

# INFLUÊNCIA DO TAMANHO E FORMA SOBRE O CONSUMO DE ENERGIA DE EDIFICAÇÕES DE ESCRITÓRIO EM CLIMA QUENTE

**Aldomar Pedrini (1); Roberto Lamberts (2)**

(1) Department of Architecture, The University of Queensland, Brisbane, 4072, Austrália,

Tel.: 61 7 3378 8076, FAX: 61 7 3378 1051

e-mail: [aldomar@labeee.ufsc.br](mailto:aldomar@labeee.ufsc.br)

(2) Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis,

Caixa Postal 476, CEP 88040-900, Tel.: 61 7b 3378 8076, FAX: 61 7 3378 1051

e-mail: [lamberts@ecv.ufsc.br](mailto:lamberts@ecv.ufsc.br)

## RESUMO

O artigo discute a influência da forma e da geometria sobre o consumo de energia em edificações de escritório em clima quente. A análise faz uso de um “sistema de diagnóstico” desenvolvido especificamente para estimar o impacto de tomadas de decisões pelo projetista durante as primeiras fases do projeto arquitetônico. A primeira abordagem analisa o efeito do aumento da área através da comparação de seis pavimentos quadrados. A segunda abordagem compara o consumo de energia de quatro pavimentos com áreas similares, porém de formatos diferentes. Os resultados mostram as consequências das alterações e as causas das variações.

## ABSTRACT

The article discusses the form and size effects on electric energy consumption of office buildings in warm climate. The analysis makes use of an energy tool prototype, which was specifically developed to estimate the impact of architectural designs decision during the early stages of project. The first approach compares the effect of increasing area for six floors with square geometry. The second approach identifies the influence of form through the comparison of four different floors with similar area. The results show the consequences of changing form and size and the reasons for different energy performances.

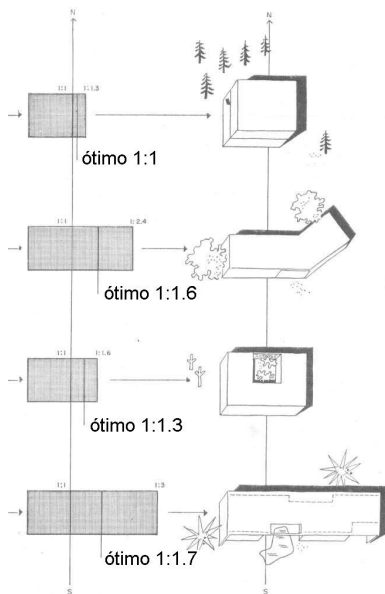
## 1. INTRODUÇÃO

O primeiro passo para obter uma edificação condicionada passivamente está no cuidado com a sua forma, segundo o arquiteto Yeang (Powell 1999). Apesar dessa afirmação ser respaldada por vários pesquisadores nessas últimas décadas, as principais normas de eficiência energética não abordam diretamente questões relacionadas à forma e ao tamanho da edificação comercial do tipo escritório. Até mesmo os métodos de classificação do desempenho energético, como o Energy Star Rating Scheme (Bannister 2001), não são sensíveis ao tema. O estudo de casos pouco têm acrescentado à questão porque é extremamente difícil encontrar edificações com usos similares para que as variáveis do envoltório possam ser comparadas sem interferência de outras variáveis. Dessa forma, esse artigo faz uso de um “sistema de diagnóstico” para ilustrar as influências do tamanho e da forma sobre o consumo de energia de edificações de escritório localizadas em clima quente.

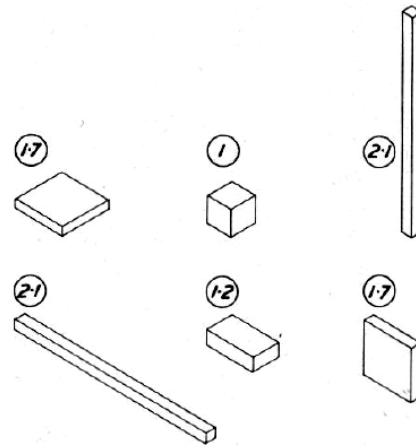
## 2. REVISÃO

O pioneiro Olgyay (1963) foi um dos primeiros a analisar a influência regional sobre edificações, provavelmente baseado no conhecimento de princípios e no uso de bom senso. Conforme Figura 1, o autor sugere que edificações com formas compactas são mais apropriadas para clima frio e as com formas alongadas no sentido Leste-Oeste são recomendadas para clima quente-úmido. Desde então, respeitadas pesquisadores e projetistas fazem uso desse tipo de simplificação. À exemplo de

