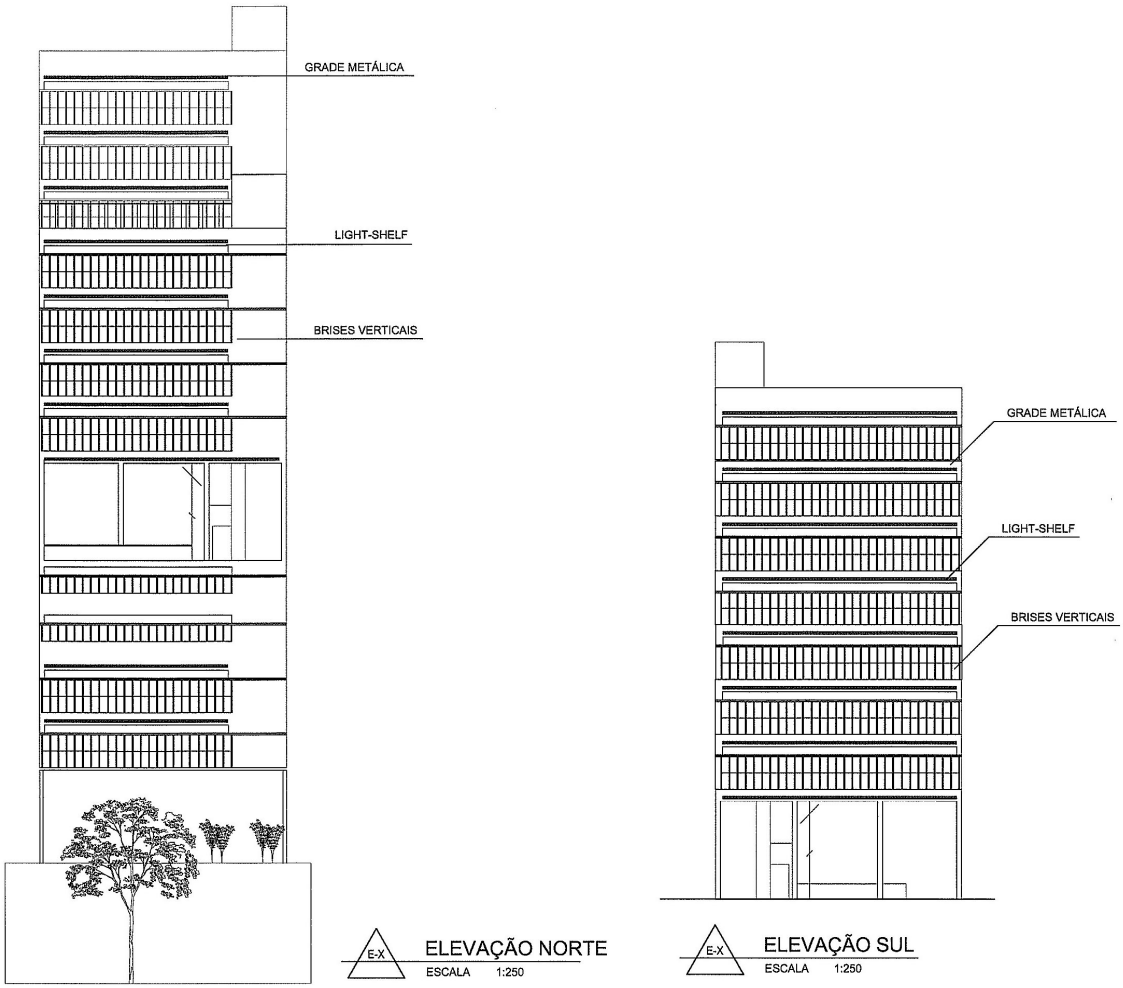


Figura A.2.4 – Prancha 04 Grupo02

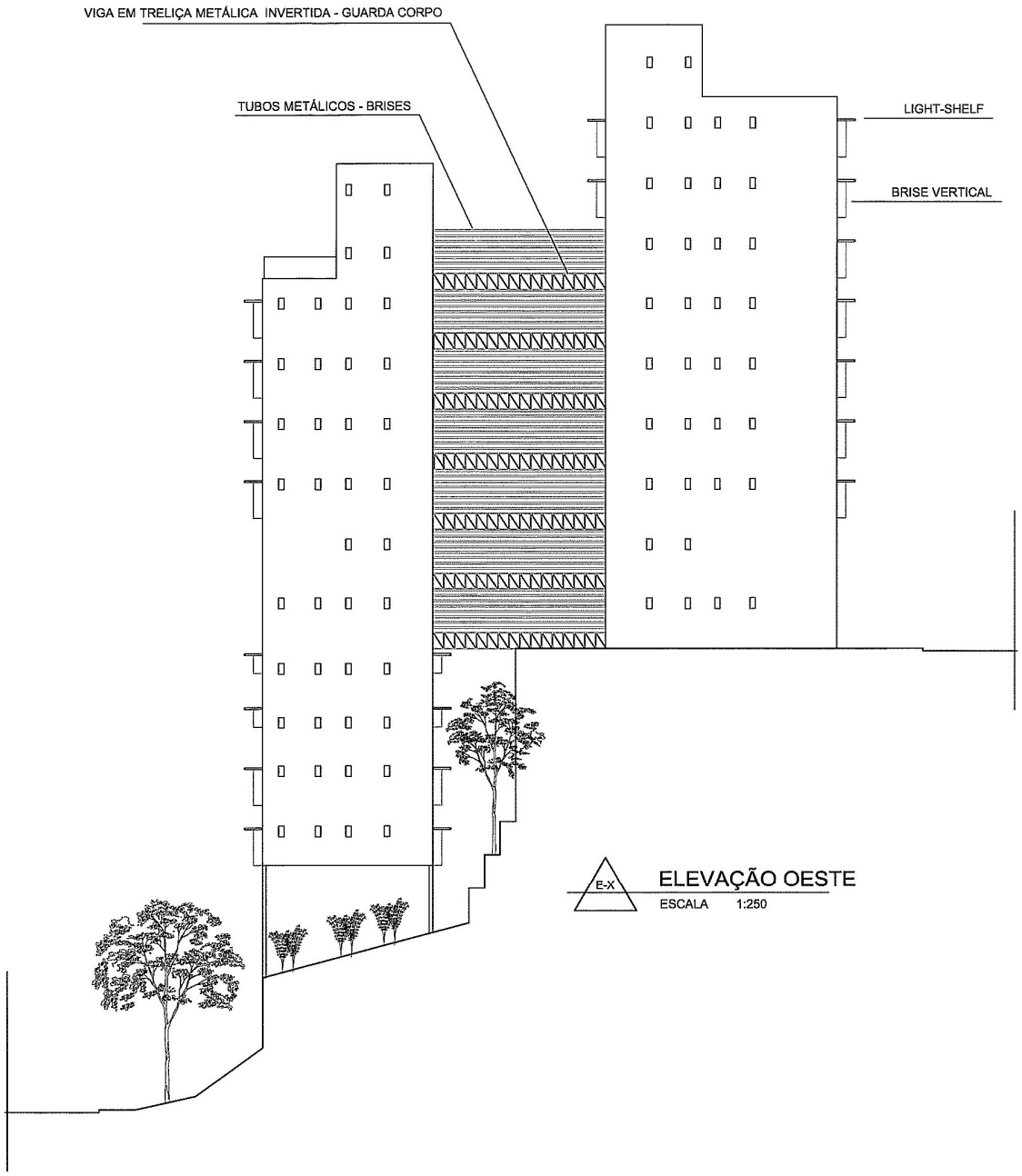


Figura A.2.5 – Prancha 05 Grupo02

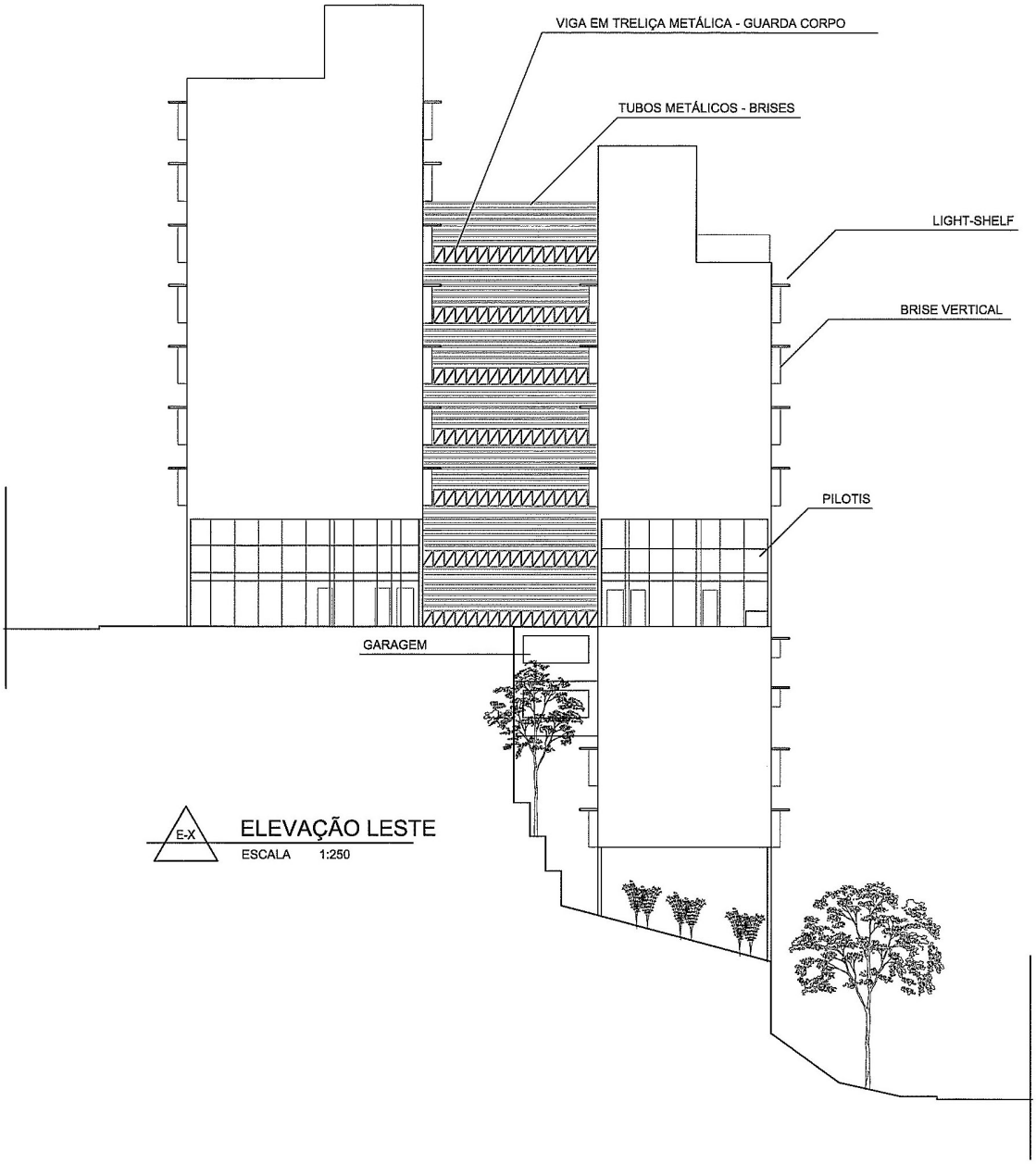


Figura A.2.6 – Prancha 06 Grupo02

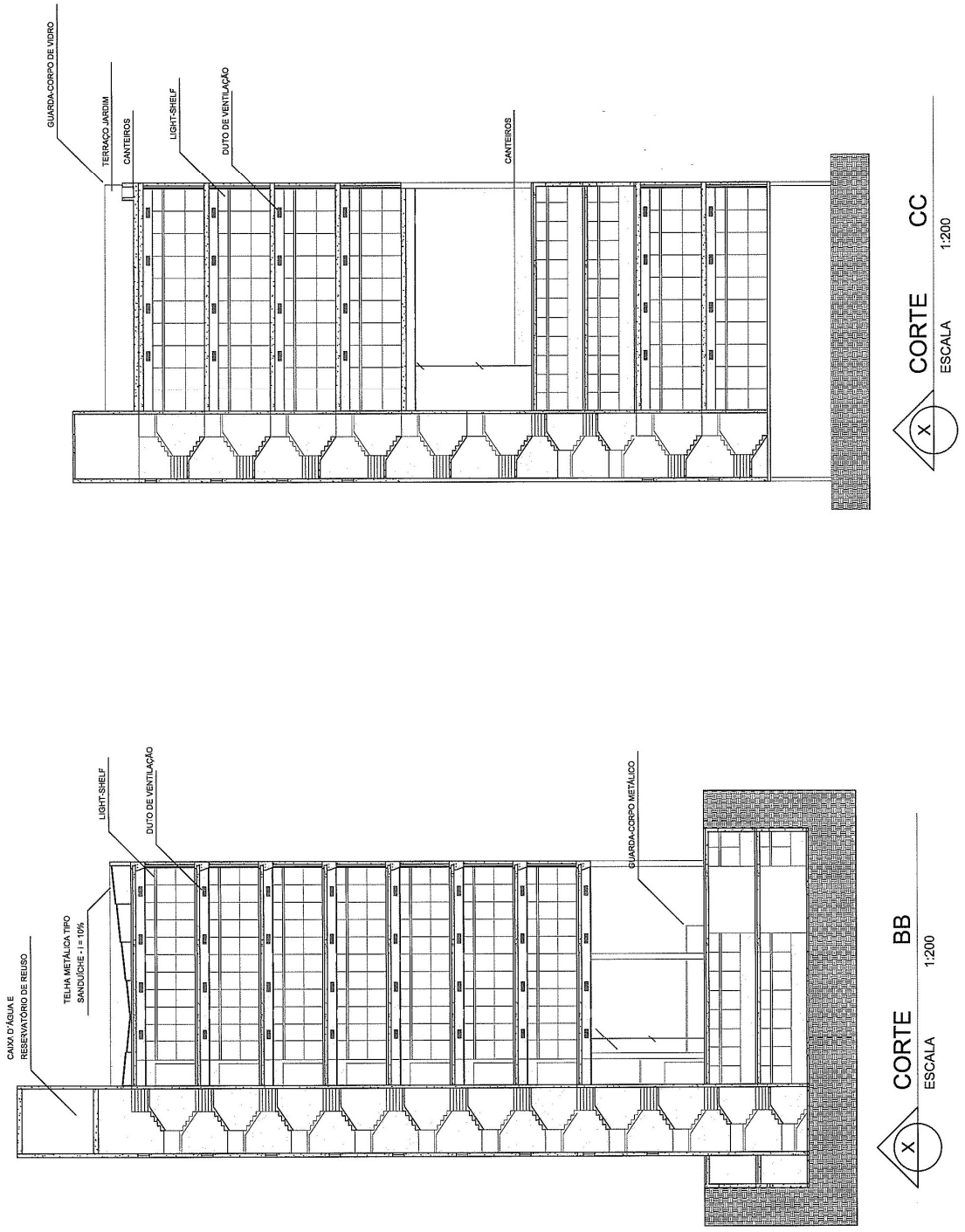


Figura A.2.7 – Prancha 07 Grupo02

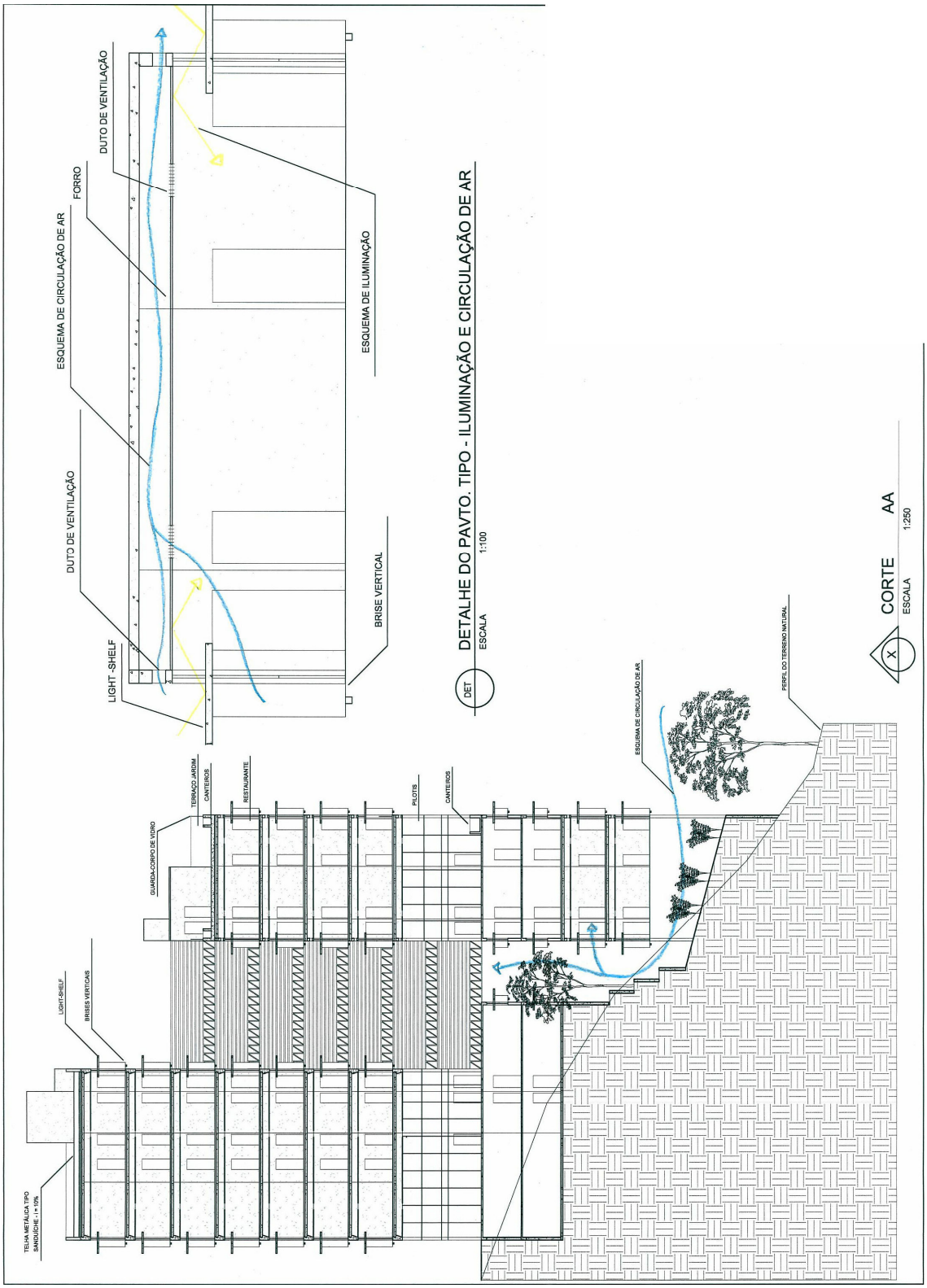


Figura A.2.8 – Prancha 08 Grupo02

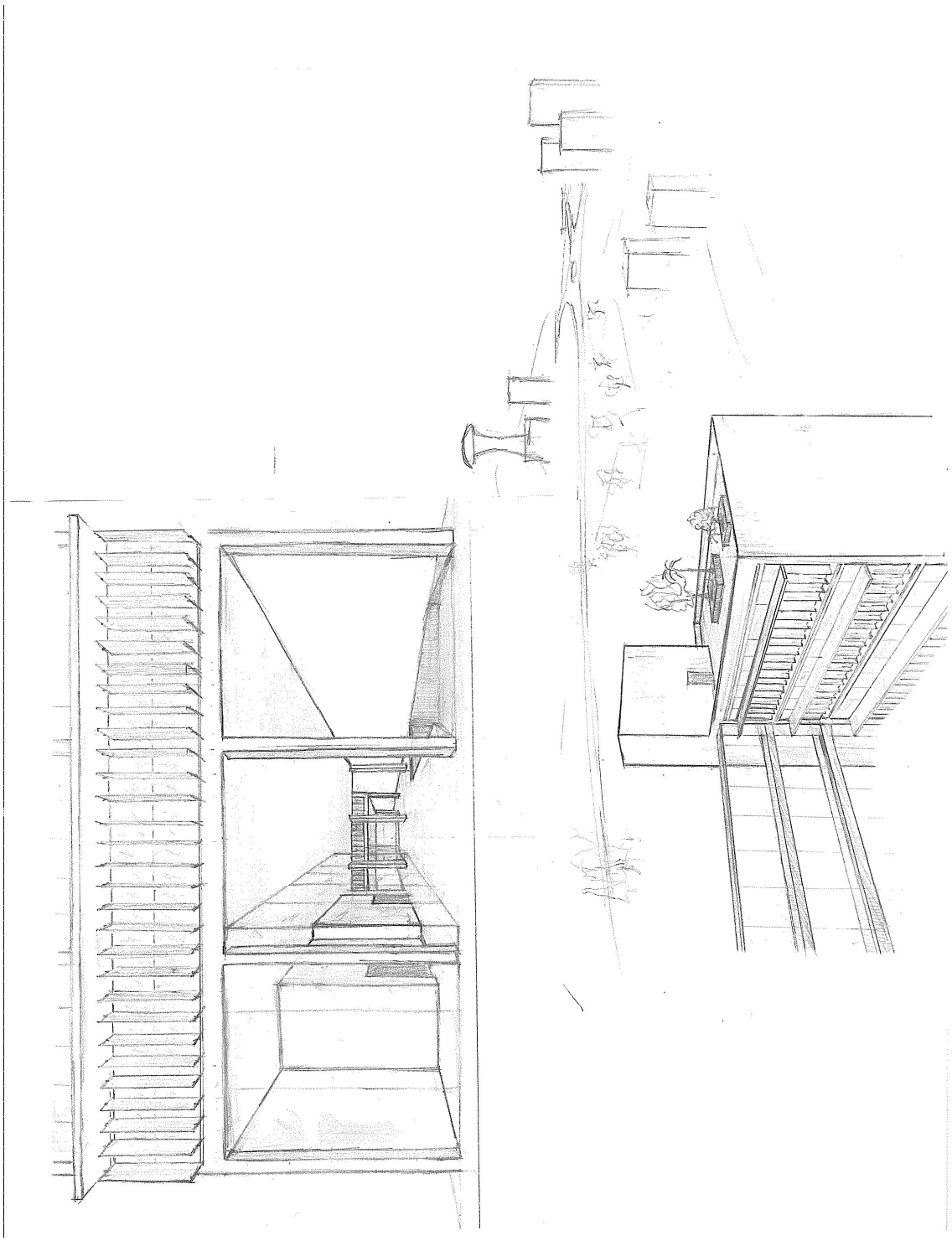


