



## III ENCONTRO NACIONAL I ENCONTRO LATINO-AMERICANO

Gramado, RS, 4 a 7 de julho de 1995

### **SIMULAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE ALGUMAS VARIÁVEIS ARQUITETÓNICAS NO CONSUMO DE ENERGIA EM EDIFÍCIOS.**

Luis A. Gómez, MEE                      Roberto Lamberts, PhD,  
UFSC-ECV-NPC  
Caixa Postal 476 - CEP. 88010-970 - Florianópolis -SC  
Fax: (048) 2319770, E-mail: ecvrlr@ibm.ufsc.br

#### **RESUMO**

Este trabalho apresenta os resultados da simulação das cargas térmicas o consumo anual de energia em doze edifícios. Os edifícios tem o mesmo uso, área e estão construídos com os mesmos materiais. Diferem no fator de forma, relação janela/parede, número de andares e orientação. As simulações foram realizadas para Florianópolis-SC utilizando o programa de simulação energética DOE-2. IE

#### **ABSTRACT**

This works describes the results of simulations of the thermal loads and the anual electric energy consuptions in twelve buildings. The buildings have the same use, area and are built with the same materials. They differ in shape, windows wall ratio, number of floors and orientation. The simulations were performed for Florianópolis-SC using the DOE-2. IE simulation program.

#### **PALAVRAS-CHAVE**

Consumo de Energia; Simulação; Desempenho Térmico; Construção

#### **INTRODUÇÃO**

Utilizando o programa de simulação do consumo energético em edificações DOE-2. IE, foi realizada a simulação de várias alternativas de projeto para um edifício de utilização comercial, com a mesma ocupação, potência elétrica de iluminação, equipamentos e área construída localizados em Florianópolis-SC (lat.:27.5S, long.:48.5W). Dentre as alternativas de projeto, foram considerados edifícios de 1 e 10 andares, relações janela/parede (WWR) de 30% e 70% e finalmente fatores de forma (FF) de 1: 1 (quadrado) e 1: 3 (retangular). Neste último caso foram consideradas duas diferentes orientações para o retângulo: lado maior orientado ao Norte e lado menor com orientação Norte.

## PROGRAMA DE SIMULAÇÃO ENERGÉTICA

O programas de simulação **DOE-2.1E** [1],[2],[3] e [4] foi desenvolvido a partir de 1975, no Lawrence Berkeley Laboratory (LBL) (Califórnia, USA) sob os auspícios do Department of Energy (DOE) (de onde vem o nome do programa), e foi testado em várias instituições e organismos no mundo inteiro. O programa prediz o uso e custo horário da energia consumida num prédio a partir dos dados construtivos, de utilização, climáticos, equipamentos de ar condicionado e tarifas. O **DOE-2.1E** permite:

- **Cálculo/Segregação da carga Térmica:** O **DOE-2.1E** permite o cálculo e a segregação das cargas térmicas que incidem sobre o edifício. Estas cargas térmicas podem ser separadas mensalmente ou pelos diversos fatores que contribuem para esquentar ou resfriar o edifício (Ganelas, paredes, teto, ocupantes, etc.)
- **Cálculo do Consumo de Energia Elétrica:** Uma vez definidos os sistemas de ar condicionado e ventilação o **DOE-2.1E** permite o cálculo das cargas elétricas (demanda) e o consumo de energia elétrica mensal e anual. Esta demanda e consumo podem ser separados por uso final (iluminação, ar condicionado, equipamentos, etc.) Definindo a estrutura tarifária, o **DOE-2.1E** permite determinar o custo mensal de energia para o edifício simulado.

**Arquivo de Dados Climáticos:** Arquivos climáticos para várias capitais do Brasil foram obtidos a partir de observações em aeroportos e processados utilizando uma metodologia TRY (Test Reference Year) para obter o ano mais representativo de cada cidade pelo Núcleo de Pesquisa em Construção (NPC) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) [5]. É importante destacar que na maioria das estações de coleta de dados climáticos não existem equipamentos para a medição da radiação solar, existindo a necessidade de utilizar estimativas a partir do total de nuvens. Outro aspecto a ser considerado é que a média das temperaturas e vento é realizada em áreas descampadas (pista dos aeroportos) e representam condições diferentes das encontradas no centro das cidades.

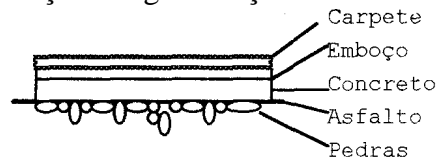
## EDIFÍCIOS SIMULADOS

Foram simulados 12 edifícios de aproximadamente 8.640m<sup>2</sup> de área construída destinados à utilização comercial, conforme os parâmetros da tabela 1. As características construtivas foram escolhidas para considerar uma construção padrão para este tipo de edifício no Brasil.