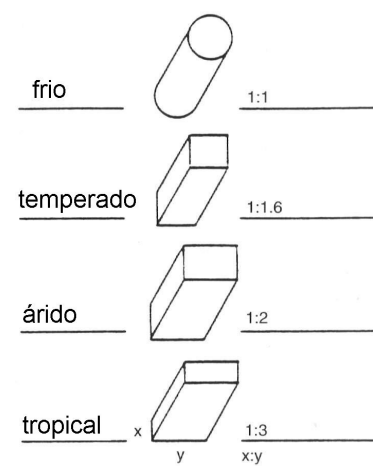
recomendações para climas frios, Burberry (1983) recomenda a redução do volume, assim como formas que minimizem as perdas de calor, Figura 2. Yeang (1999) faz similar abordagem para clima quente ao justificar que a redução do calor incidente é influenciado pela forma da edificação e pela razão do volume por área externa. Assim, ele sugere um diagrama com as razões área/volume otimizadas para cada zona climática (Figura 3).



**Figura 1 Formas básicas de edificações em diferentes regiões (Olgyay 1963).**

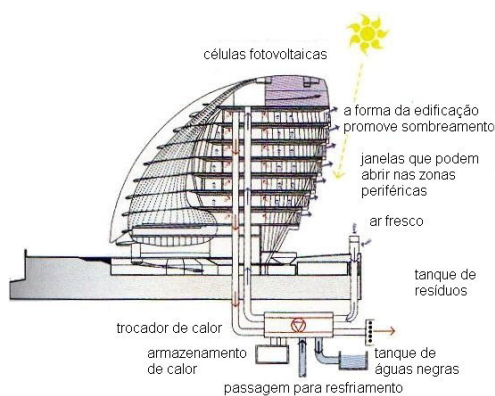


**Figura 2 Áreas relativas de superfícies para um dado volume (Burberry 1983).**

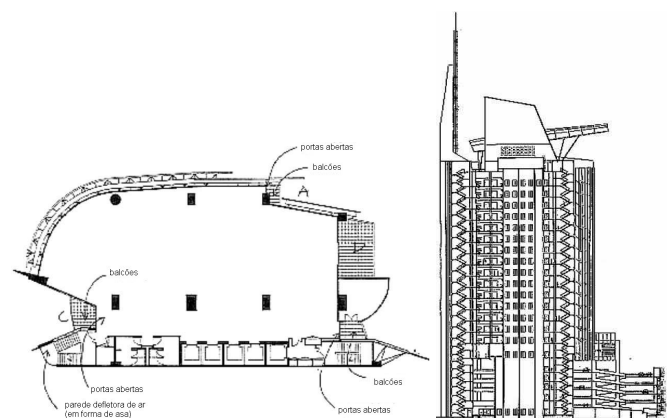


**Figura 3 Ótimas razões de área externa por volume de edificações (Yeang 1999).**

Há dois casos notórios da aplicação desses conceitos: o primeiro para clima frio e o segundo para clima quente. Steele (2001) reconhece que Sir Norman Forster and Partners decidiram pela forma esférica durante o projeto do Greater London Authority Assembly Building (Figura 4): o projeto tem 25% menos área externa do que teria uma edificação cúbica de mesmo volume. Segundo o autor, a otimização do desempenho foi obtido, quase que exclusivamente, pela manipulação pura das formas geométricas através de simulação computacional. Em contraste, o Menara Umno é uma edificação projetada para clima tropical, a qual tem forma alongada (Figura 5) e intenso uso do envoltório para aumentar a ventilação natural e maximizar o uso da iluminação natural (Jones e Yeang 1999).



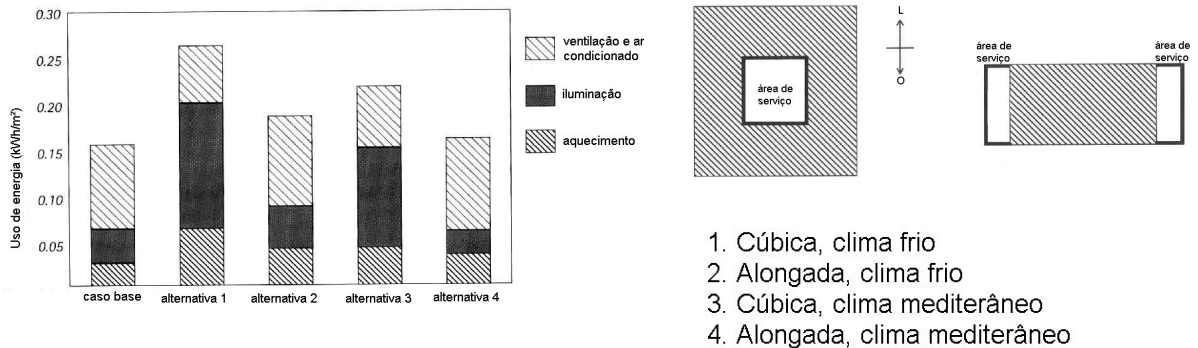
**Figura 4 Foster e Partners, Grater London Authority (Steele 2001).**