Figura A.2.9 – Prancha 09 Grupo02

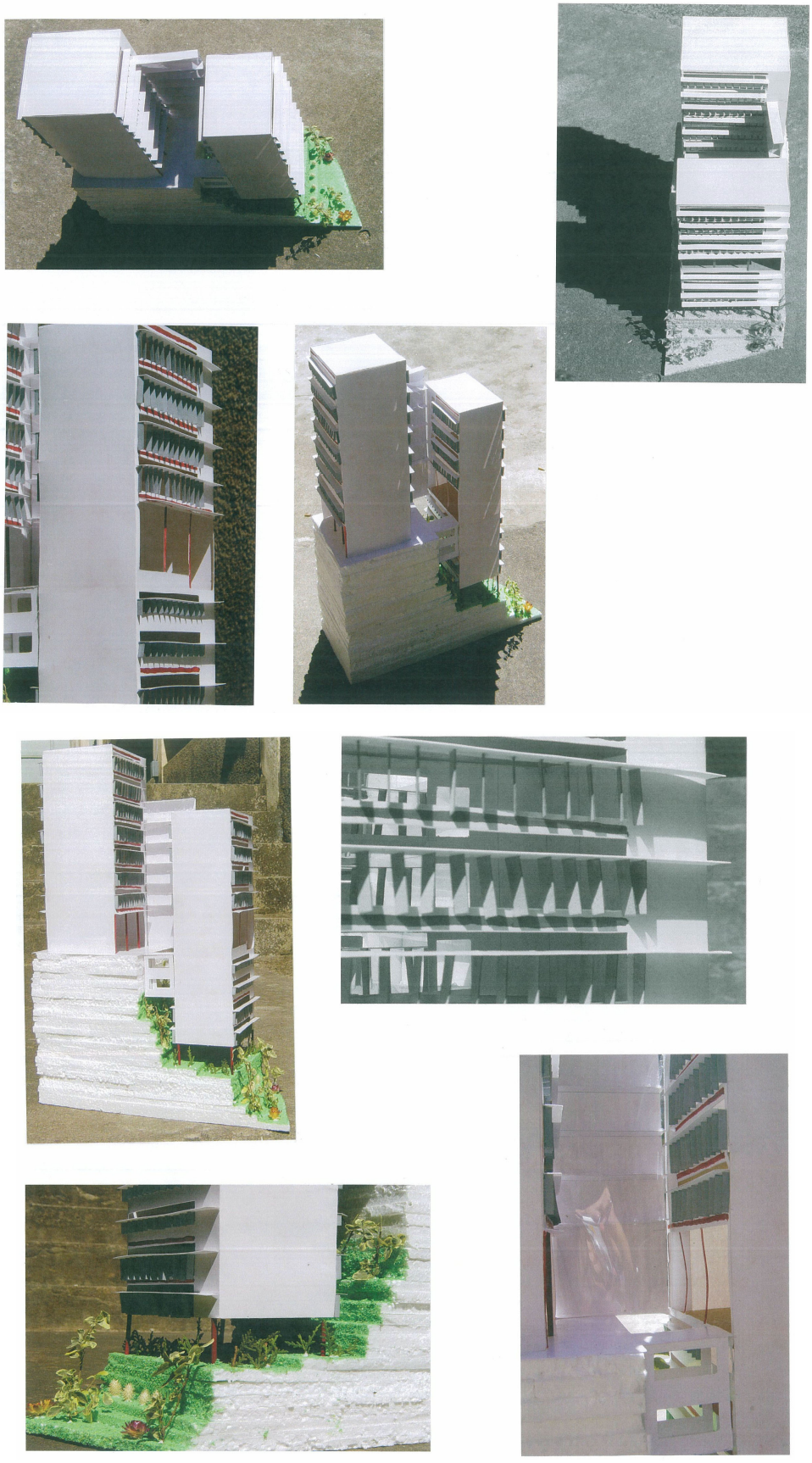


Figura A.2.10 – Prancha 10 Grupo02

Anexo 3 . Trabalho Final do Grupo 3

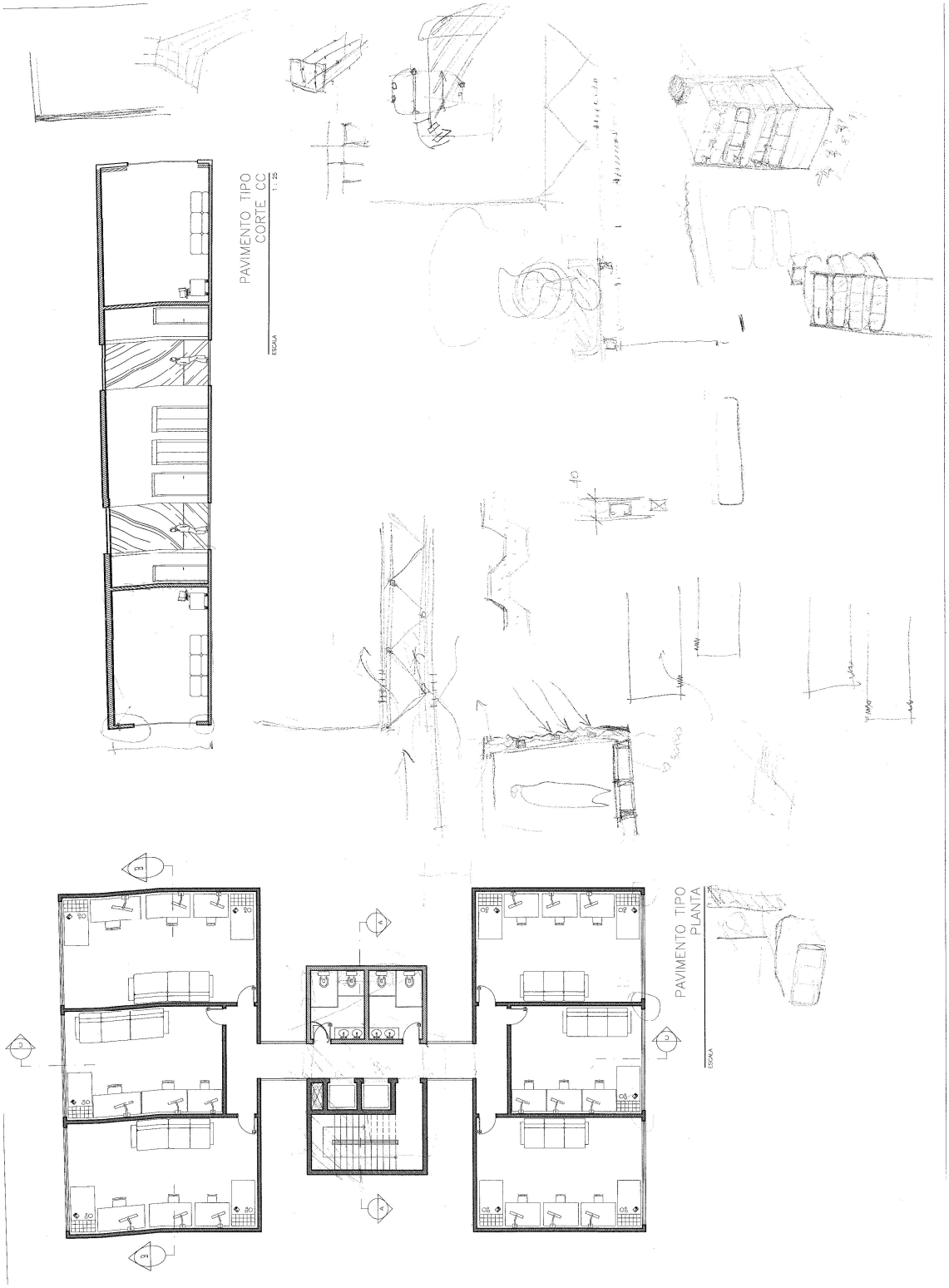


Figura A.3.1 – Croquis Grupo03

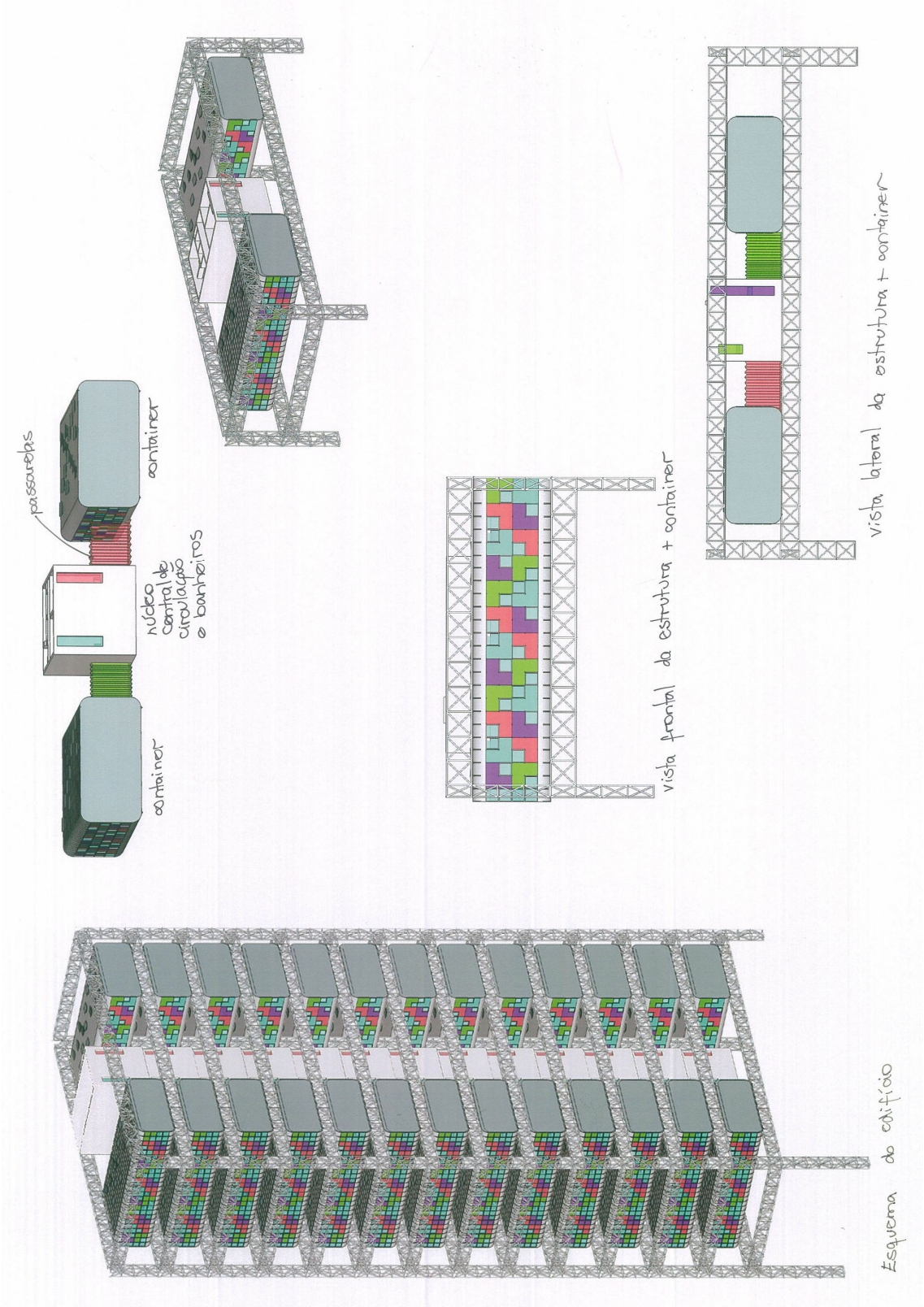


Figura A.3.2 – Prancha 01 Grupo03

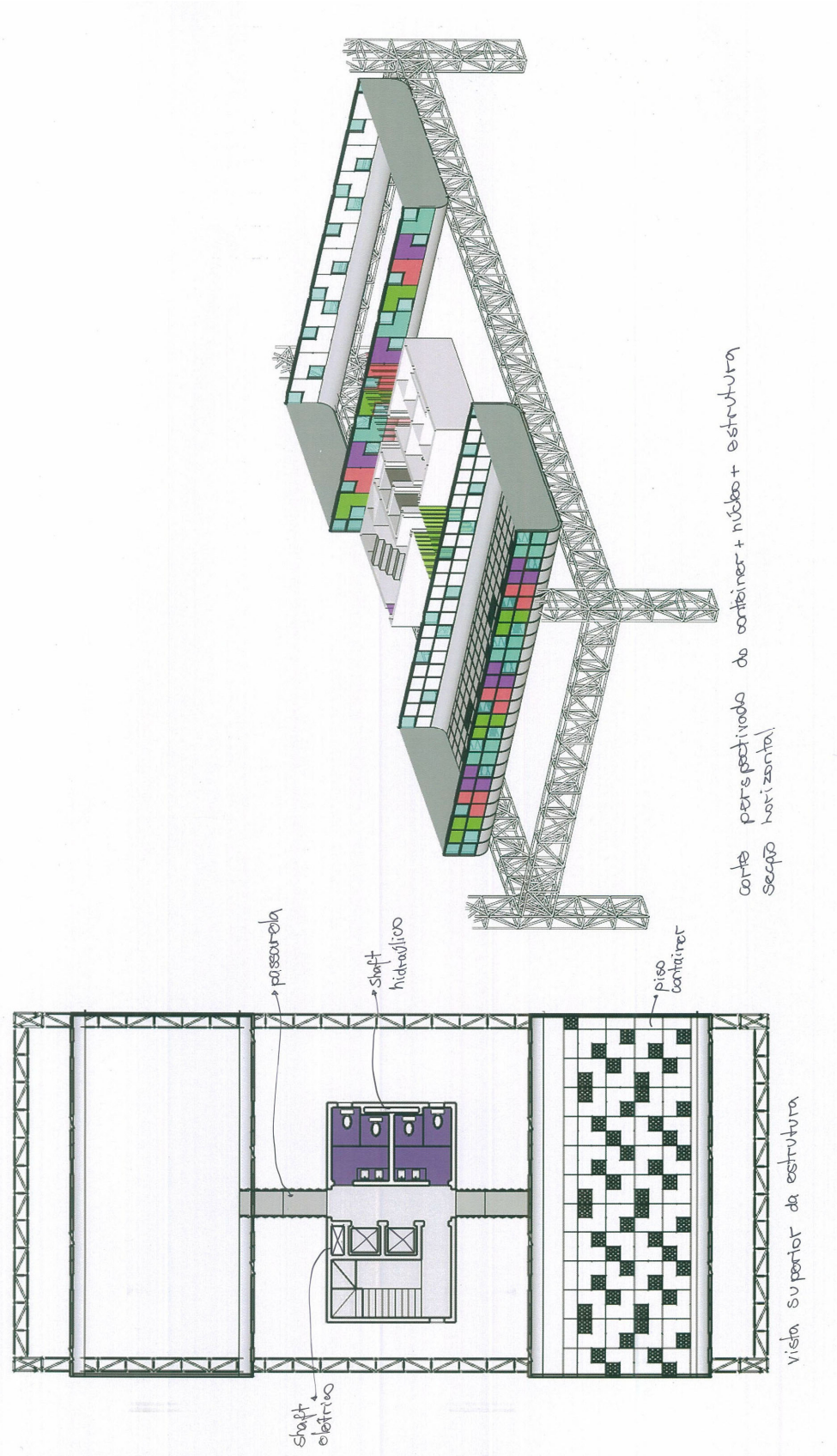


Figura A.3.3 – Prancha 02 Grupo03

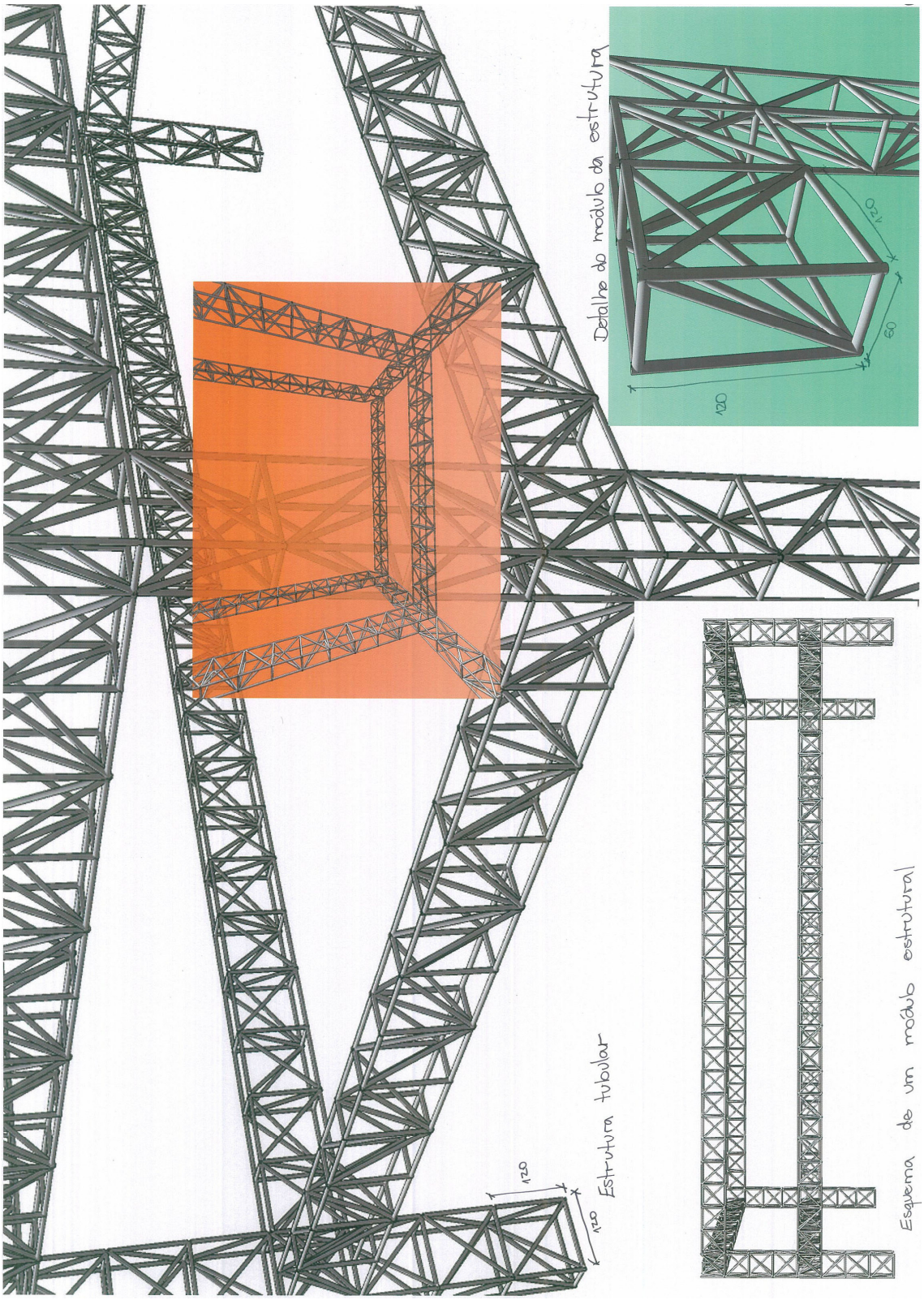


Figura A.3.4 – Prancha 03 Grupo03