Tabela 1: Características dos edifícios simulados

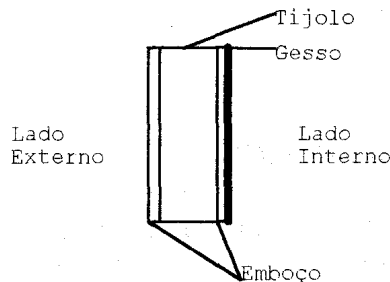
Legenda	Andares	FF	WWR	Azimute
P1	1	1:1	30%	-
P2	1	1:1	70%	-
P3	1	1:3	30%	0°
P4	1	1:3	30%	90°
P5	1	1:3	70%	0°
P6	1	1:3	70%	90°
P7	10	1:1	30%	-
P8	10	1:1	70%	-
P9	10	1:3	30%	0°
P10	10	1:3	30%	90°
P11	10	1:3	70%	0°
P12	10	1:3	70%	90°

**Piso:** Está constituído por uma camada de pedras, em contato com o chão, camada de asfalto, camada de concreto de 20cm, camada de emboço de regularização e finalmente uni tapete de 5 mm (Fig. 1).



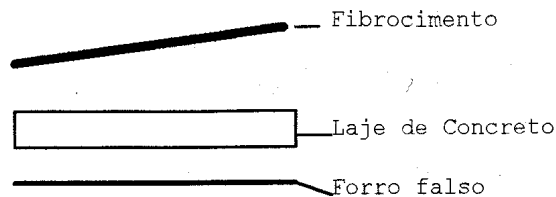
**Figura 1: Composição do Piso**

**Paredes:** Estão construídas por 18mm de emboço, tijolo cerâmico maciço de 10cm de espessura, emboço e acabamento interno de gesso. As paredes são brancas e rugosidade baixa em ambas as faces (Fig. 2).



**Figura 2: Composição da Parede**

**Teto:** Está constituído por placas de fibrocimento, seguido por uma camada de ar media de 30 cm, laje de 15 cm, camada de ar de 30 cm e uni forro falso de material isolante. As placas de fibrocimento estão pintadas com pintura de alumínio (Fig. 3).



**Figura 3: Composição do teto**

**Janelas:** Foram definidos utilizando vidros de folhas simples, com área dos marcos desprezíveis em relação a área total da janela e sem brises ou marquises. Os vidros tem uma transparência de 80% e 7% de reflexão, transmitância térmica de  $5,8 \text{ W/m}^2 \cdot \text{C}$ .

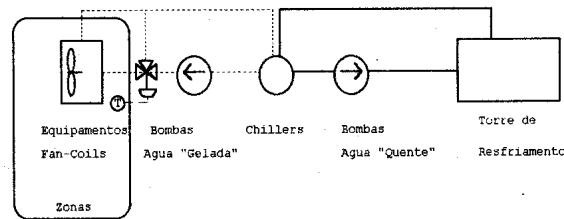
**Paredes Internas:** Foram consideradas divisórias de "Eucatex", representadas pela sua condutância térmica ( $U\text{-Value} = 5,2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{C}$ )

**Iluminação Artificial:** do tipo fluorescente, embutida no forro falso e potência instalada de  $20 \text{ W/m}^2$

**Equipamentos:** representado por computadores, máquinas copadoras e outros equipamentos de escritórios com uma potência instalada de  $2 \text{ W/m}^2$ .

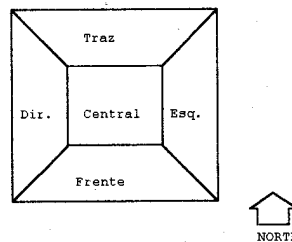
**Ocupantes:** Foi estabelecida uma ocupação de  $0,1 \text{ pessoas/m}^2$

**Condicionamento Ambiental:** Só foi considerada a instalação de equipamentos de refrigeração. Os equipamentos simulados são do tipo "Fan Coil" e torre de resfriamento (Fig. 4). Com o objetivo de avaliar as consequências de cada alternativa no sistema de ar condicionado, foi utilizada a opção de auto dimensionamento que o **DOE-2.1E** oferece.



**Figura 4: Sistema de Ar condicionado**

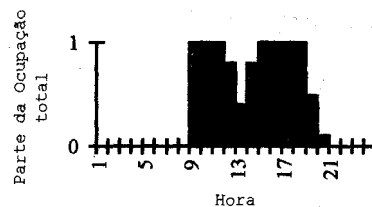
Para facilitar a simulação cada andar dos prédios simulados, foi dividido em cinco zonas (da mesma área) atendidos por uma unidade de "Fan-Coil" com termostato de controle individual (Fig. 5).