**Figura 5 Planta baixa de piso típico e vista frontal e do Menara Umno, em Penang, Malásia (Jones and Yeang 1999).**

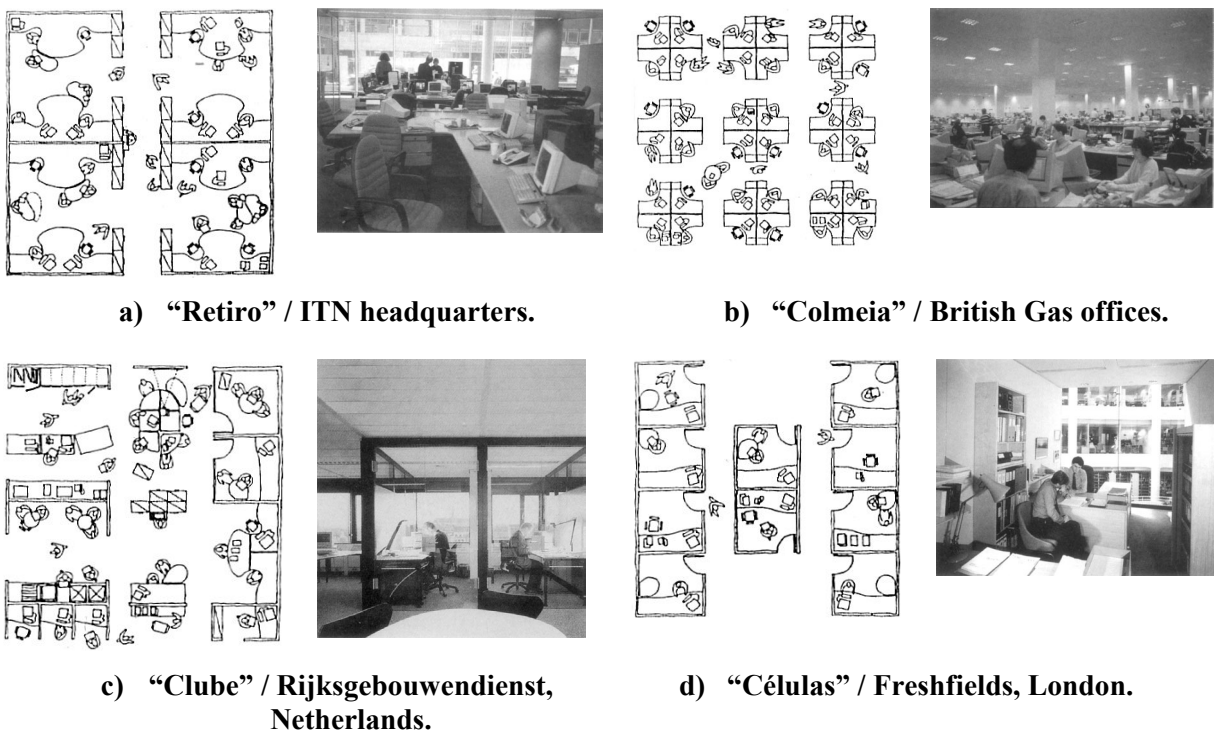
Essa tendência de consideração da geometria sobre o desempenho energético é refletida em recentes livros-texto de tecnologia na área de arquitetura, à exemplo de Hyde (2000). O autor defende o aumento de zonas potencialmente passivas através da comparação entre edificações cúbicas e

alongadas, empregando simulação energética. Segundo o gráfico (Figura 6), a edificação alongada (modelos “alternativa 2” e “alternativa 4”) consome menos energia porque usa menos iluminação artificial, ainda que o consumo para resfriá-la seja maior (segundo o gráfico, esse comportamento ocorre em ambos os climas: frio e mediterrâneo). Ou seja, uma edificação alongada consome menos energia desde que haja um uso de estratégias passivas. Caso contrário, essa edificação consumirá mais energia que uma cúbica.