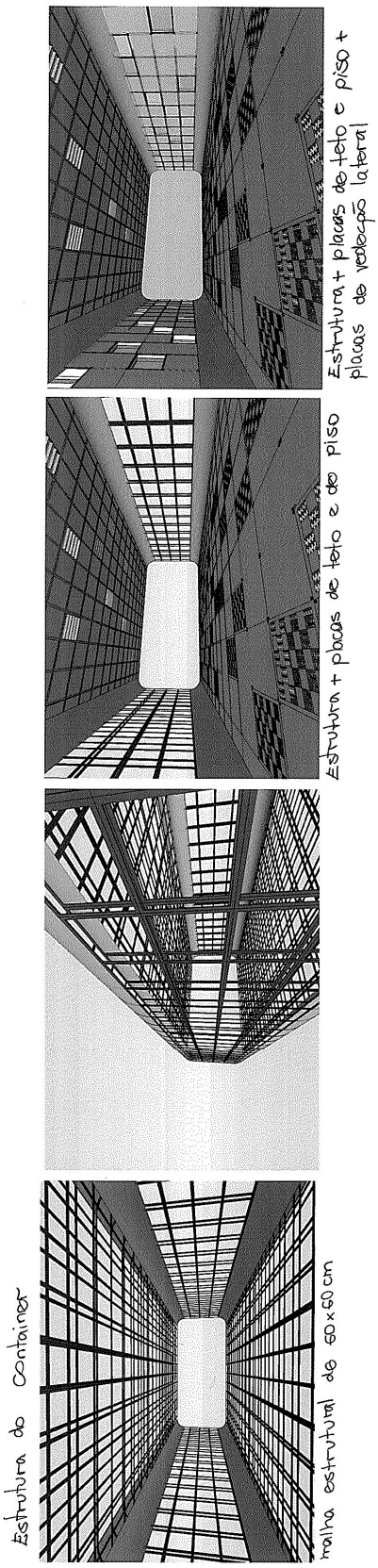


Figura A.3.5 – Prancha 04 Grupo03

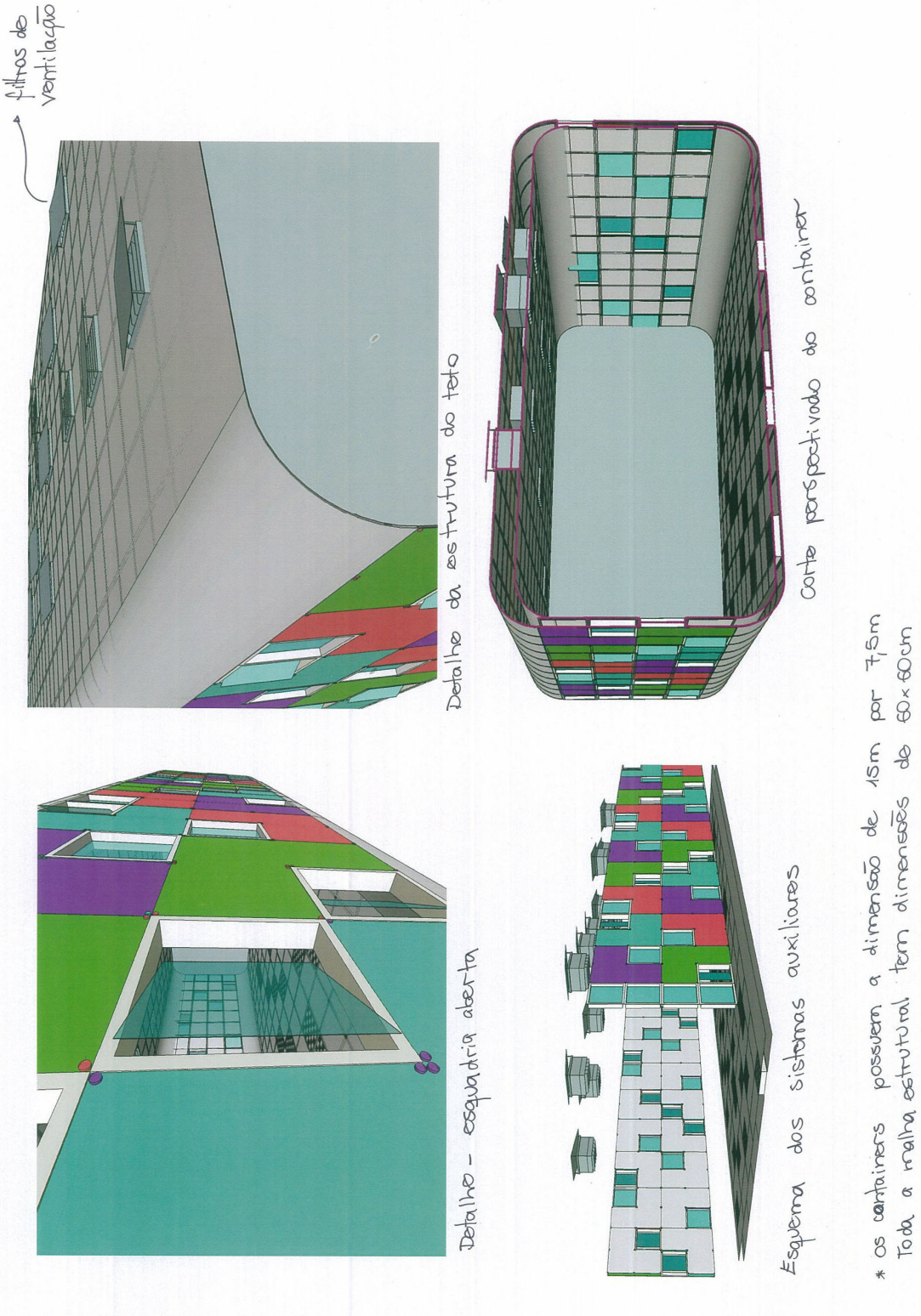


Figura A.3.6 – Prancha 05 Grupo03

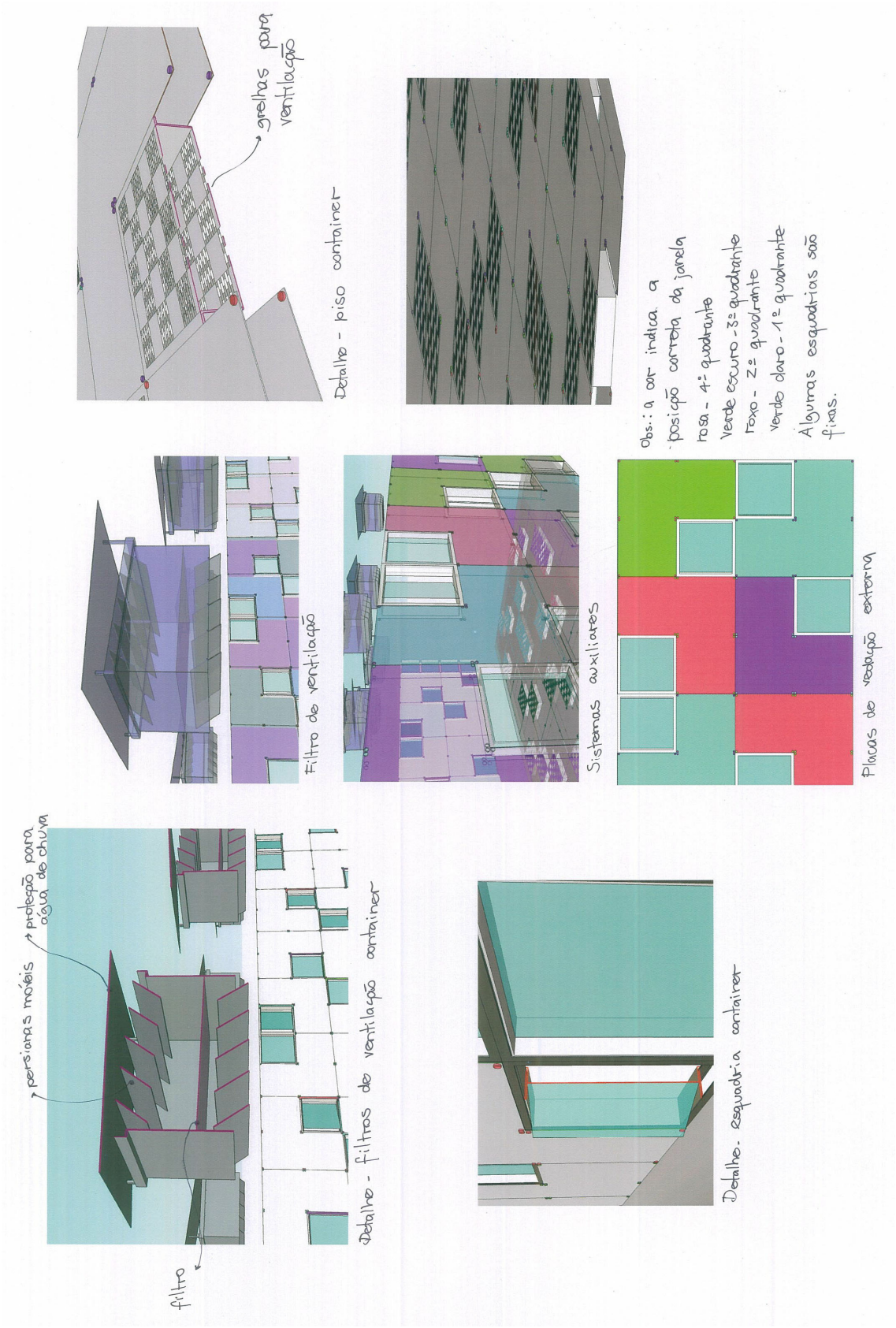


Figura A.3.7 – Prancha 06 Grupo03

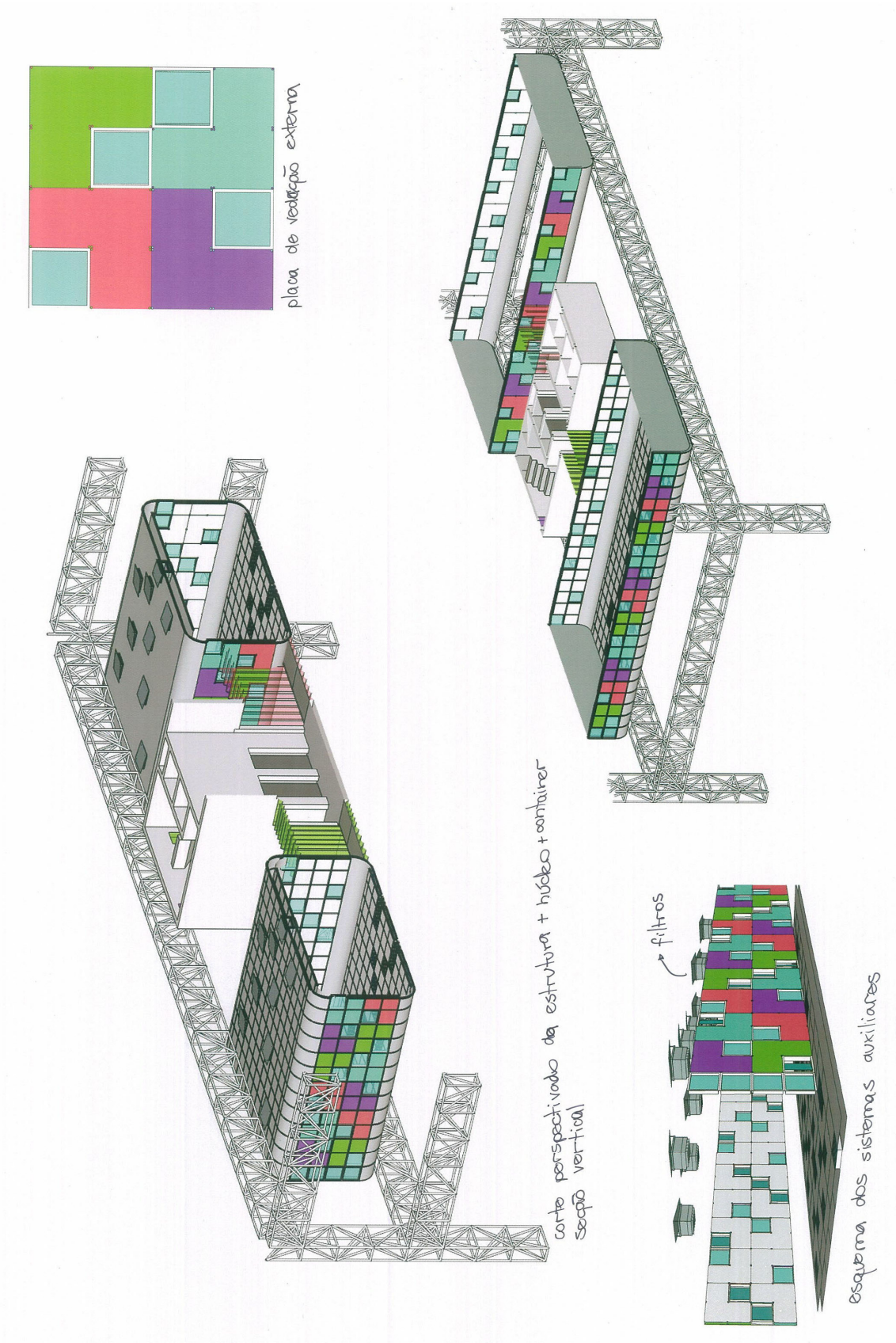


Figura A.3.8 – Prancha 07 Grupo03

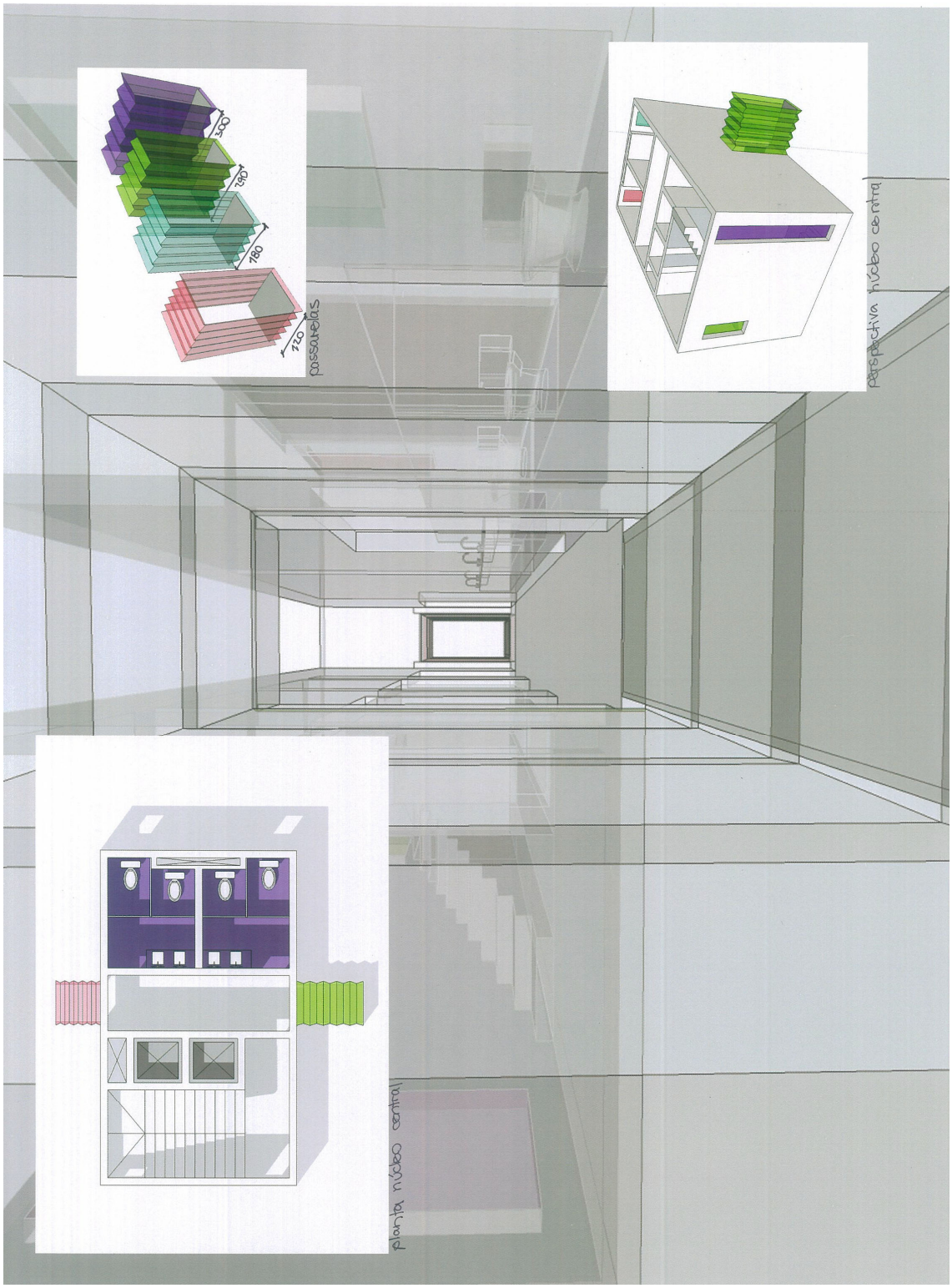
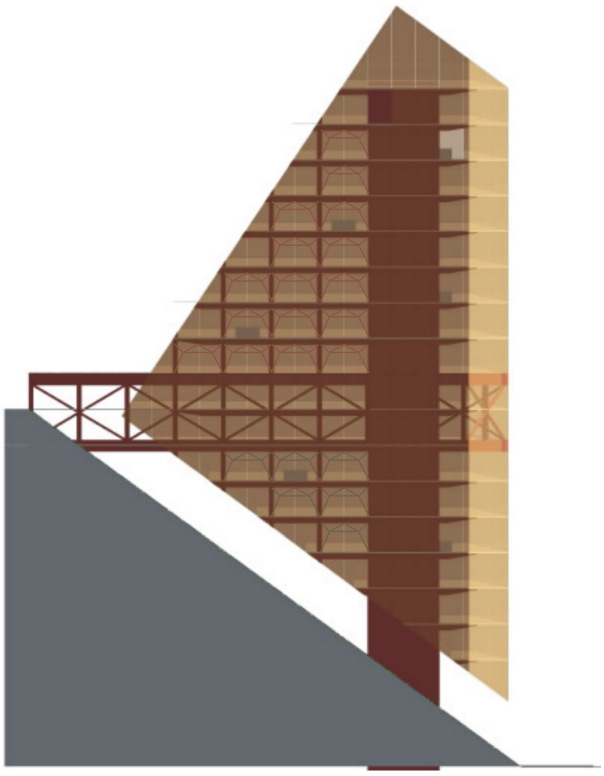
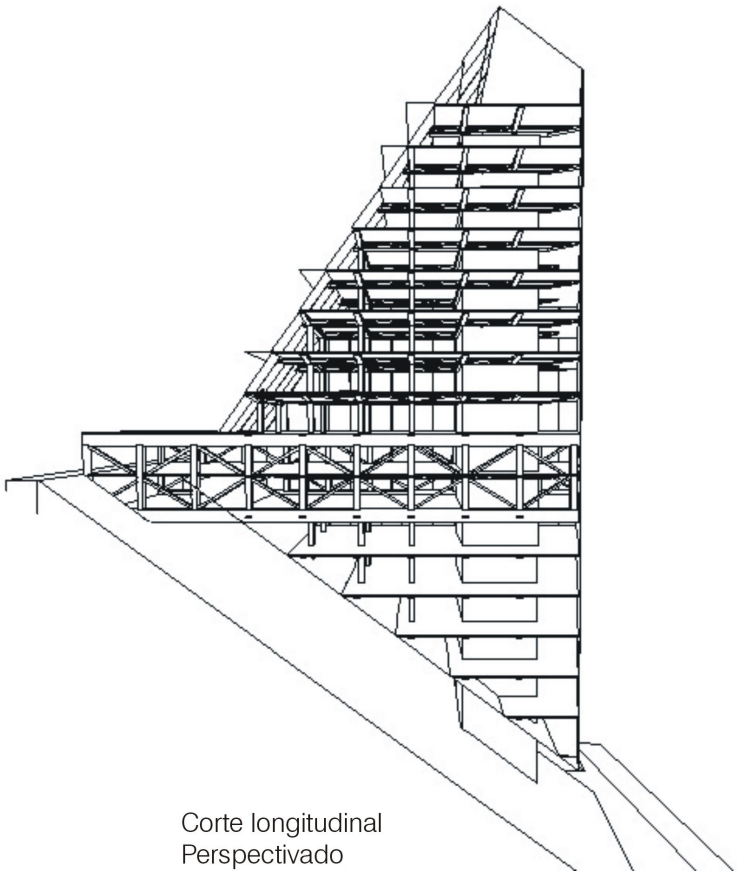