**Figura 5: Zonas Térmicas por Andar**

**Programações horárias ("Schedules") :** Foram consideradas as seguintes programações horárias:

- Ocupantes: Os valores definidos para cada hora são uma fração do valor máximo (1 = 100% da ocupação). Durante os finais de semana e feriados foi considerado que o prédio permanece sem ocupantes. A "schedule" está mostrada na Fig. 6.



**Figura 6: "schedule" de ocupação**

- Iluminação e equipamentos: Os valores definidos para cada hora são uma fração do valor máximo (1 = 100% da potência total instalada). Durante os finais de semana foi considerado que a iluminação permanece desligada. A "schedule" de iluminação segue a "schedule" de ocupação.

- Ajuste de Termostatos (Set-Points): Foi considerada uma única programação para o inverno e para o verão. Os valores definem para cada hora o "set-point" de temperaturas para resfriamento. Já que o sistema não dispõe de aquecimento, não foi definida uma schedule com os "set-points" de controle do aquecimento. Durante os finais de semana foi considerado que o

sistema permanece desligado. O valor 0°C indica que o sistema de ar-condicionado permanece desligado. (Fig. 7)

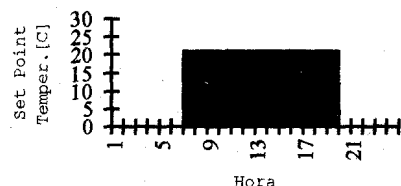


Figura 7: "set-point" de temperatura

## RESULTADOS DA SIMULAÇÕES

Com o objetivo de obter resultados os mais genéricos possíveis a maioria das variáveis foi expressa em função da área do edifício. As simulações foram realizadas, considerando a infiltração de ar nula. No caso do prédio de 10 andares, foram considerados três casos: o andar térreo (em contato com o chão), o andar de cobertura (que recebe grande parte da radiação solar através do teto) e os andares intermediários. Não foram considerados feriados nem férias na simulação.

**Cargas Térmicas e consumo energético total:** A tabela 2 mostra o pico de cargas térmicas de aquecimento e resfriamento (que não ocorrem simultaneamente) e o consumo elétrico total anual de energia elétrica.

Tabela 2: Pico de Cargas Térmicas e Consumo Elétrico

Edifício	Pico de cargas		Consumo Anual [MWh]	Consumo Anual [kWh/m <sup>2</sup> ]
	Aquecimento	Resfriamento		
P1	506.6	-228.8	759.6	90.8
P2	633.3	-240.9	876.8	104.8
P3	505.0	-229.5	754.6	91.8
P4	526.6	-230.5	764.7	93.0
P5	610.4	-240.6	940.4	114.4
P6	659.5	-241.6	945.5	115.0
P7	547.6	-96.1	1038.9	124.1
P8	894.8	-155.3	1404.6	167.9
P9	565.5	-107.3	1072.6	128.2
P10	547.5	-96.6	1088.9	130.2
P11	934.3	-179.4	1469.4	175.6
P12	1071.1	-181.3	1536.4	183.7

**Cargas Térmicas por componentes:** A tabela 3 mostra o pico de cargas térmicas de aquecimento de cada um dos componentes do edifício. As cargas térmicas de iluminação, equipamentos e ocupantes permanecem constantes, já que as potências instaladas e números de ocupantes permanecem constantes.

**Tabela 3: Pico de Cargas Térmicas[kW] por componente**

Edifício	Teto	Pared.	Janelas		Piso	Ilum. +Equi.	Ocup.
			Condução	Radiação			
P1	152.2	10.0	16.7	63.5	33.2	120.8	92.3
P2	152.2	2.8	44.5	169.9	33.2	120.8	92.3
P3	150.2	11.4	19.3	64.2	33.2	120.8	92.3
P4	150.2	12.0	20.4	84.1	33.2	120.8	92.3
P5	150.2	4.9	45.1	151.3	33.2	120.8	92.3
P6	150.2	5.0	46.3	198.6	33.2	120.8	92.3
P7	14.0	30.0	56.5	211.3	33.2	120.8	92.3
P8	14.0	10.3	138.4	502.3	33.2	120.8	92.3
P9	14.0	31.4	68.7	11.8	33.2	120.8	92.3
P10	14.0	30.6	56.0	223.2	33.2	120.8	92.3
P11	14.0	11.5	157.5	564.2	33.2	120.8	92.3
P12	14.0	12.0	164.1	652.2	33.2	120.8	92.3

**Consumo elétrico por uso final:** A tabela 4 mostra o consumo elétrico total segregado por uso final. O consumo indicado com ar condicionado representa o consumo total de chillers, bombas e torres de resfriamento. O consumo indicado como ventiladores são os das unidades "Fan-Coil".