**Figura 6 Comparação entre edificações cúbica e alongada (Hyde 2000).**

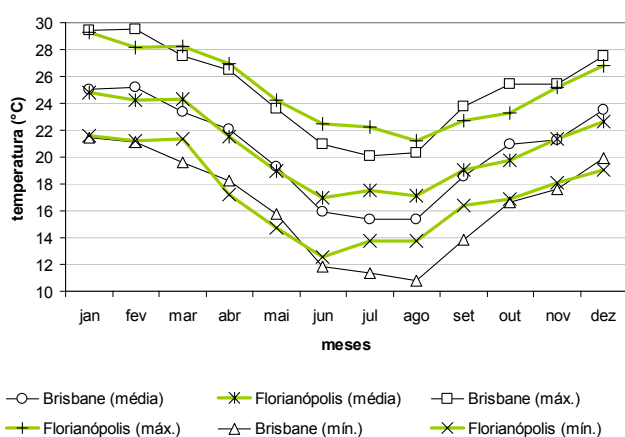
Ainda que as a criação de zonas potencialmente passivas dependam do envoltório, há limitações impostas pelo tipo de uso da edificação. Conforme observam os consultores do escritório de arquitetura DEGW (Laing et al. 1998), há quatro tipos de lay-out interno: “retiro”, “colmeia”, “clube” e “células”. Os formatos “retiro” (Figura 7, c) e “colmeia” (Figura 7, d) se assemelham ao velho estilo de edificações de escritório: uso consistente e uniforme, áreas abertas e alta densidade de ocupação. Nesse caso, a profundidade da sala é maior e a ausência de divisões, favorecendo o uso de iluminação e ventilação naturais. Os formatos “clube” e “células” são mais complexos para modelar. Devido à tendência de enclausuramentos, a profundidade da sala é menor e há uma conseqüente redução da área de zonas potencialmente passivas.



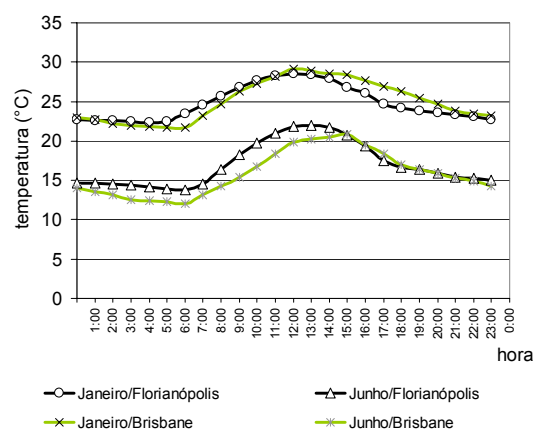
**Figura 7 Formas de uso de edificações de escritório: desenhos esquemáticos e exemplos (Laing, Duffy et al. 1998).**

### 3. MÉTODO

O método escolhido para analisar a forma da edificação se baseia na combinação de células previamente modeladas e simuladas (Pedrini and Szokolay 2003). O clima usado nas simulações foi o de Brisbane/ Austrália (latitude  $-27.40^\circ$ ), o qual é similar ao de Florianópolis/ Brasil (Figura 8 e Figura 9). Os demais parâmetros dos modelos foram caracterizados também para Brisbane. Assume-se que os modelos simulados são ocupados durante 68 horas por semana e que o uso é compatível com condições de projetos e de normas. Se comparados com edificações reais, à exemplo das estudadas pelo integrantes do LabEEE (Pedrini, Westphal et al. 2001), provavelmente os resultados da análise paramétrica parecerão otimistas. Entretanto, as maiores razões de divergências poderão ser decorrentes de falhas de uso e manutenção das edificações reais, geralmente associadas às taxas de infiltração e de renovação de ar e à operação de sistemas de climatização, por exemplo.



**Figura 8 Comparação das médias mensais de temperaturas de bulbo seco, média das máximas e média das mínimas de Brisbane e Florianópolis.**



**Figura 9 Comparação das médias horárias das temperaturas de bulbo seco de Brisbane e Florianópolis.**

O “sistema de diagnóstico” tem mostrado que as zonas voltadas para as quatro orientações principais (Norte, Sul, Leste e Oeste) têm um consumo mínimo de energia muito similar. Isto é, através da combinação de variáveis arquitetônicas apropriadas que potencializam o uso de estratégias de baixo consumo de energia, é possível atingir um consumo de  $125 \text{ kWh/m}^2$  para a zona Norte e  $132 \text{ kWh/m}^2$  para as demais zonas<sup>1</sup>. Por outro lado, os consumos máximos para as quatro orientações são diferentes:  $444 \text{ kWh/m}^2$  para zona Norte,  $388 \text{ kWh/m}^2$  para zona Leste,  $296 \text{ kWh/m}^2$  para zona Sul e  $494 \text{ kWh/m}^2$  para zona Oeste. Para as zonas que aproveitam ao máximo os recursos passivos, isto é, zonas com profundidade de parede de 9 m, o melhor consumo varia entre  $119 \text{ kWh/m}^2$  (Sul) e  $133 \text{ kWh/m}^2$  (Leste), enquanto que o pior desempenho varia entre  $248 \text{ kWh/m}^2$  (Sul) e  $336 \text{ kWh/m}^2$ .