Figura A.3.9 – Prancha 08 Grupo03

Anexo 4 . Trabalho Final do Grupo 4

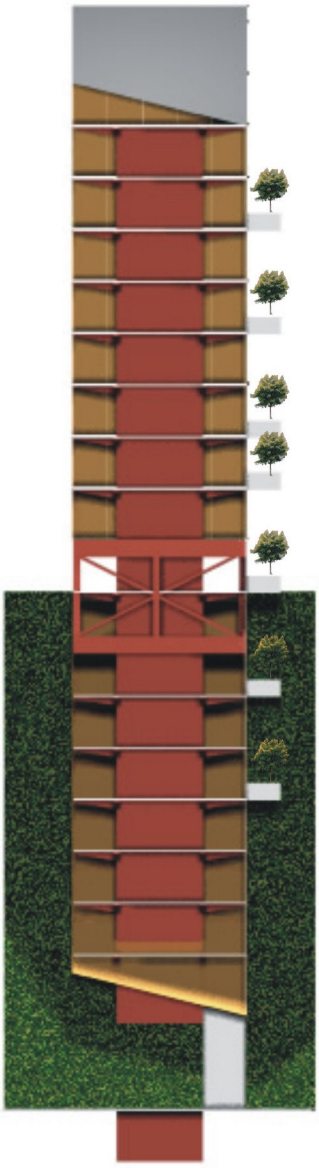


Corte longitudinal



Corte longitudinal
Perspectivado

Figura A.4.1 – Prancha 01 Grupo04



Corte transversal



Corte transversal
Perspectivado

Figura A.4.2 – Prancha 01 Grupo04

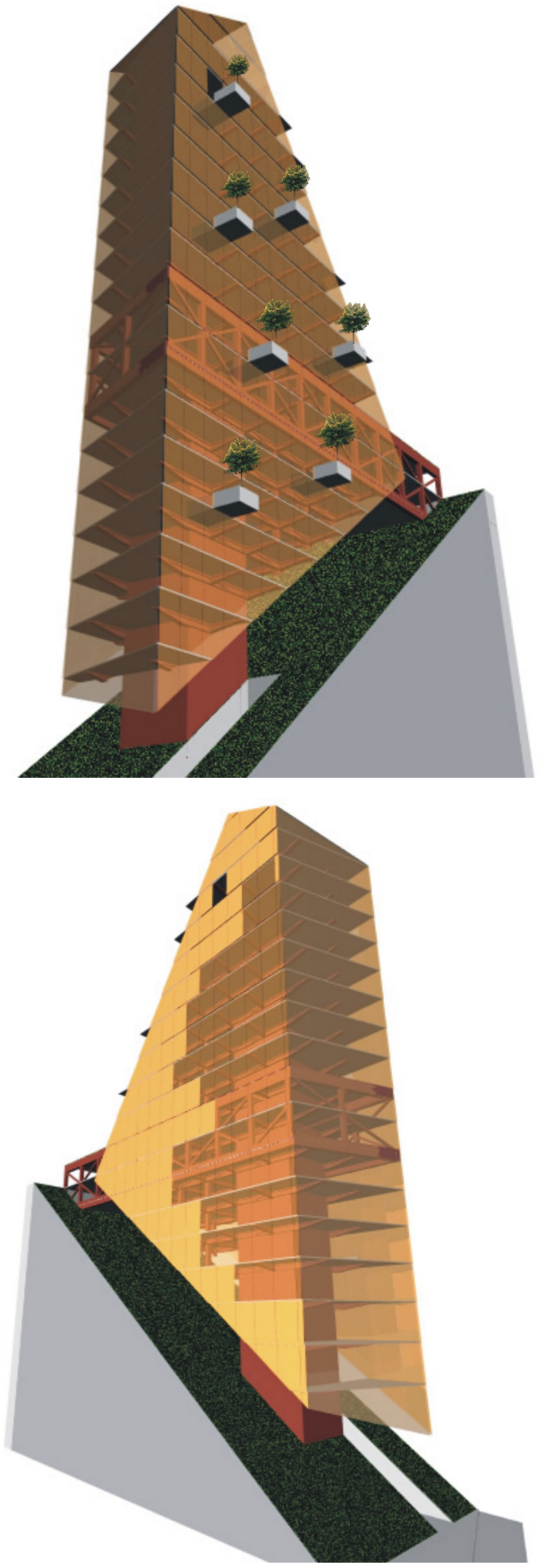


Figura A.4.3 – Prancha 01 Grupo04



Figura A.4.4 – Prancha 01 Grupo04

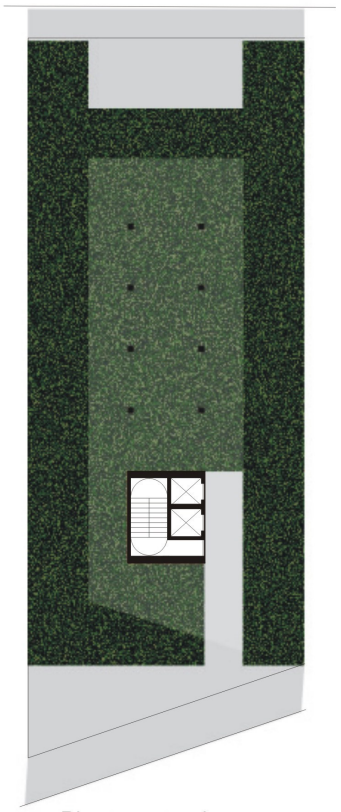


Figura A.4.5 – Prancha 02 Grupo04

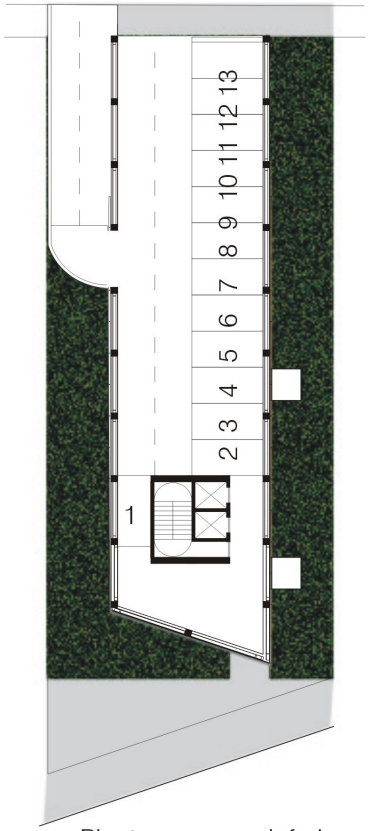
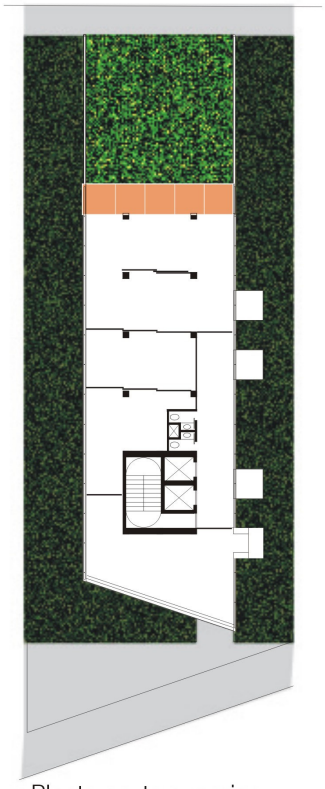
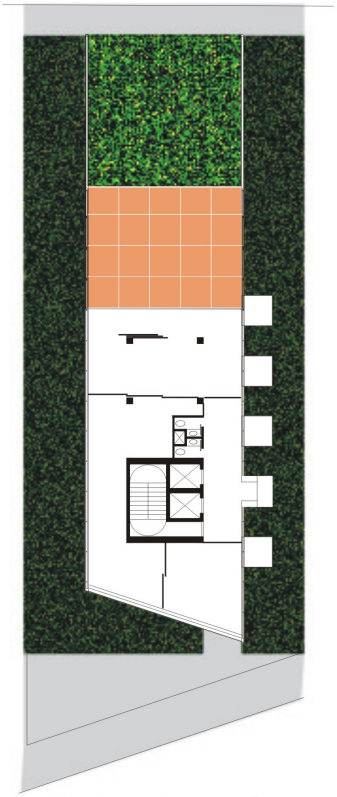


Figura A.4.6 – Prancha 02 Grupo04

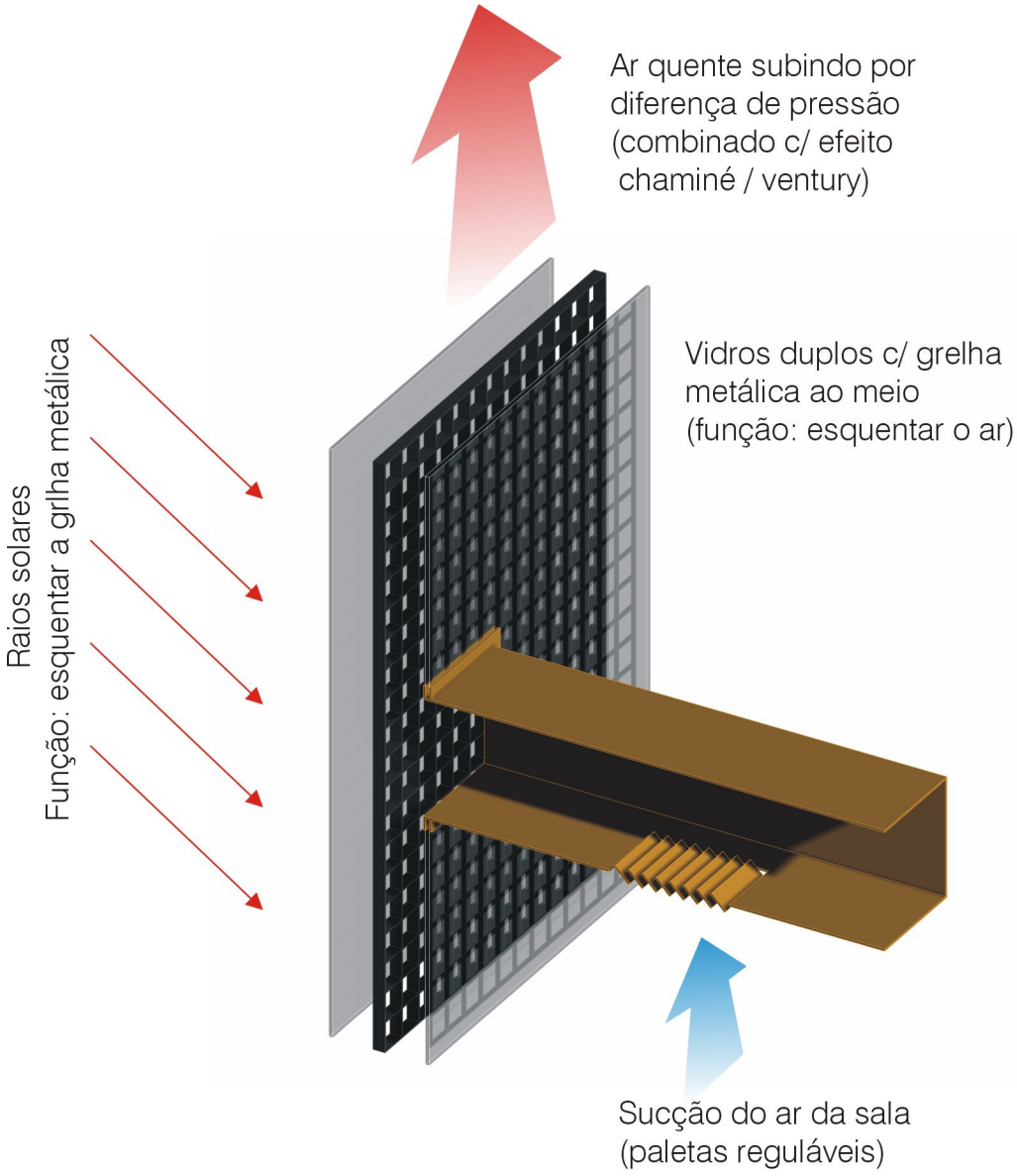


Planta pavto superior



Planta pavto superior

Figura A.4.7 – Prancha 02 Grupo04



Esquema de ventilação natural forçada (fachada Norte)

Os raios solares esquentam a grelha metálica, que por sua vez, esquenta o ar dentro da estufa de vidro. O ar quente sobe, sugando o ar do interior do edifício.

Figura A.4.8 – Prancha 02 Grupo04

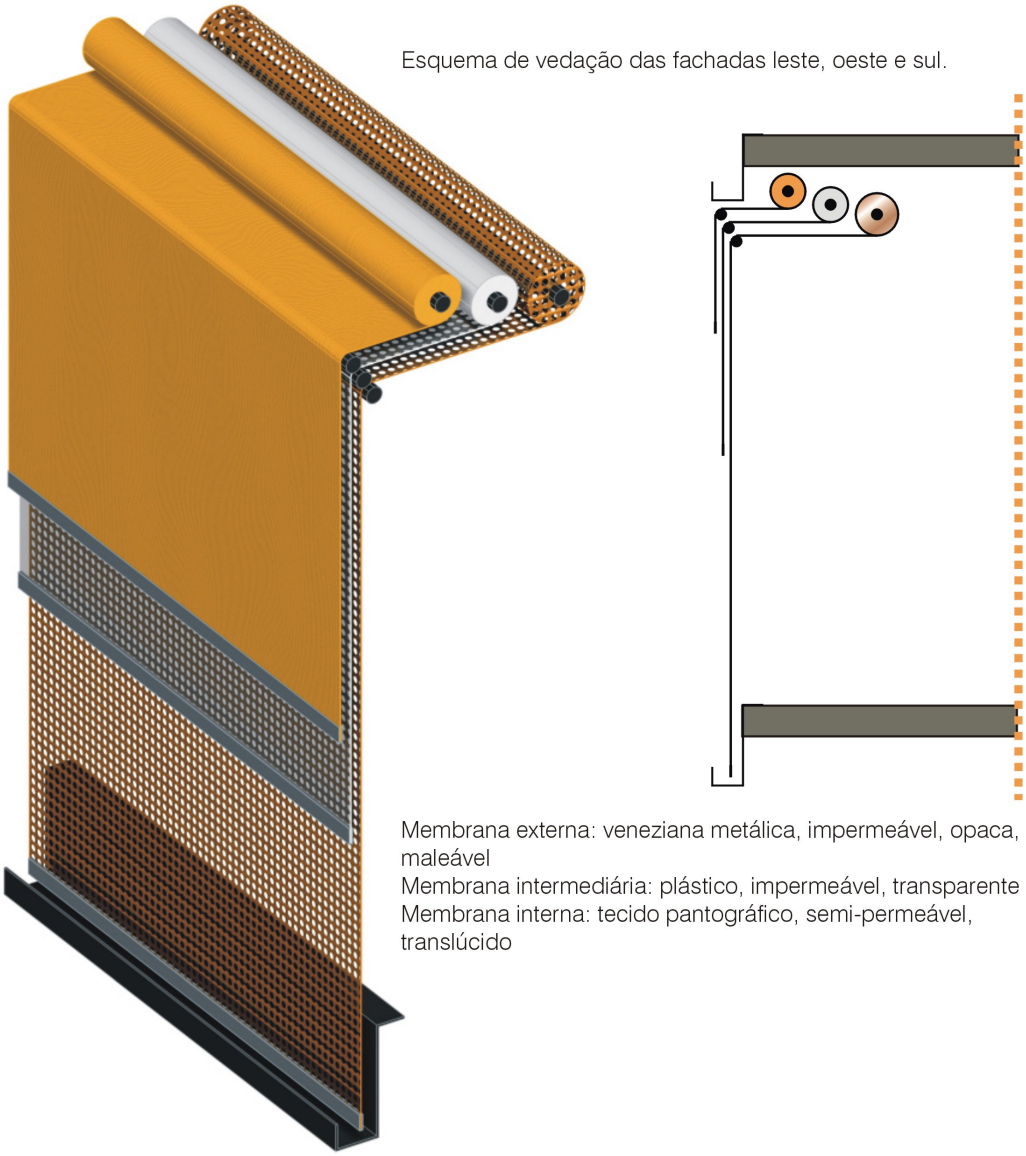
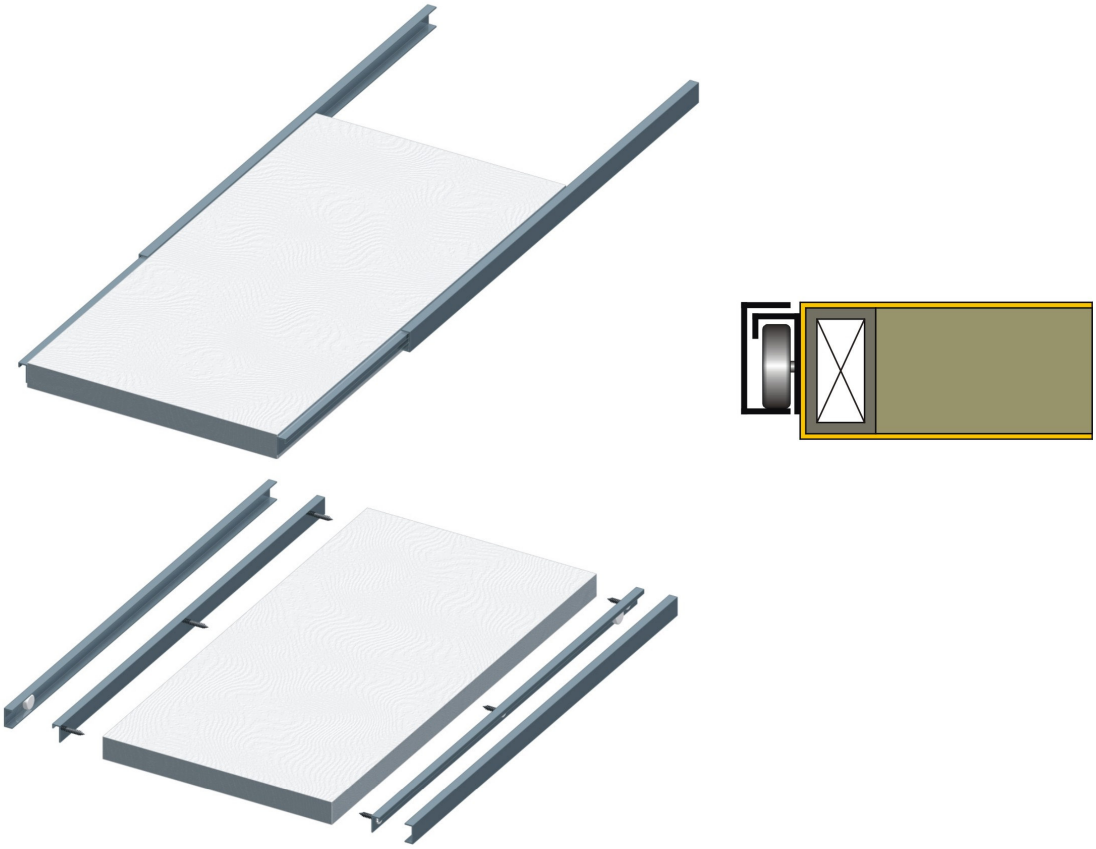


Figura A.4.9 – Prancha 02 Grupo04

Esquema de brises móveis metálicos da fachada sul.