**Tabela 4: Consumo Elétrico Anual por uso final [MWh]**

Edifício	Iluminação	Equipamentos	Ar Condicionado	Ventiladores
P1	449.3	44.9	259.5	5.9
P2	449.3	44.9	373.8	8.7
P3	449.3	44.9	262.9	6.0
P4	449.3	44.9	272.8	6.2
P5	449.3	44.9	366.4	9.4
P6	449.3	44.9	376.6	9.1
P7	449.3	44.9	531.9	12.1
P8	449.3	44.9	888.4	21.2
P9	449.3	44.9	559.8	13.5
P10	449.3	44.9	531.8	12.9
P11	449.3	44.9	951.7	23.4
P12	449.3	44.9	1017.3	24.9

**Cargas térmicas em cada zona:** A tabela 5 mostra o pico de cargas térmicas de aquecimento em cada uma das zonas térmicas do edifício por metro quadrado. No caso do prédio de 10 andares, foi considerado um andar intermediário.

**Tabela 5: Pico de carga Térmica por Zona [kW/m<sup>2</sup>]**

Edifício	Frente	Direita	Traseira	Esquerda	Central
P1	61.1	68.2	60.3	63.7	50.8
P2	78.9	96.7	74.6	83.9	50.8
P3	71.4	60.1	69.9	56.7	50.8
P4	76.3	55.9	84.5	55.3	50.8
P5	109.3	70.9	91.0	64.8	50.8
P6	92.0	93.2	63.0	83.8	28.0
P7	62.5	110.6	60.9	128.1	28.0
P8	175.3	171.0	103.2	158.2	28.0
P9	143.2	64.4	90.8	57.2	28.0
P10	92.6	93.2	63.0	83.8	28.0
P11	291.9	108.0	162.5	98.6	28.0
P12	263.3	109.2	283.0	69.2	28.0

## CONCLUSÕES

**Fator de Forma- Quadrada/Retangular:** Para a mesma relação janela/parede não se observam diferenças significativas nas cargas térmicas nem no consumo elétrico no caso de WWR de 30% e um andar (máximo 2% do consumo elétrico) . No caso de WWR de 70% e 10 andares as diferenças são maiores (máximo 91% do consumo elétrico) devido a diferenças na área de parede e conseqüentemente na área de janela (maior no caso de forma retangular).

**Número de andares- 1 andar/10 andares:** As cargas térmicas e o consumo elétrico são maiores no caso do prédio de 10 andares (36% para WWR=30% e 60% para WWR=70/o). Isto se deve ao fato de que a contribuição de carga térmica pelo teto é menor que a contribuição parede/janela no caso prédio de um andar (Área de parede e conseqüentemente de janela é menor no caso de prédio de um andar). Outro fatos que contribuem para esta afirmação são o Teto relativamente bem isolado termicamente (camadas de ar entre as placas de fibrocimento e a laje e entre a laje e o forro falso) e, janelas simples de vidro comum sem brises ou marquises.

**Relação Janela/Parede (WWR):** As cargas térmicas e conseqüentemente o consumo elétrico são maiores no caso de maior área de janela. O fato de utilizar janelas simples de vidro comum e sem brises ou marquises, justifica os resultados. Para unia redução de WWR de 70% para 30% o consumo elétrico reduziu de 15 a 25%, sendo a redução maior nos prédios retangulares.

**Orientação:** Considerando os casos de fator de forma 1:3 (forma retangular) e para o mesma relação Janela/parede, se observa que edifícios com azimute de 900 (isto é com as faces maiores voltadas para o Leste e Oeste) apresentam consumos maiores. As diferenças são pequenas e variam de 0,5% a 4% do consumo elétrico.

**Orientação das Zonas:** Considerando os casos de fator de forma 1: 1 (forma quadrada) temos que as zonas com maior carga térmica (e por conseguinte as mais quentes) são por ordem de magnitude as Oeste, Leste e Norte. A diferença de pico de carga térmica de aquecimento entre a zona mais quente (Oeste) e a mais fria (Sul) varia de 13% no caso de edifício de 1 andar e WWR de 30% a 80% no caso de 10 andares e WWR de 70%.

## REFERÊNCIAS:

1. Lawrence Berkeley Laboratory, DOE-2.1E - BASICS, **Lawrence Berkeley Laboratory**, Report LBL- 35520, May 1994.
2. Lawrence Berkeley Laboratory, DOE-2 Reference Manual (Version 2.1D, **Lawrence Berkeley Laboratory**, Report LBL-8706 Rev.5, June 1989.
3. Lawrence Berkeley Laboratory, DOE-2 Supplement Version 2.1E, **Lawrence Berkeley Laboratory**, Report LBL-34947, Nov 1993.
4. Lawrence Berkeley Laboratory, DOE-2 - Sample Run Book Version 2.1C, **Lawrence Berkeley Laboratory**, Report LBL-8678 Rev.2, May 1984.
5. Goulart S. e Lamberts R., DADOS CLIMÁTICOS PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES, **II Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído - Florianópolis 1993.**