O ‘sistema de diagnóstico’ também permite analisar os comportamentos de zonas ativas internas (sem contato com o envoltório) e de zonas periféricas sem aberturas. Neste caso, o fator predominante é a eficiência do sistema de climatização e do sistema de iluminação. O consumo de células internas com

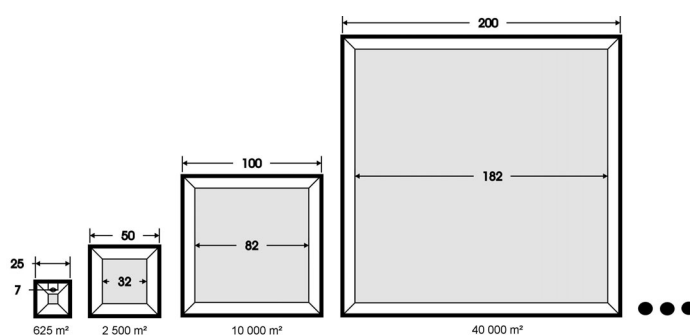
<sup>1</sup> O consumo mínimo foi obtido através do uso de instalação predial eficiente e uso de iluminação e ventilação naturais. A célula Norte de menor consumo tem componente construtivo leve, profundidade de sala de 3 m, pé-direito de 3,6 m, vidros claros, fração de parede envidraçada de 70%, sombreamento horizontal externo com ângulo vertical (VSA) de  $60^\circ$  e sombreamento vertical externo com ângulo horizontal (HSA) de  $\pm 40^\circ$ . A Leste apresenta componente construtivo pesado, profundidade de sala de 6 m, pé-direito de 3,6 m, fração de parede envidraçada de 70%, vidro esverdeado (‘Evergreen’), VSA  $10^\circ$  e HSA  $\pm 10^\circ$ . A célula Sul é leve, tem profundidade de sala de 3 m, pé-direito de 2,4 m, vidro claro, fração envidraçada de parede de 40%, VSA  $90^\circ$  e HSA  $\pm 40^\circ$ . A célula Oeste é leve, tem profundidade de parede de 9 m, pé-direito de 3,6 m, vidro claro, fração envidraçada de parede de 90%, VSA  $10^\circ$  e HSA  $\pm 10^\circ$ . Como o “sistema de diagnóstico” foi desenvolvido para analisar pavimentos intermediários de edificações, ele não considera o ganho térmico de cobertura.

sistemas eficientes é 147 kWh/m<sup>2</sup> enquanto que o de baixas eficiências é 233 kWh/m<sup>2</sup>. As zonas ativas periféricas com sistemas ativos eficientes consomem entre 154 e 186 kWh/m<sup>2</sup> enquanto que as com sistemas ativos de baixas eficiências consomem entre 240 e 296 kWh/m<sup>2</sup>. Em comparação, a análise de regressão de Signor et al. (2001) apontou para um consumo de 325 kWh/m<sup>2</sup> para o clima de Florianópolis.

### 3.1 Influência do tamanho do pavimento

A influência do tamanho da edificação é determinada através da comparação de consumo de energia entre diferentes tamanhos de pavimentos (Figura 10): 25 m x 25 m (625 m<sup>2</sup>), 50 m x 50 m (2 500 m<sup>2</sup>), 100 m x 100 m (10 000 m<sup>2</sup>), 200 m x 200 m (40 000 m<sup>2</sup>), 400 m x 400 m (160 000 m<sup>2</sup>), 848 m x 848 m (719 104 m<sup>2</sup>). Cada pavimento é analisado para as seguintes considerações:

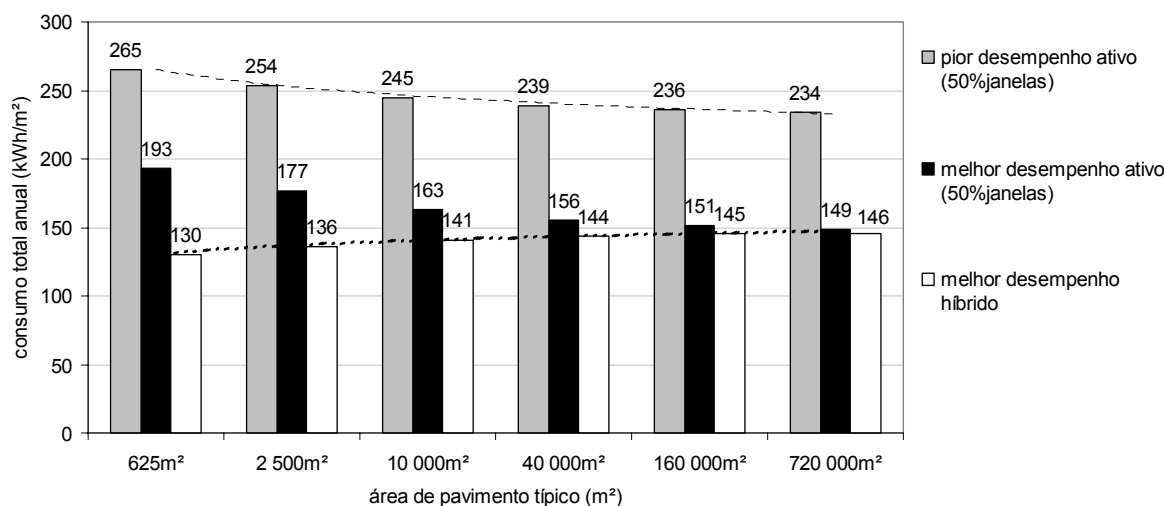
- **pioor desempenho ativo:** adota-se as instalação predial de baixa eficiência e envoltório com fração de parede envidraçada de 50%, o que é considerada típica para edificações de escritórios em Brisbane (ABCB 2001h)
- **melhor desempenho ativo:** adota-se instalação predial eficiente e o mesmo envoltório do caso anterior;
- **melhor desempenho híbrido:** adota-se instalação predial e envoltório eficientes, compatíveis com estratégias de redução de consumo de energia.



**Figura 10 Análise de pavimentos quadrados de diferentes tamanhos (vista superior).**

Para um maior aproveitamento dos recursos passivos, assume-se que as zonas híbridas (localizadas na periferia, próximo ao envoltório) apresentam uma profundidade de sala de 9 m. É uma consideração otimista para aproveitamento de luz natural, considerando o risco de brilho excessivo e as restrições de lay-out interno.

Previsivelmente, o aumento da área do pavimento implica no aumento percentual de zonas ativas e na redução de zonas híbridas. Logo, o consumo de energia total do pavimento tende a se aproximar do consumo de energia típico de um pavimento com zonas predominantemente ativas, conforme Figura 11.

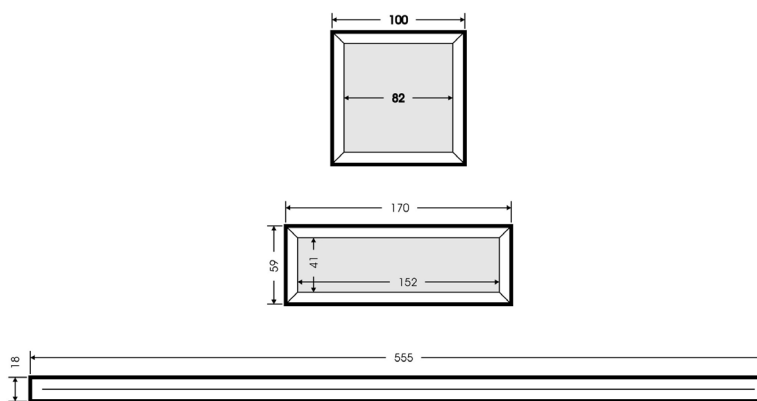


**Figura 11 Comparação de consumo de energia para diferentes tamanhos de pavimentos.**

Logo, a eficiência do sistema predial ganha mais importância à medida que os pavimentos aumentam de tamanho e à medida que o percentual de zonas híbridas é reduzida. Por outro lado, quanto menor o pavimento, maior é a dependência em relação ao envoltório. No caso do pavimento de 625 m<sup>2</sup>, observa-se que o uso inadequado de práticas (conjunto de decisões arquitetônicas praticadas pelo projetista) pode duplicar o consumo de energia. Quando comparado a um pavimento com envoltório e instalação predial eficiente, a adoção de um envoltório medíocre (típico para Brisbane) implica no aumento de 48% de energia consumida. A adoção de uma instalação predial de baixa eficiência aumenta o consumo em 103%.