Como a fachada Sul é inclinada faz-se necessário, uma proteção solar, no verão. Portanto, há brises metálicos com isolamento térmico (lã de rocha), que podem entrar para dentro do edifício, atravéz de rodinhas e trilhos deslizantes.

Figura A.4.10 – Prancha 02 Grupo04

Anexo 5 . Trabalho Final do Grupo 5

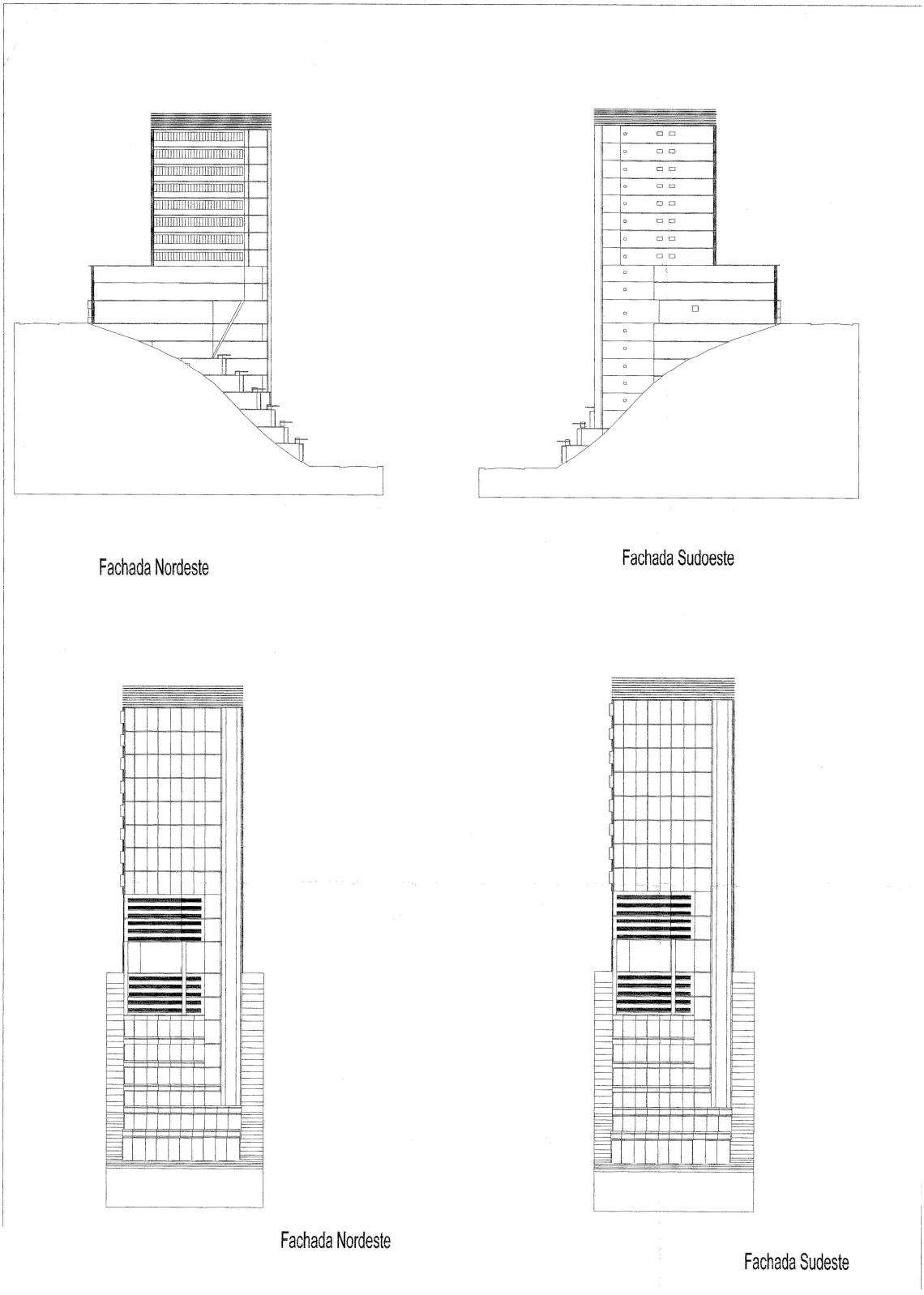


Figura A.5.1 – Prancha 01 Grupo05

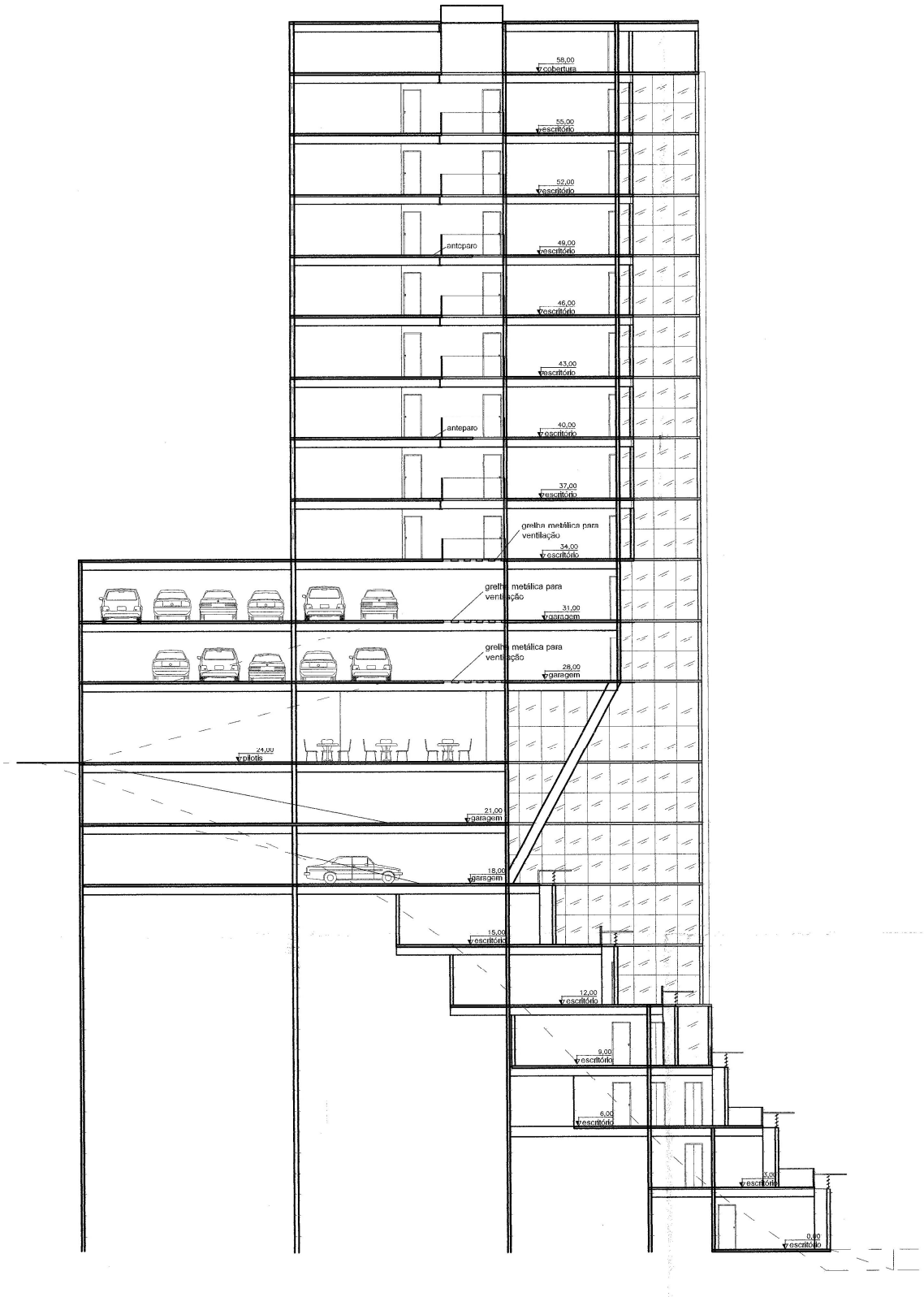


Figura A.5.2 – Prancha 02 Grupo05

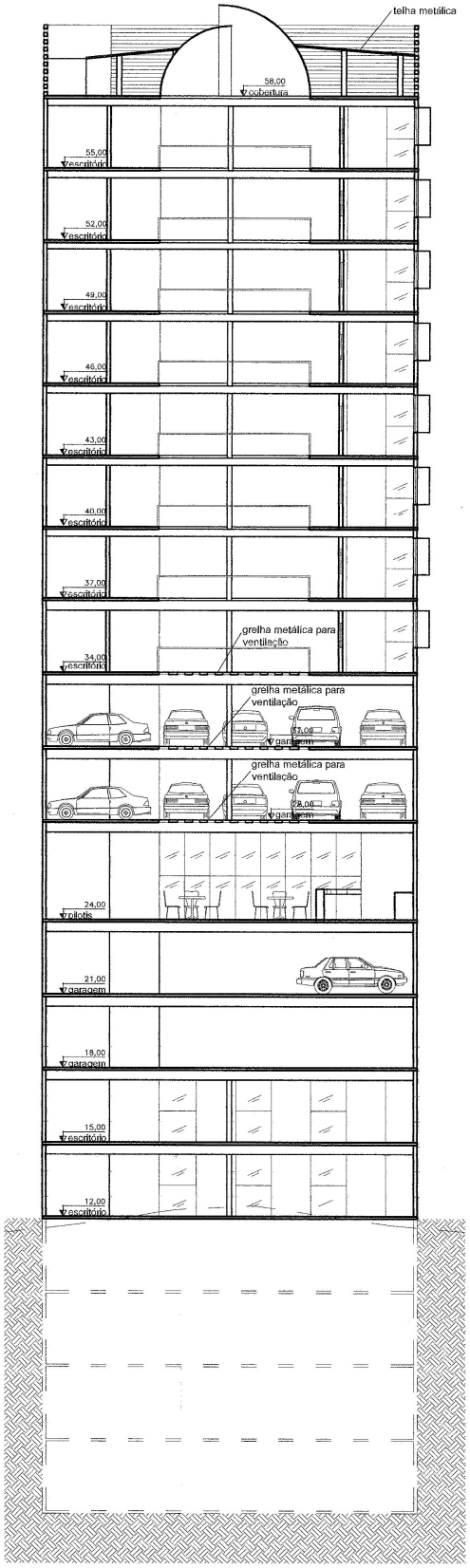


Figura A.5.3 – Prancha 03 Grupo05

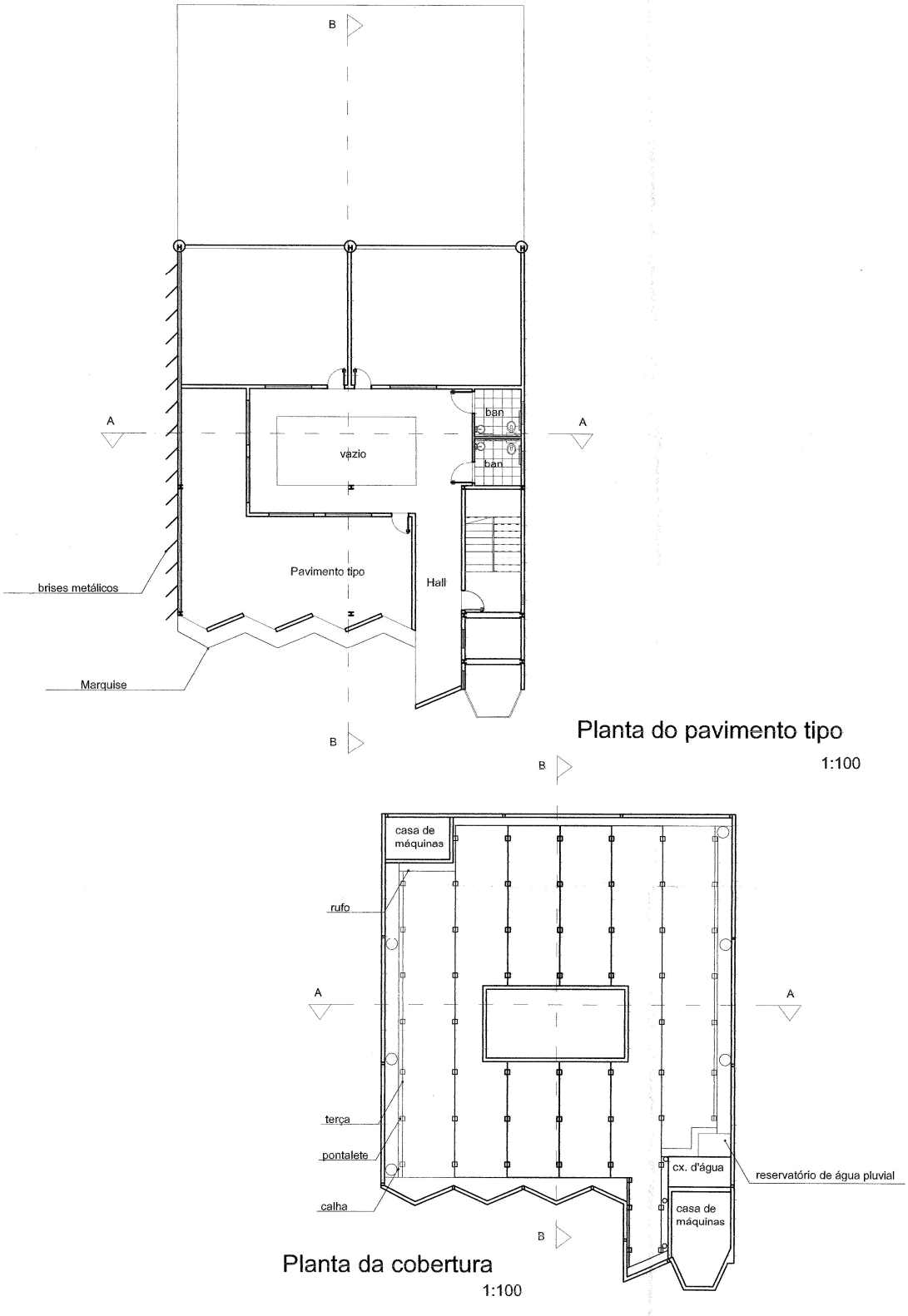


Figura A.5.4 – Prancha 04 Grupo05

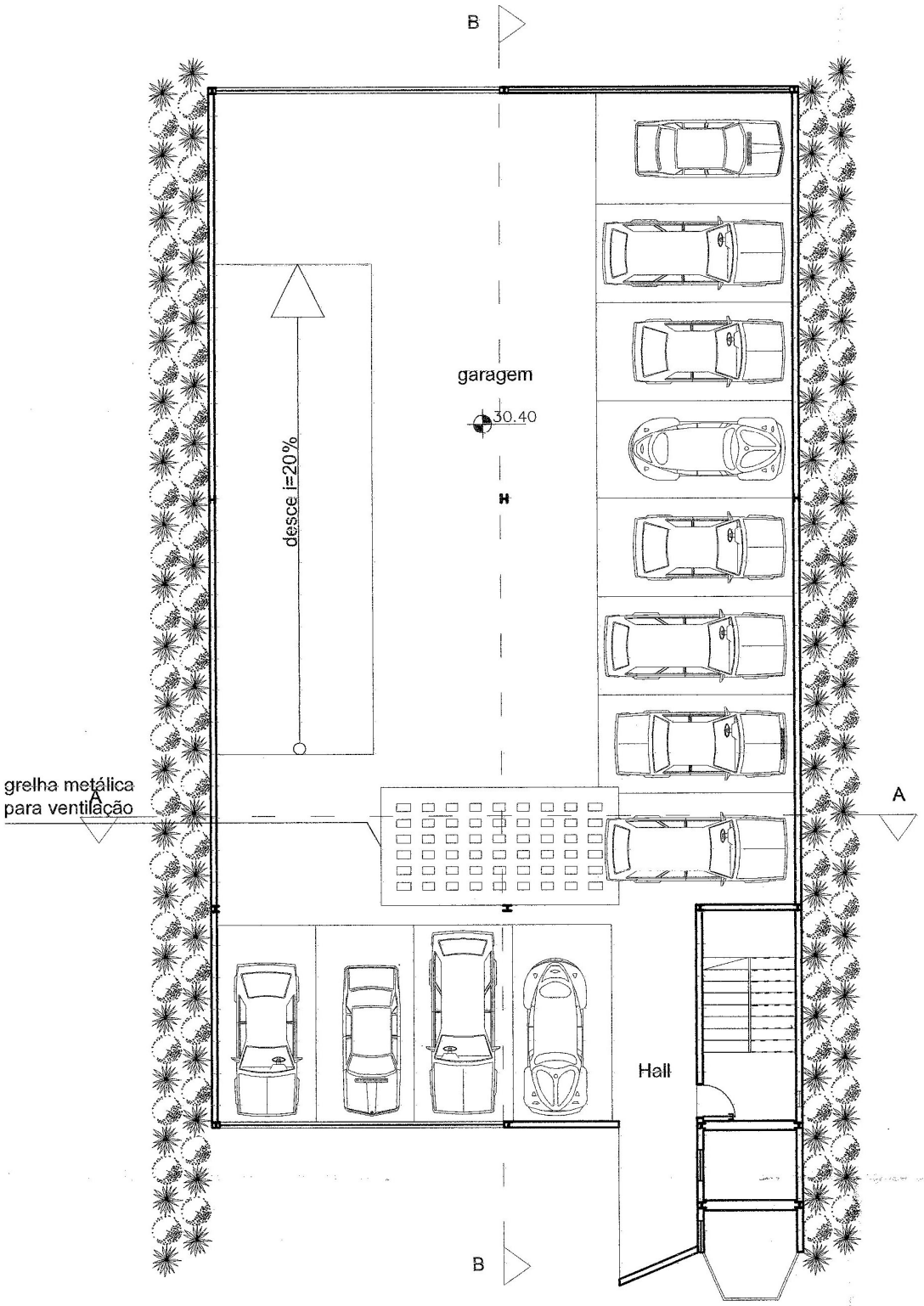


Figura A.5.5 – Prancha 05 Grupo05

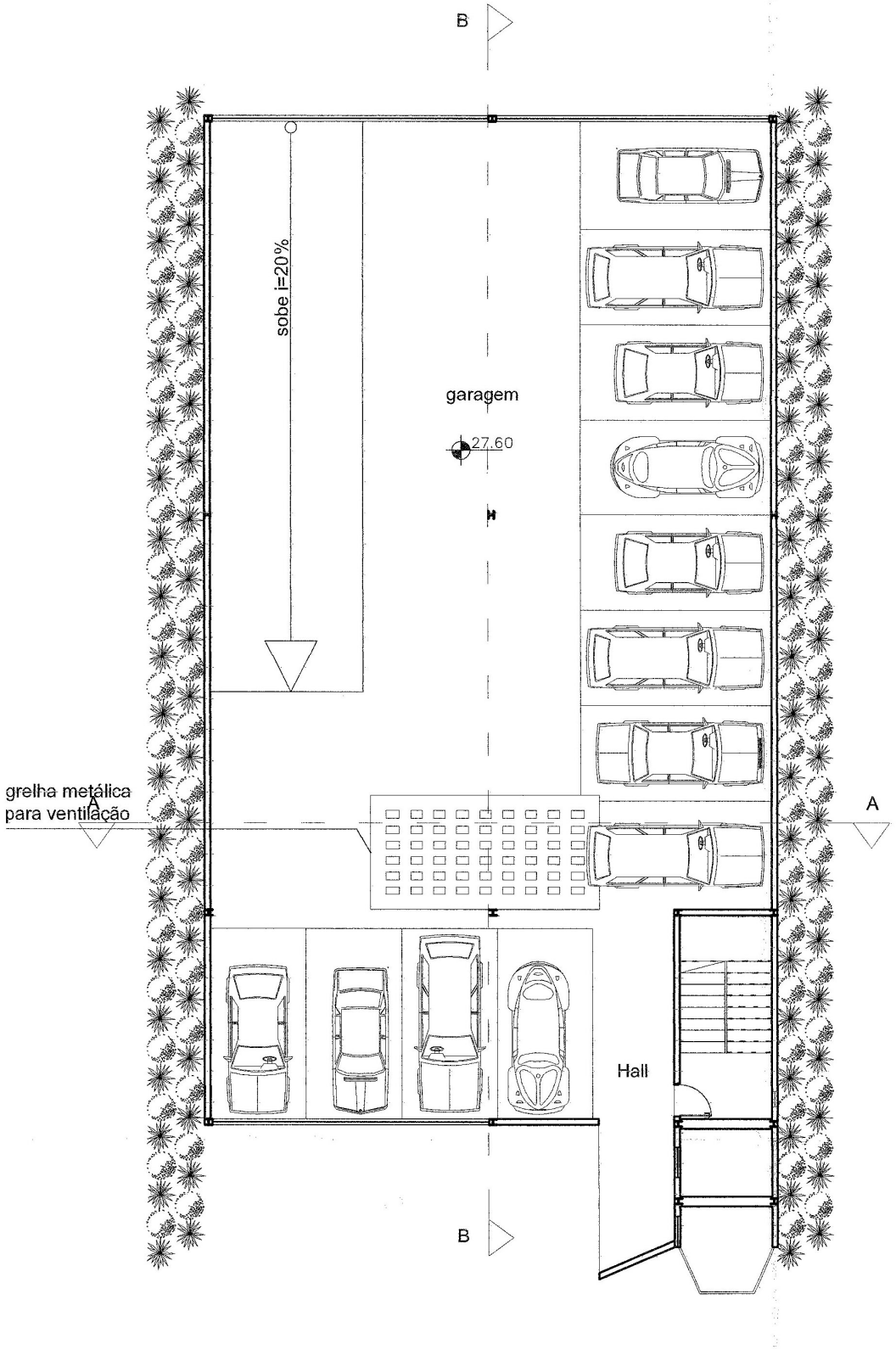


Figura A.5.6 – Prancha 06 Grupo05

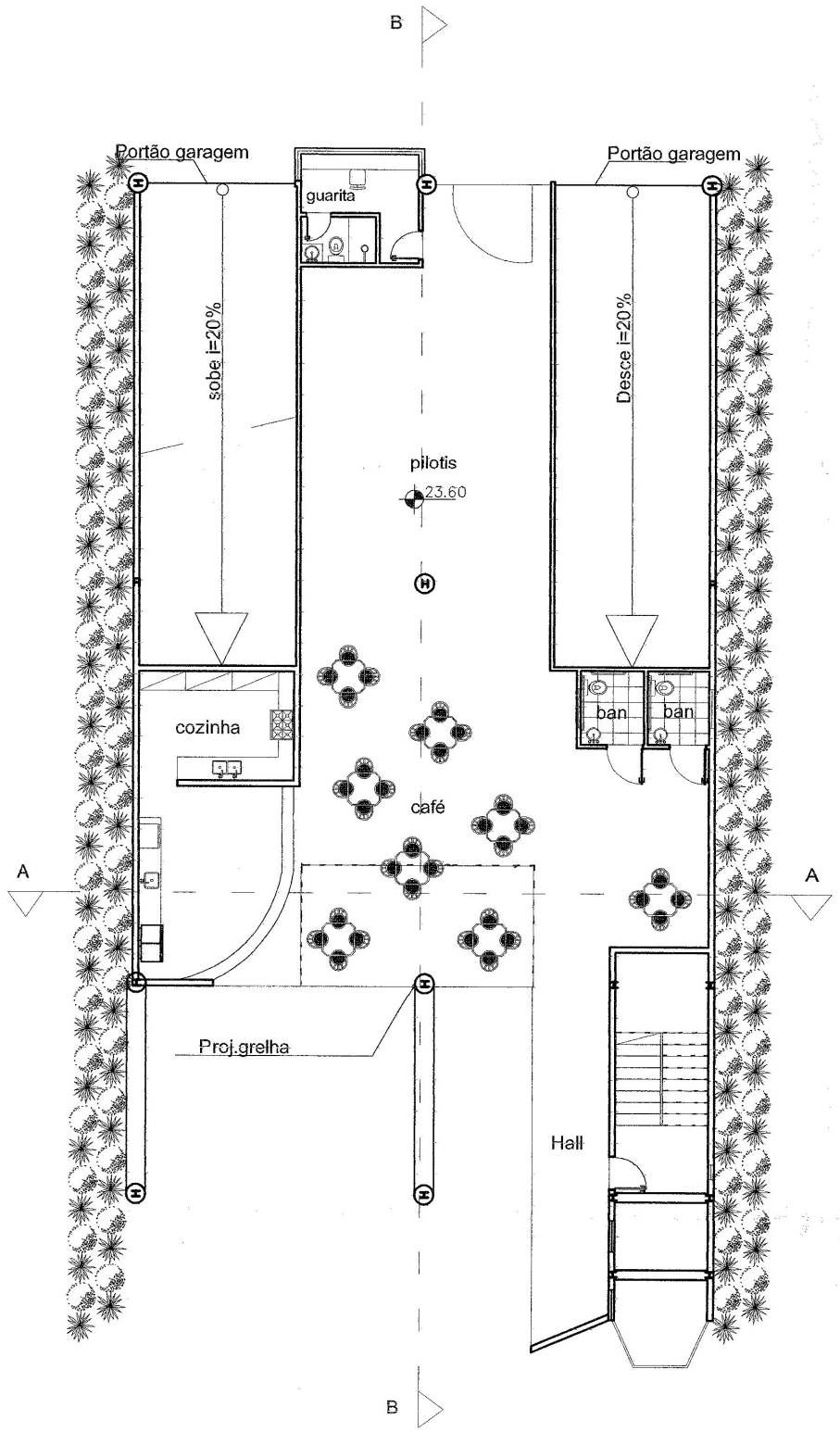


Figura A.5.7 – Prancha 07 Grupo05

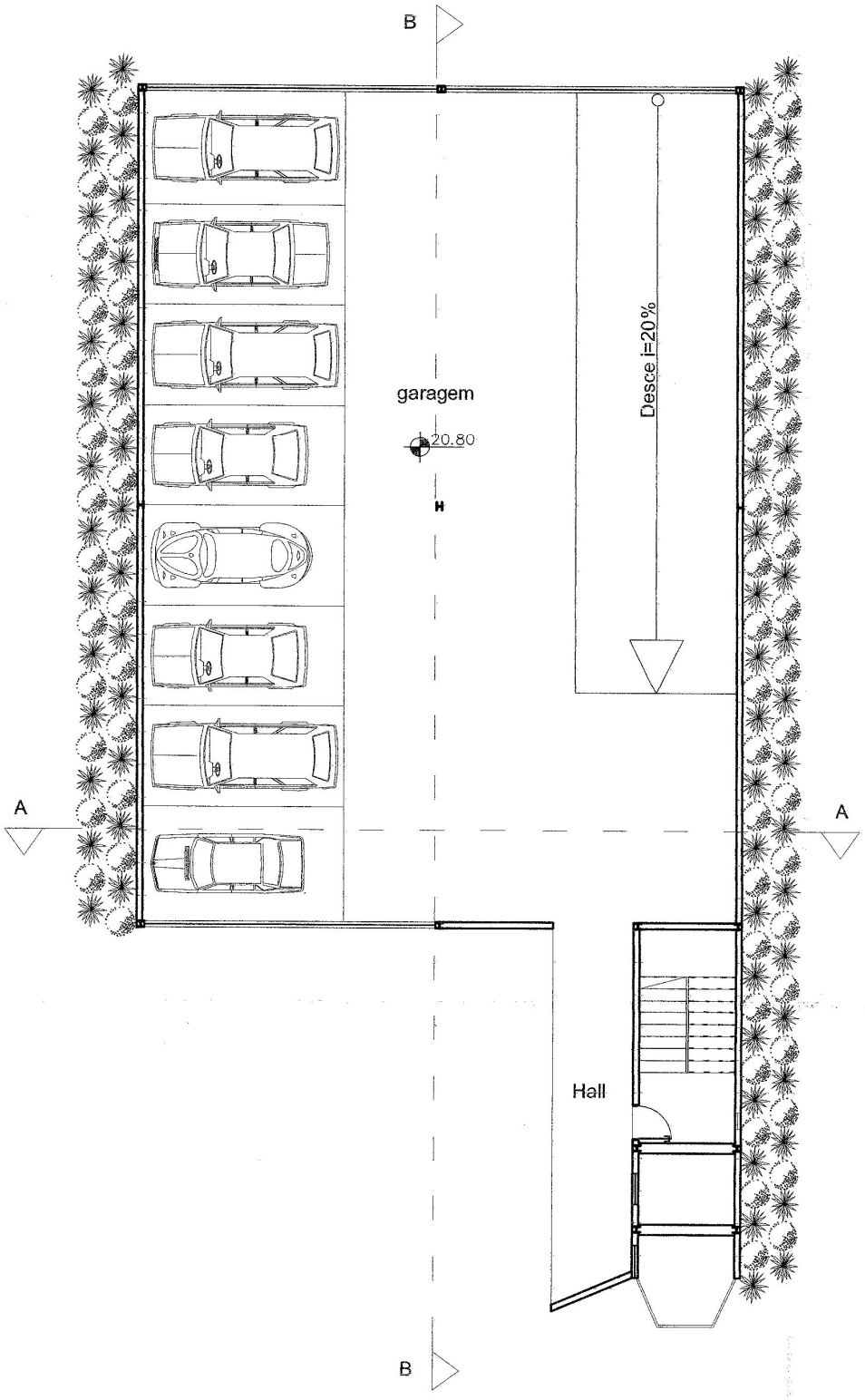


Figura A.5.8 – Prancha 08 Grupo05

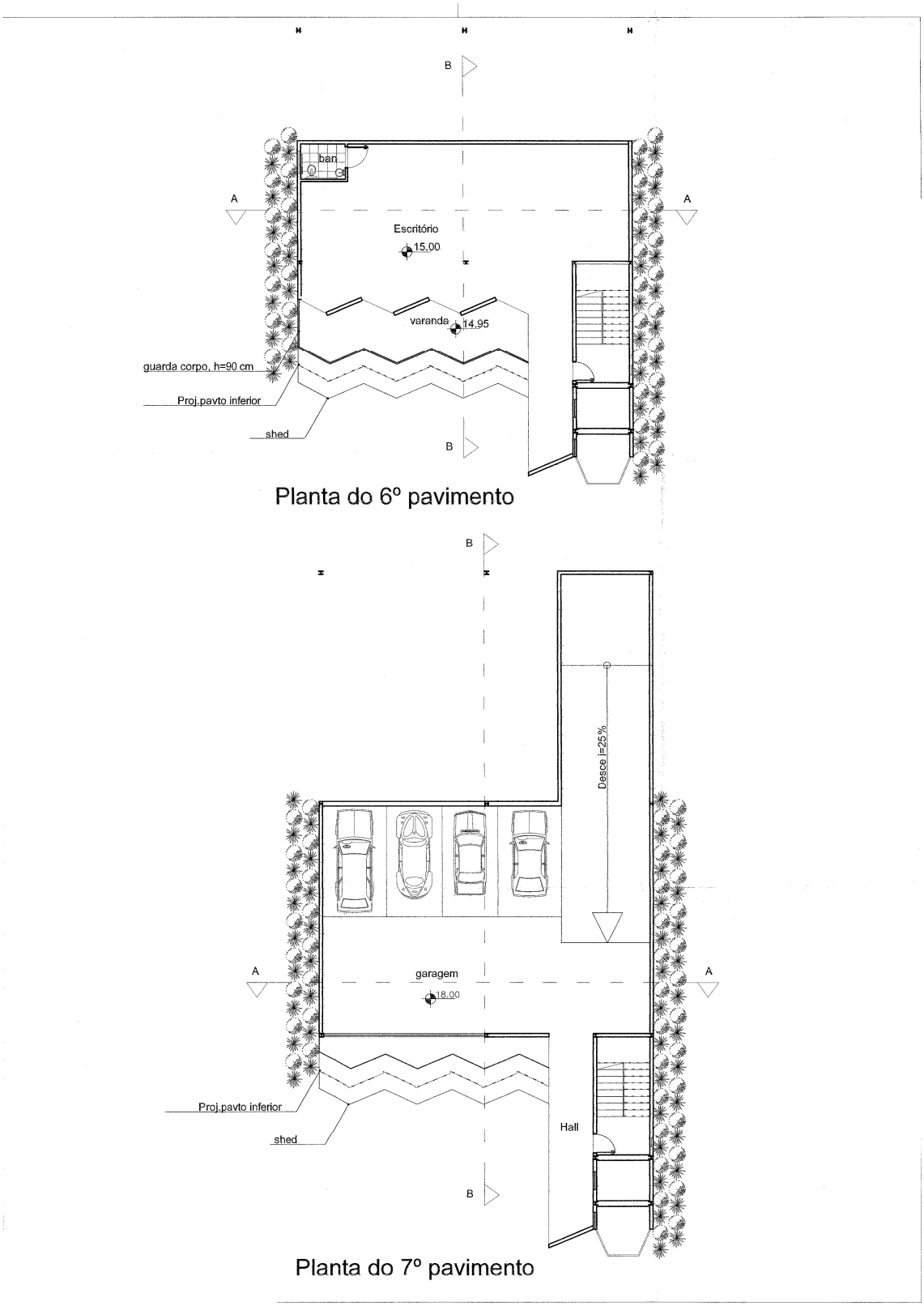


Figura A.5.9 – Prancha 09 Grupo05

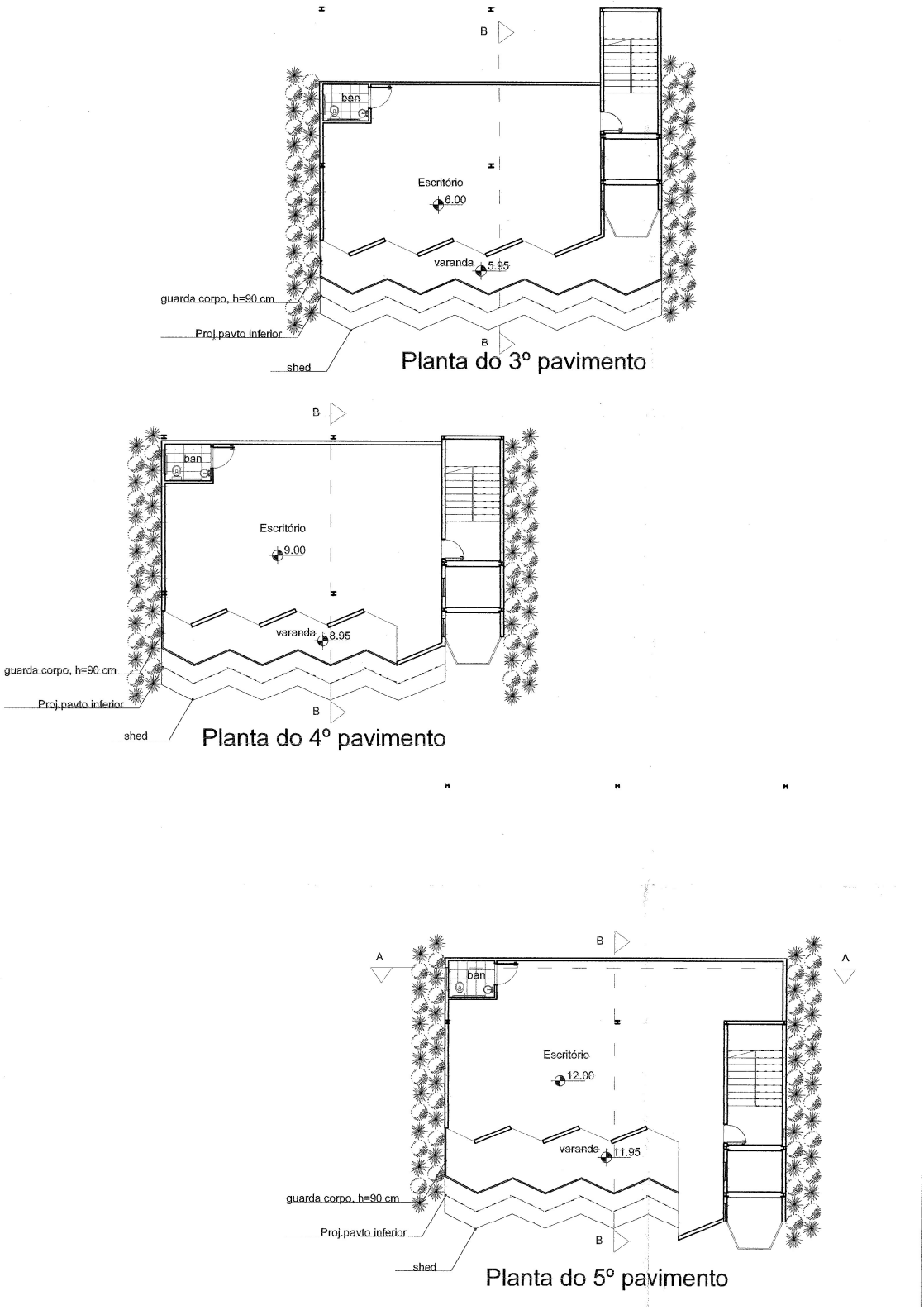