### 3.2 Influência da geometria do pavimento

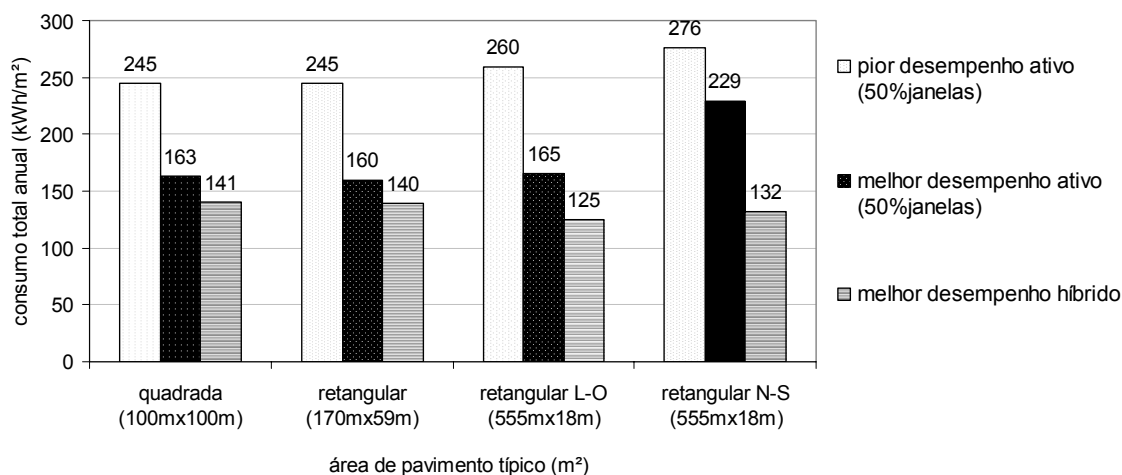
A análise da influência da forma da edificação considera três formas básicas de pavimentos com áreas similares (Figura 12): quadrada (100 m x 100 m), retangular (170 m x 59 m) e retangular híbrida sem zonas ativas (555 m x 18 m), a qual pode ter o eixo transversal com orientação Leste-Oeste (L-O) e orientação Norte-Sul (N-S), que é considerado uma prática recomendável.



**Figura 12 Comparação entre pavimentos quadrado e retangulares alongados.**

A intenção é ilustrar alguns dos ‘princípios’ citados na revisão bibliográfica. A abordagem adota zonas híbridas com profundidade de parede de 9 m. Os consumos de energia anuais também são os mesmos da abordagem anterior. A análise da Figura 13 evidencia:

- os pavimentos quadrado e retangular (170 m x 59 m) têm desempenhos similares em condições de boas e más práticas;
- o uso de práticas inadequadas penaliza as formas com mais área de envoltórios (aumento de consumo em até 12% em relação à forma quadrada), principalmente a que se expõe mais para o Leste e Oeste (retangular N-S);



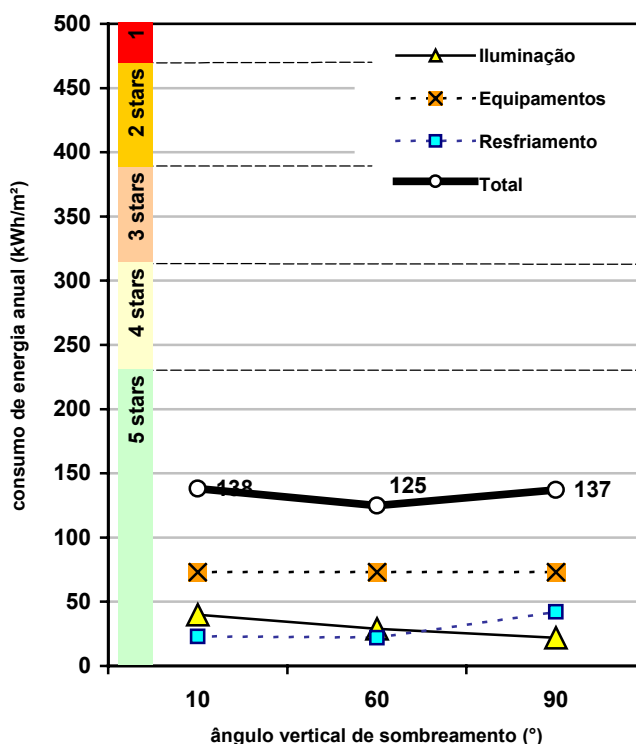
**Figura 13 Comparação de consumo total de energia para pavimentos típicos com formatos cúbico e retangulares.**

- o uso de melhores práticas é mais eficaz nos pavimentos com formas mais alongadas, pois permite uma redução de consumo de até 11% em relação à forma quadrada;
- a influência da forma é desprezível nos casos com zonas predominantemente ativas (quadrado e retangular 170 m x 59 m);
- a comparação dos resultados das formas retangulares 555 m x 18 m evidenciam que o uso de decisões de projeto adequadas pode reduzir o consumo de energia pela metade; o uso de instalação predial eficiente pode reduzir o consumo em 36% (retângulo com orientação L-O) enquanto que um envoltório eficiente pode reduzir em 42% (retângulo com orientação N-S)
- à exemplo da análise do tamanho, as formas com maior ocorrência de zonas híbridas são as mais sensíveis às decisões de projeto arquitetônico, como acontece com as formas mais alongadas.

#### 4. CONCLUSÕES E OBSERVAÇÕES

As influências do tamanho e da forma da edificação estão relacionadas às características do envoltório e à proporção de zonas que interagem com o envoltório.