Figura A.5.10 – Prancha 10 Grupo05

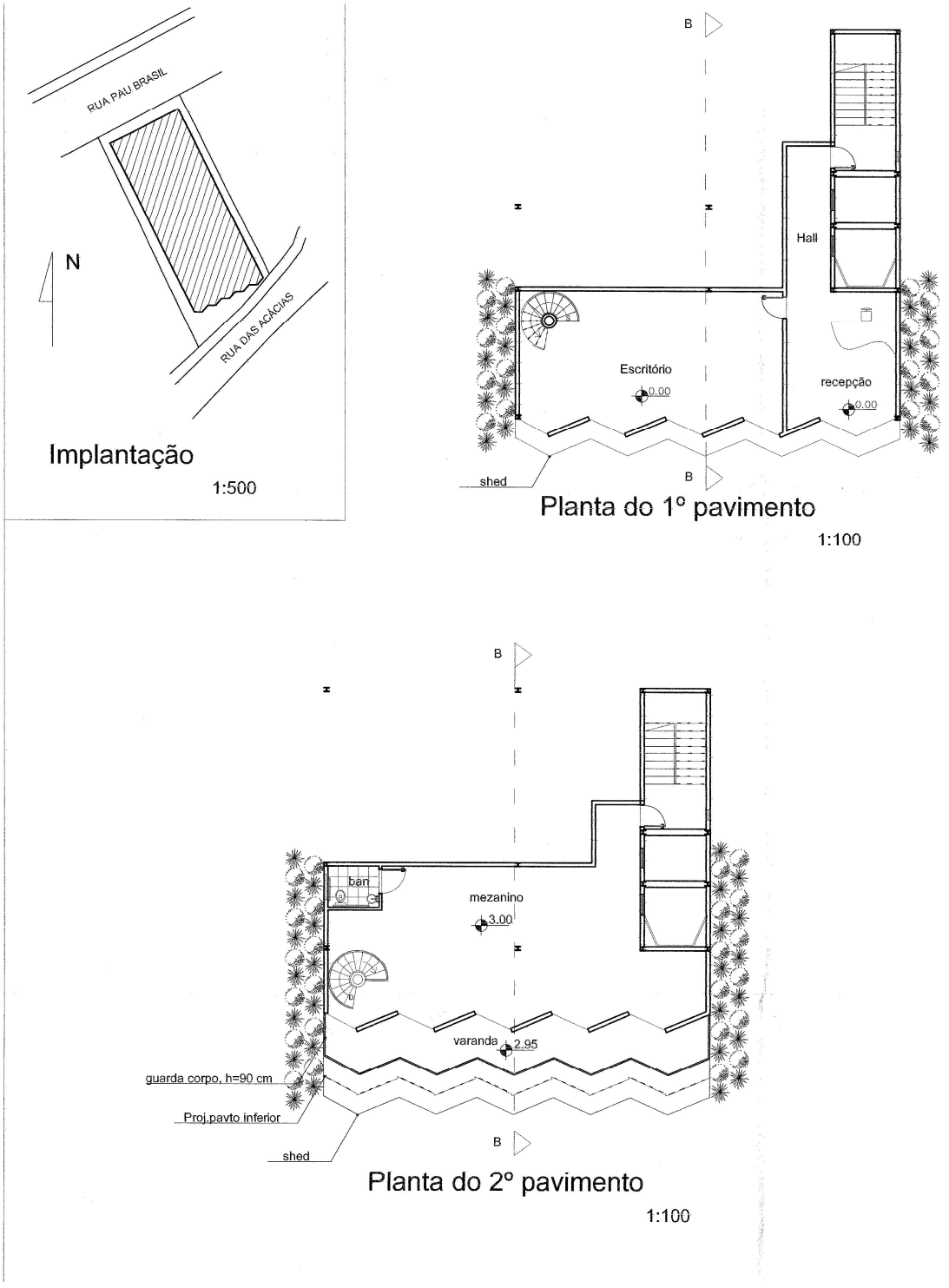


Figura A.5.11 – Prancha 11 Grupo05

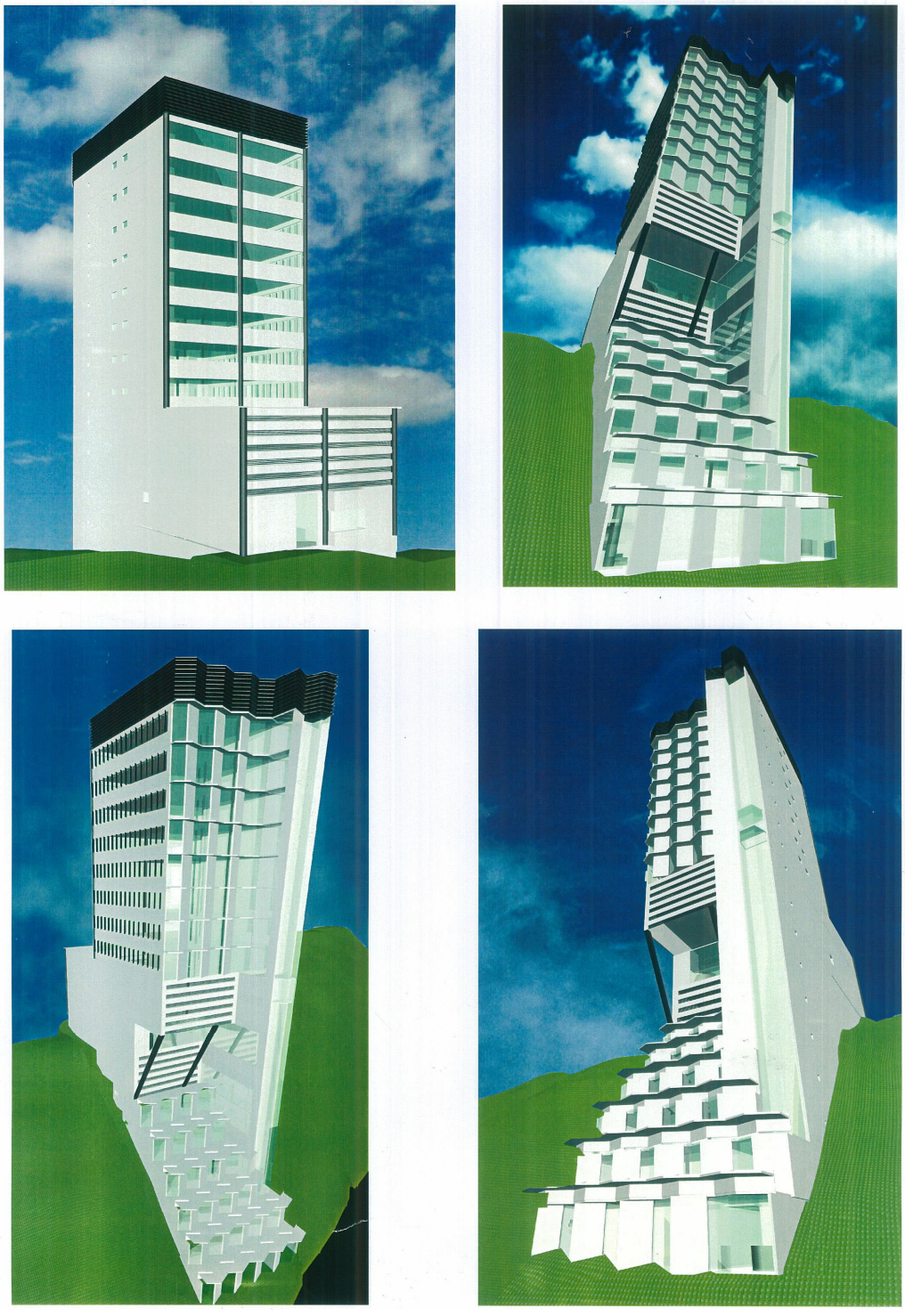


Figura A.5.12 – Prancha 12 Grupo05

Anexo 6 . Trabalho Final do Grupo 6

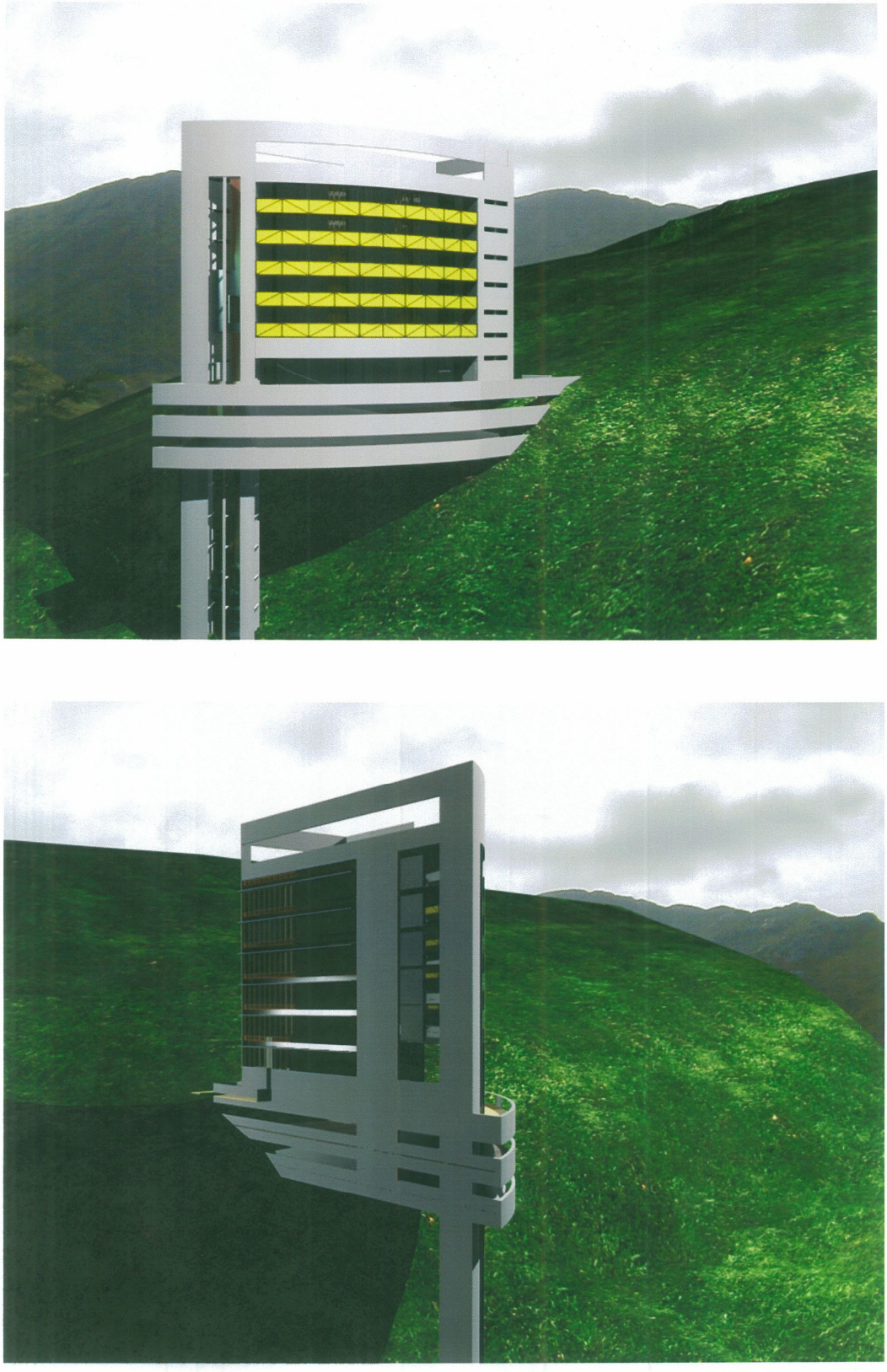


Figura A.6.1 – Prancha 01 Grupo06

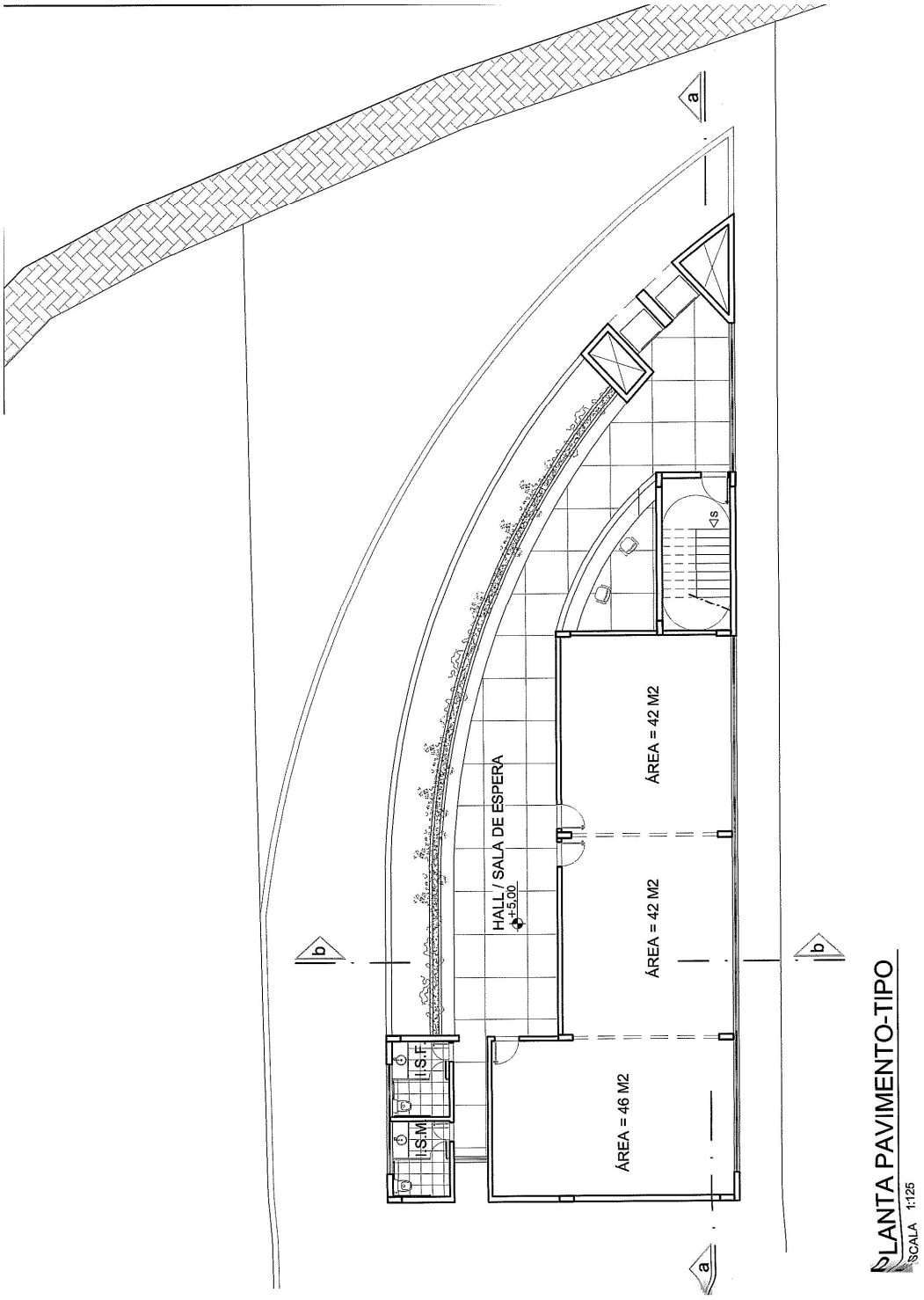


Figura A.6.2 – Prancha 02 Grupo06

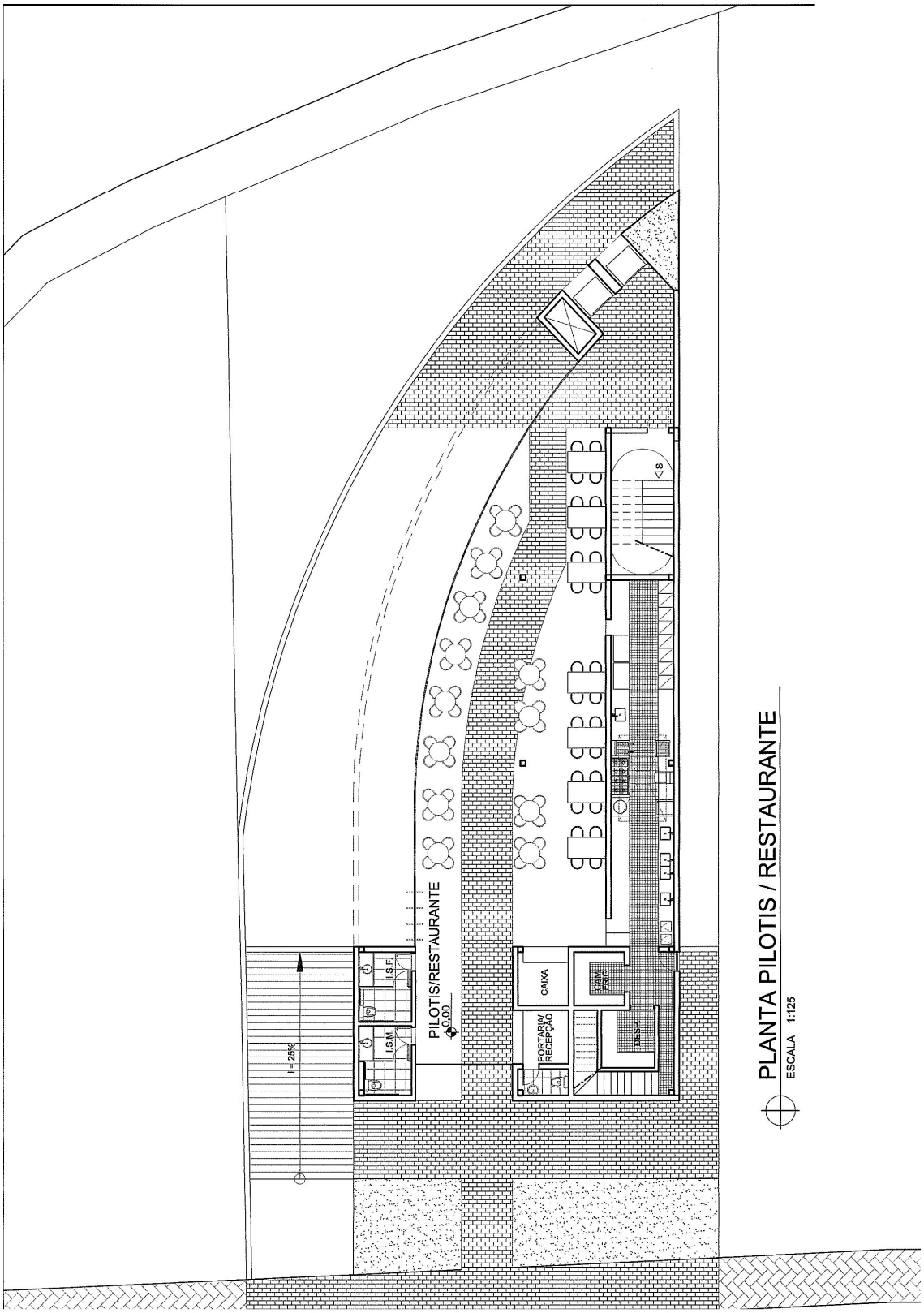


Figura A.6.3 – Prancha 03 Grupo06

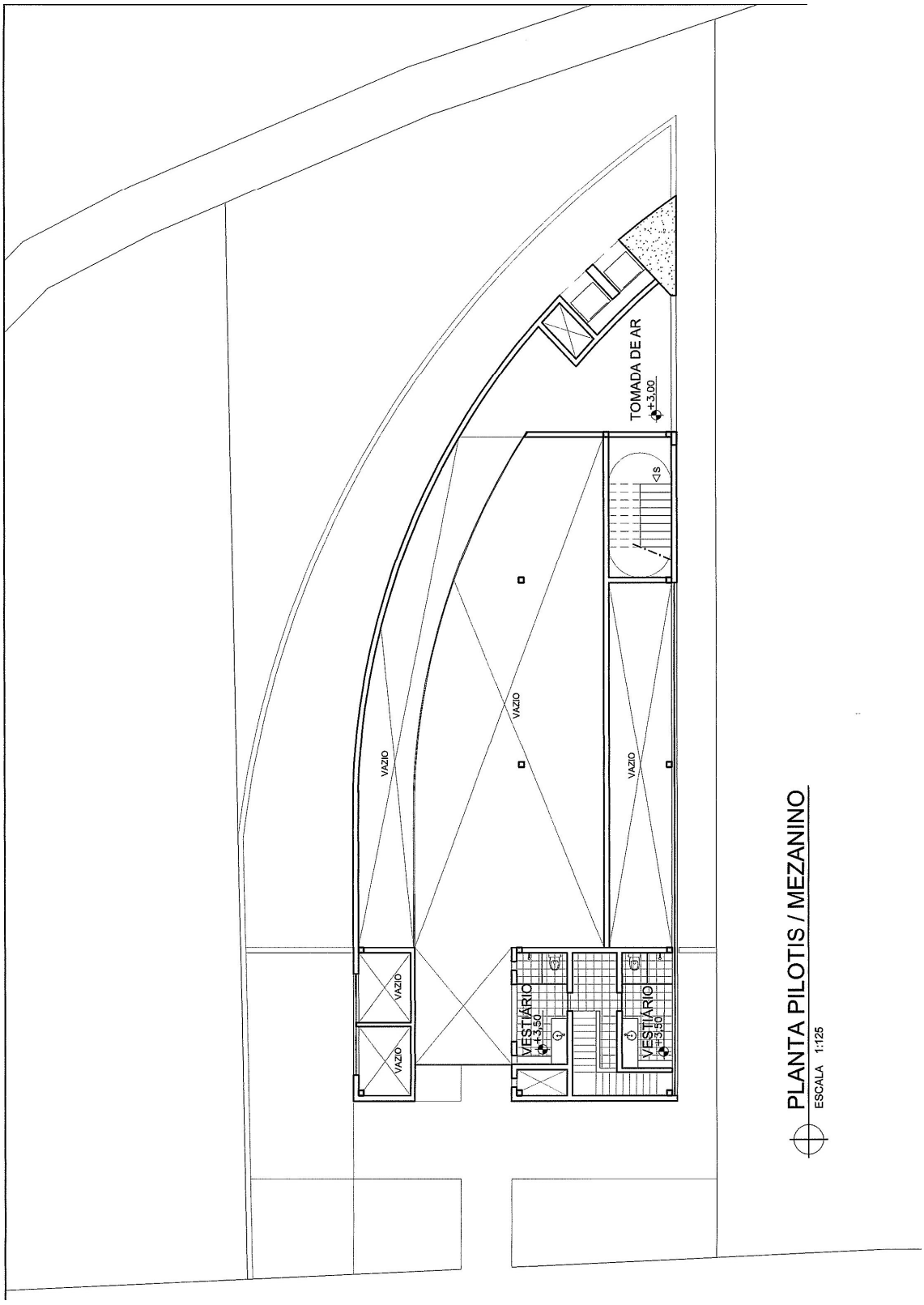


Figura A.6.4 – Prancha 04 Grupo06

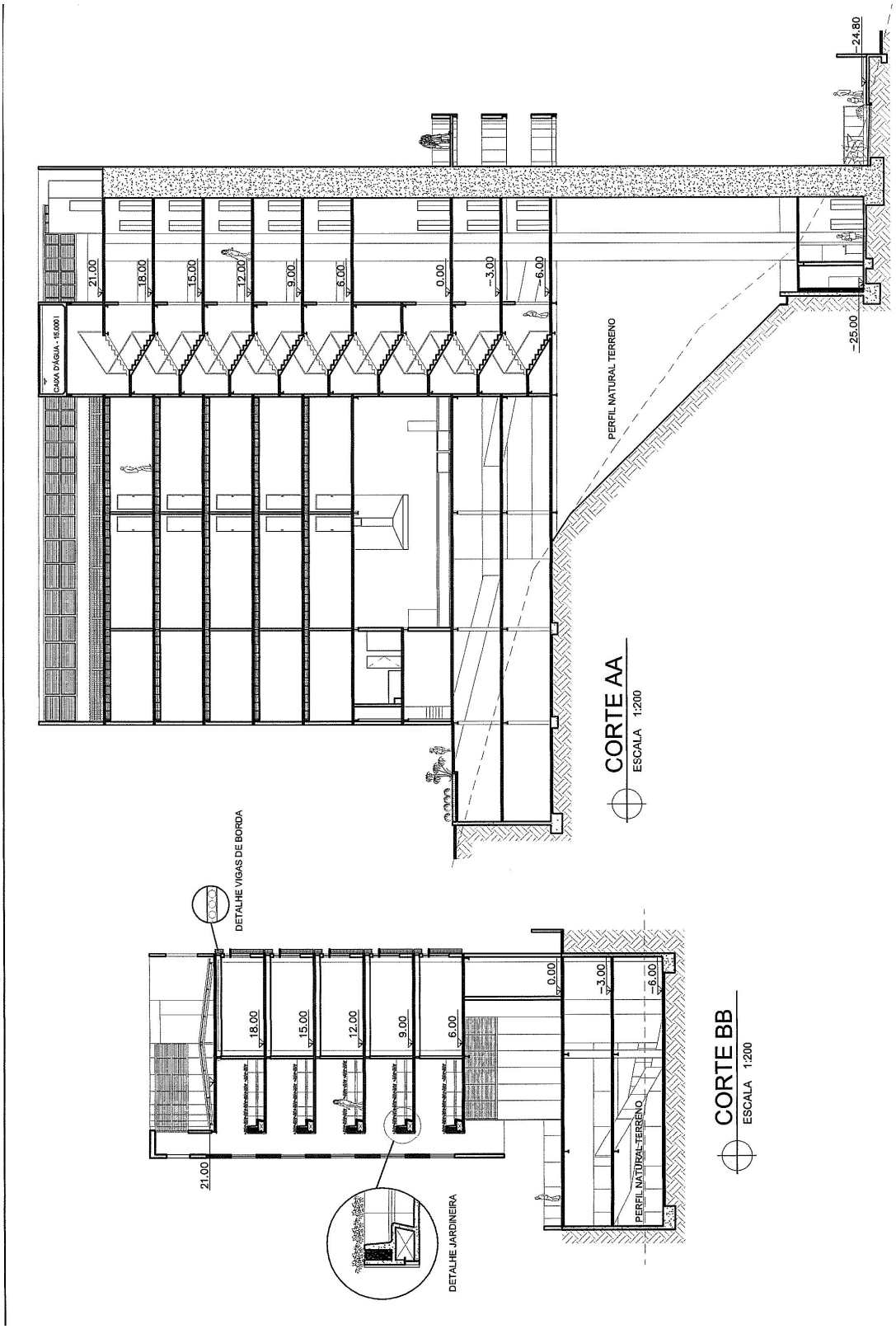


Figura A.6.5 – Prancha 07 Grupo 06

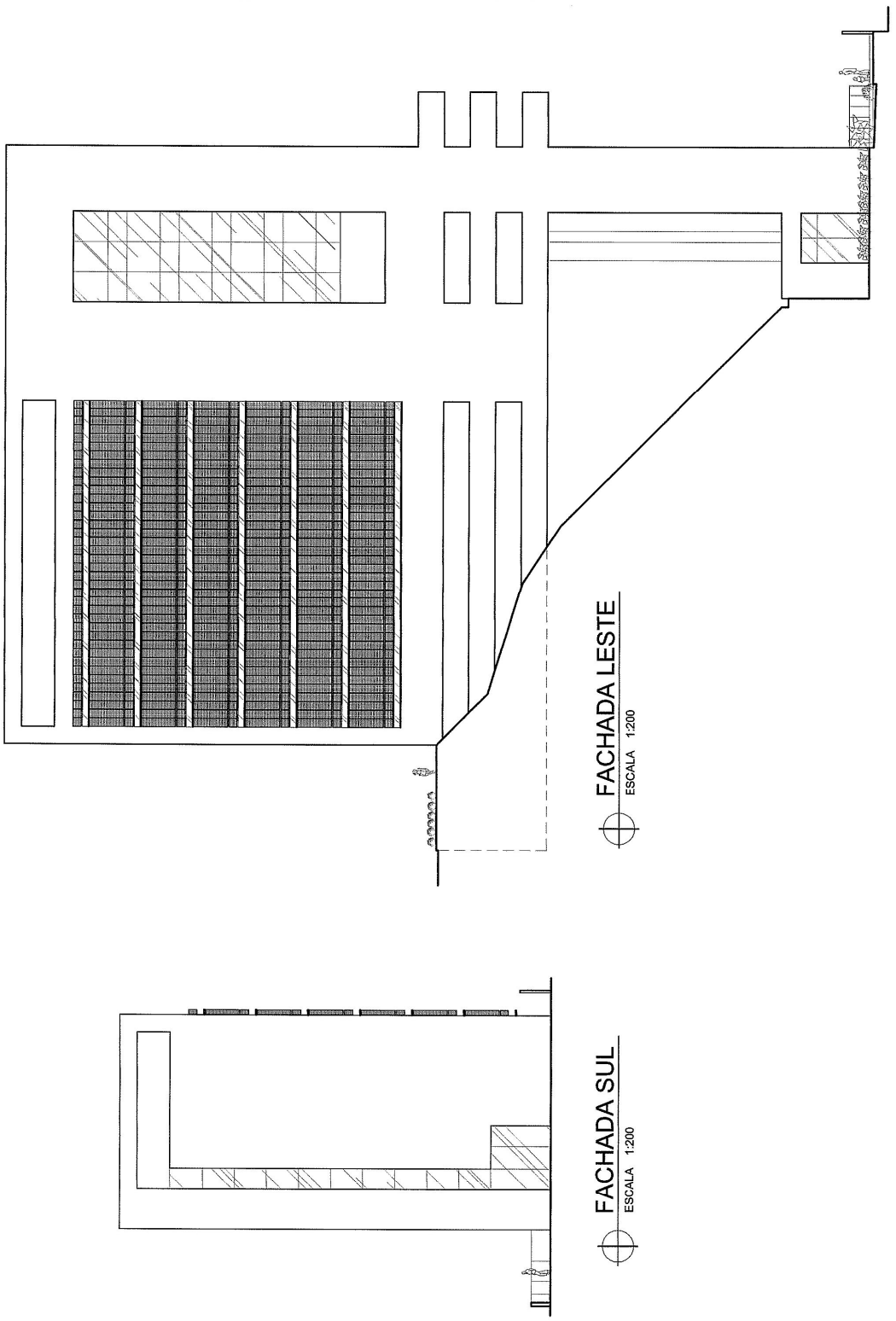


Figura A.6.6 – Prancha 08 Grupo06

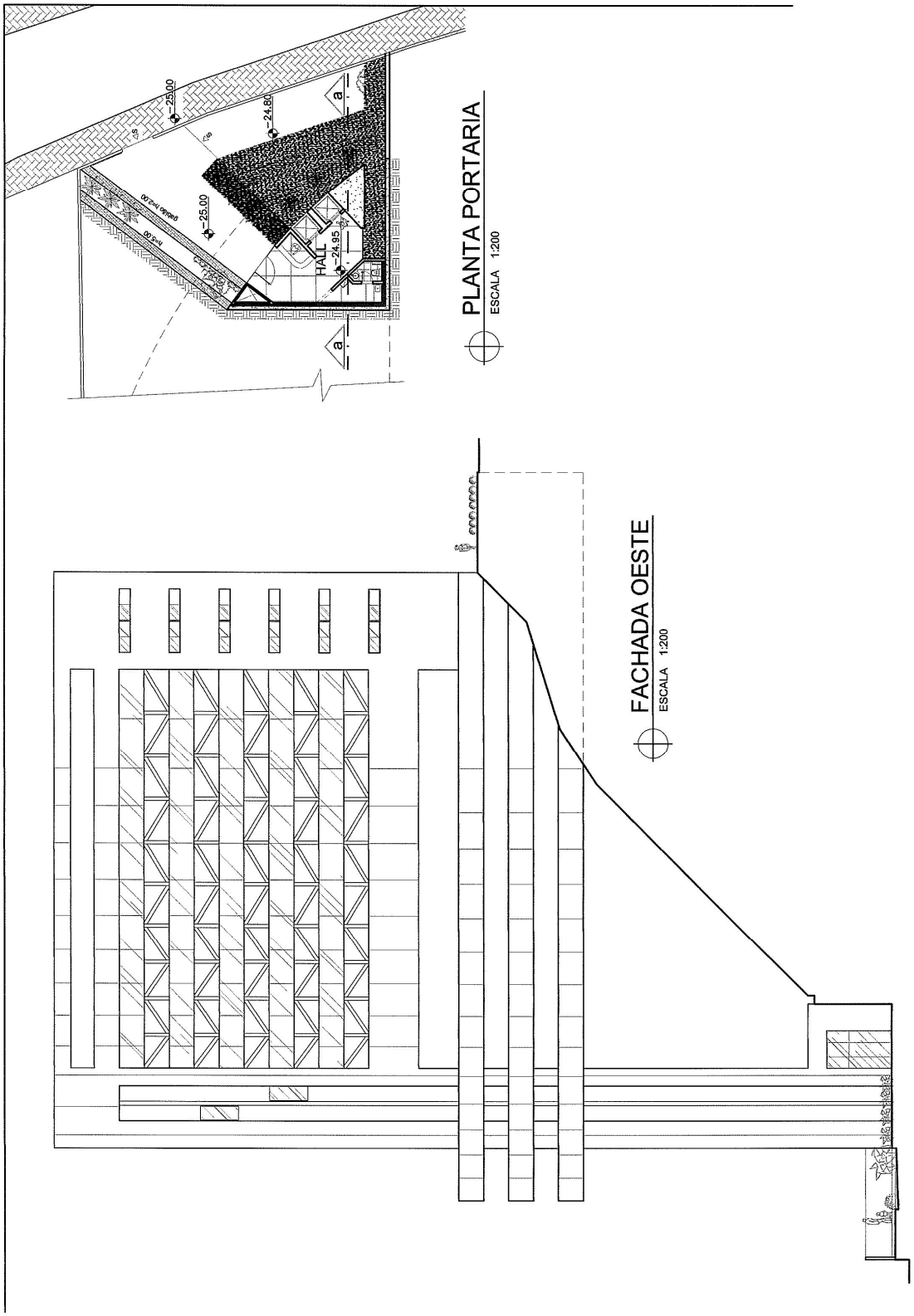
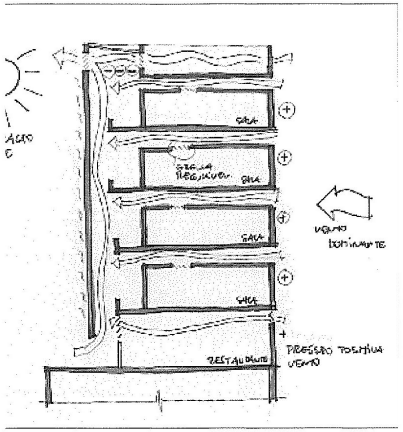
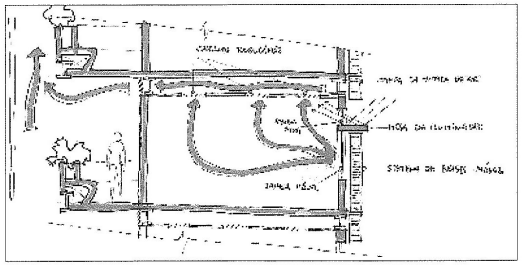


Figura A.6.7 – Prancha 09 Grupo06

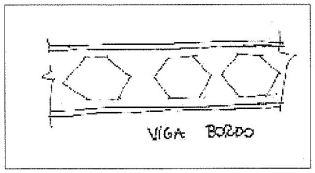
Figura A.6.8 – Prancha 10 Grupo06



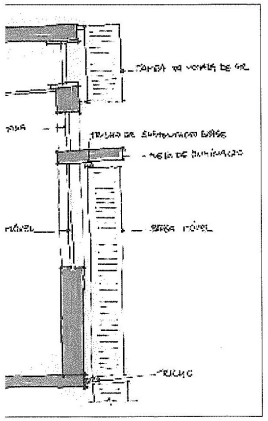
RTE ESQUEMÁTICO -
IFICAÇÃO



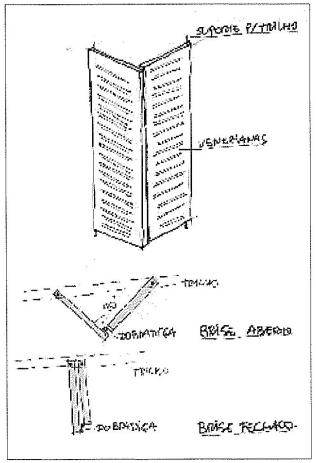
CORTE ESQUEMÁTICO - SALA



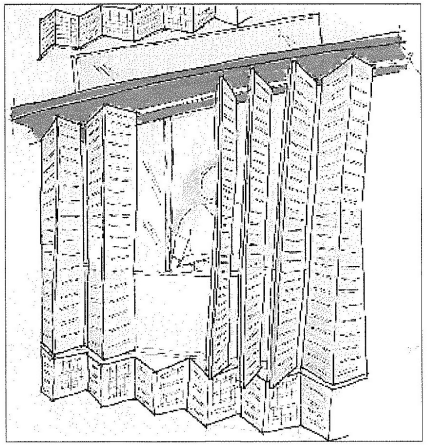
DETALHE - VIGA BORDO
FACHADA



ADA LESTE



DETALHE DOS BRISES



PERSPECTIVA GERAL

O partido do edifício leva em conta a sua localização para a obtenção de uma situação na qual as condições ambientais no seu interior minimizassem, ou até mesmo anulassem a necessidade de ventilação e iluminação artificiais.

As fachadas que se direcionam para o norte e oeste, e portanto apresentam a pior insolação, são destinadas a espaços de permanência curta, como hall de espera e de elevadores. Além disso, uma parede de placas de cimento e vidro contribui para isolar parte do calor incidente, ao mesmo tempo que define o poço por onde passa a ventilação por meio de efeito chaminé.

A ventilação existente nesse poço é causada pela grande altura do mesmo, e reforçada por uma abertura no seu ponto mais superior que possibilita a passagem do vento, causando uma zona de pressão negativa e aumentando a velocidade de ascensão do ar. Além disso, durante o verão, a radiação existente nessa parede aquecerá o ar que tenderá a ascender mais rapidamente.