Por exemplo, o pavimento mais influenciado pelo tamanho (pavimento de 625 m<sup>2</sup>) tem uma razão de área externa por volume de 0.160 (m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>) e o menos sensível (pavimento de 720 000 m<sup>2</sup>) tem razão 0.005 (m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>). Além disso, os valores encontrados para melhor e pior desempenhos estão relacionados aos melhores e piores balanços térmicos e lumínicos, decorrentes sobretudo da interação das variáveis arquitetônicas com as estratégias de redução de consumo de energia. Esse balanço é ilustrado na Figura 14: o aumento do ângulo vertical de sombreamento aumenta o consumo de energia de resfriamento porque faz aumentar a carga térmica, porém também reduz o consumo de energia do sistema de iluminação porque aumenta a quantidade de luz natural no ambiente. O ponto ótimo está na interseção das curvas de consumo de iluminação e de resfriamento, ou no menor somatório das duas: 125 kWh/m<sup>2</sup> para o ângulo de 60°.



**Figura 14 Demonstração de ótimo balanço entre consumo de energia por resfriamento e por iluminação.**

Observou-se que o consumo das zonas periféricas são mais afetadas por soluções arquitetônicas inadequadas do que por soluções eficientes. Dessa forma, é vantajoso promover a forma cúbica (aumentar a razão área externa por volume) para projetos que apresentam envoltório inadequado, uma vez que a influência negativa do envoltório é minimizado. Por outro lado, é vantajoso projetar pavimentos com muita área externa por volume, como os alongados, quando o projeto arquitetônico competentemente usa os recursos passivos através da tomada adequada de decisões arquitetônicas. Ou seja, seria mais conservativo apostar em formas cúbicas caso o projetista não disponha de conhecimentos ou de recursos que permitam obter edificações mais eficientes. Entretanto, quanto menos cúbico, mais importante é análise energética para auxiliar as decisões do projeto arquitetônico.



Para que códigos e normas sobre consumo de energia observem a importância da forma e tamanho sobre o desempenho, será necessário torná-las mais orientadas ao envoltório e ao uso de estratégias passivas e híbridas.

Finalmente, o uso de “princípios” como a “recomendação da forma alongada” tem efeito duplo. Pode funcionar muito bem se o projeto se desenvolver adequadamente. Porém tem efeito contrário se o projetista não abordar a questão energética de forma adequada: com ferramentas quantitativas que o permitam identificar as conseqüências de suas decisões arquitetônicas.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABCB (2001h). Appendix A - Building Forms. Canberra, Australian Building Codes Board.
- Bannister, P. (2001). Australian Building Greenhouse Rating Scheme: Methodology Description. Canberra, Exergy Group Pty Limited.
- Burberry, P. (1983). Mitchell's Practical thermal design in buildings. London, Batsford Academic and Educational.
- Hyde, R. (2000). Climate responsive design : a study of buildings in moderate and hot humid climates. New York, E & FN Spon.
- Jones, P. J. and K. Yeang (1999). Use of the wind wing-wall as a device for low-energy passive comfort cooling in a high-rise tower in the warm-humid tropics. Proceedings of the PLEA99' Conference, Brisbane / Australia.
- Laing, A., F. Duffy, et al. (1998). New Environments for Working: The re-design of offices and environmental systems for new ways of working. London, Construction Research Communications Ltd.
- Olgay, V. (1963). Design with climate : bioclimatic approach to architectural regionalism. Princeton, N.J., Princeton University Press.
- Pedrini, A. and S. Szokolay (2003). Sistema de diagnóstico do consumo de energia em escritórios: uma ferramenta de apoio às primeiras fases do projeto arquitetônico em clima quente. VII Encontro nacional sobre conforto no ambiente construído (ENCAC)/ III Conferência Latino-americana sobre conforto e desempenho energético de edificações (COTEDI), Curitiba.
- Pedrini, A., F. S. Westphal, et al. (2001). A methodology for building energy modelling and calibration in warm climates. Building and Environment.
- Powell, R. (1999). Rethinking the skyscraper : the complete architecture of Ken Yeang. New York, NY, Whitney Library of Design.
- Signor, R., F. S. Westphal, et al. (2001). Regression analysis of electric energy consumption and architectural variables of conditioned commercial buildings in 14 Brazilian cities. Building Simulation - Seventh International IBPSA Conference, Rio de Janeiro.
- Steele, J. (2001). Architecture and computers : action and reaction in the digital design revolution. London, Laurence King.
- Yeang, K. (1999). The green skyscraper : the basis for designing sustainable intensive buildings. Munich, Prestel.

## 6. AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Steven Szokolay, pelos comentários e sugestões; ao LabEEE, pela acolhida no Brasil e ao CNPq, pela bolsa de doutorado pleno no exterior.