A parede da fachada leste, que recebe o vento dominante possui aberturas próximas ao teto, que recebem o vento constantemente. Esse vento, que sai pelo fosso, é isolado do ambiente das salas por meio de um forro dotado de grelhas reguláveis. Dessa maneira, o usuário pode escolher a quantidade de ar a passar pelo ambiente. A sucçã do ar é feita pelo forro e a entrada pela janela.

Para possibilitar iluminação constante para a sala, foi criada uma mesa de iluminação sobre a janela principal. Assim dividiu-se as janelas em duas partes: uma responsável pela luz e outra pelo ar. A parte maior, onde a chance de haver entrada de radiação solar nao benvinda, possui brises de venezianas de alumínio tipo camarão, que abrem a 90°, causando um interessante movimento na fachada. Esses brises podem ser fechados e arrastados para o canto da janela, graças à um sistema de trilhos, possibilitando a flexibilidade quanto ao seu fechamento ou não.

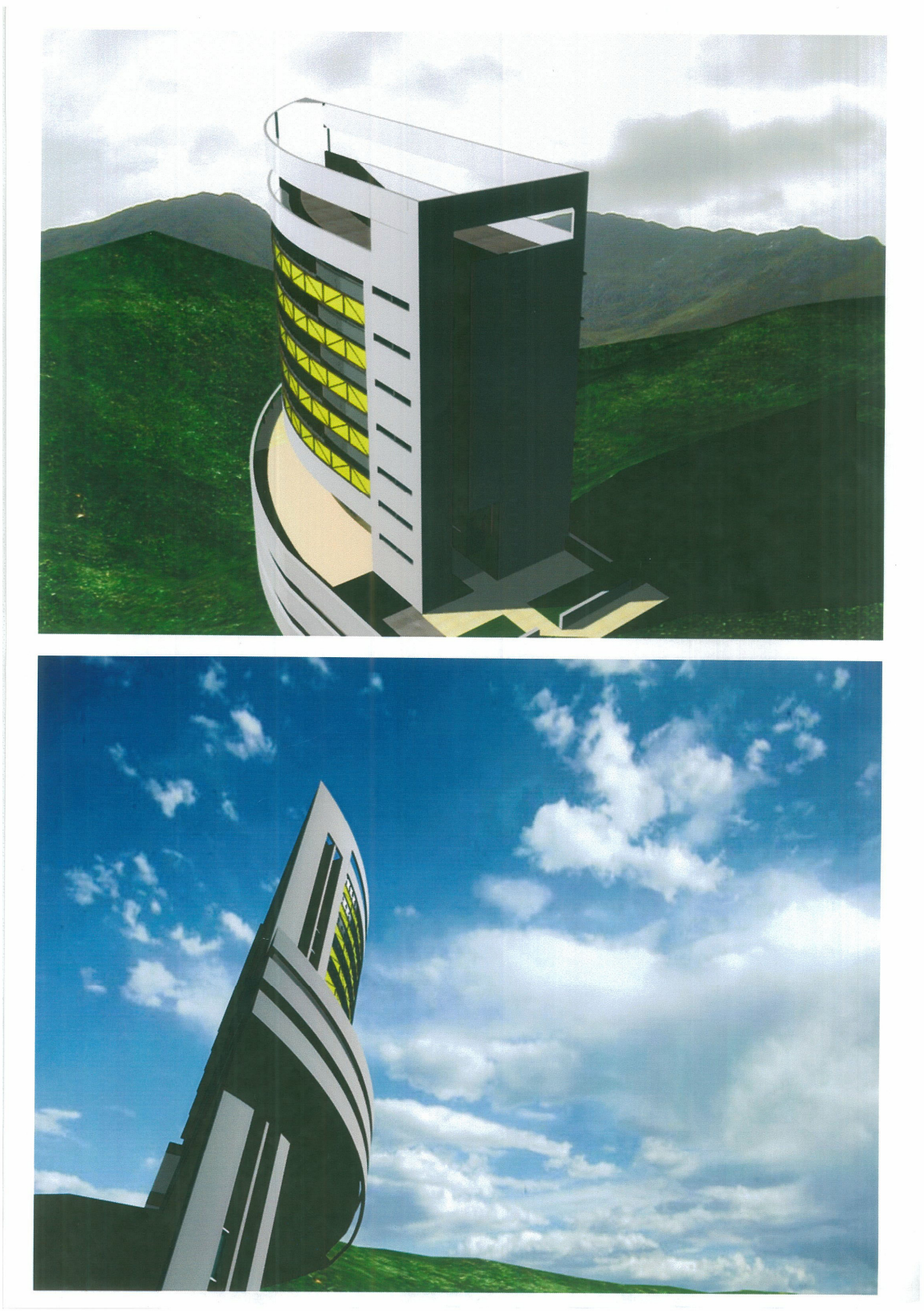


Figura A.6.9 – Prancha 11 Grupo06