UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO - DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

LabEEE Laboratório de Eficiência Energetica em Edificações

Fone/Fax: (48) 331-5184 / www.labeee.ufsc.br / energia@labeee.ufsc.br

Treinamento para o Programa VisualDOE 3

Versão 3.1.180

Autores: Aldomar Pedrini, M.Sc.
Roberto Lamberts, Ph.D.

Florianópolis, 2003.
Última revisão e atualização: maio de 2003

SUMÁRIO

1 SIMULAÇÕES EM GERAL 1

2 EXERCÍCIO PROPOSTO 5

3 MODELAGEM DO CASO BASE 8

3.1 ESCOLHA DA UNIDADE DIMENSIONAL E DEFINIÇÃO DO TEMPLATE 8
3.2 PASTA 'PROJECT' 8
3.3 PASTA 'BLOCK' 9
3.4 PASTA 'ROOM' 9
3.5 PASTA 'FACADE' 9
3.6 PASTA 'SYSTEM' 10
3.7 PASTA 'ZONE' 10
3.8 SIMULAÇÃO 10
3.9 ANÁLISE DE RESULTADOS 11
Diagnóstico: 11
Relatórios do VisualDOE: 12
Gráficos do VisualDOE 13
Arquivos do DOE-2.1E 13

4 ESTUDO DE ALTERNATIVAS 16

4.1 CRIAÇÃO DE ALTERNATIVAS 17
4.2 ESCOLHA DA ALTERNATIVA 17

5 ALTERNATIVAS 18

5.1 ISOLAMENTO NA COBERTURA 18
Análise do impacto 18
5.2 SUBSTITUIÇÃO DOS VIDROS DAS JANELAS 19
5.3 ILUMINAÇÃO NATURAL 20
5.4 DENSIDADE DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL (LPD) 21
5.5 EFICIÊNCIA DO AR CONDICIONADO (EER) 22
5.6 VENTILAÇÃO NATURAL 23
5.7 PAREDES 24
5.8 TEMPERATURA INTERNA DE CONTROLE (SET-POINT) 27

6 RESULTADOS FINAIS 30

Relatórios do VisualDOE: 30
6.1 RIO DE JANEIRO 31
Uso final anual de energia (kWh) 31
Consumo total mensal de energia (kWh) 31
Demanda mensal de energia (kWh) 31

7 BIBLIOGRAFIA 32

Introdução

Este material propõe uma série de abordagens para o usuário que deseja se familiarizar com os procedimentos básicos de simulação termoenergética de edificações. A organização das abordagens é baseada na experiência do LabEEE com treinamento de novos usuários.

1 SIMULAÇÕES EM GERAL

A modelagem consiste em representar as características de edificações através de abstrações que tornem o processo o mais rápido possível, porém com o menor comprometimento da precisão e fidelidade dos resultados. Entre as centenas ou milhares de variáveis que compõe um modelo, cabe ao modelador concentrar os esforços na reprodução das mais importantes e simplificar as menos relevantes. Por exemplo, a influência de detalhes de geometria do envoltório podem ser irrelevantes se comparados com a das rotinas de ocupação. Embora a experiência do modelador seja muito importante, há maneiras de melhorar a fidelidade de um modelo através de métodos como a análise paramétrica e a calibração.

A análise paramétrica é empregada para quantificar a influência de uma variável sobre um modelo. Consiste em criar um caso base, o qual é reproduzido várias vezes com a mudança de uma única variável (a qual se deseja estudar). Dessa forma, os resultados podem ser correlacionados com os valores da variável, permitindo o equacionamento da variável através da análise de regressão Conforme Fig. 1, os resultados de modelos com fachadas de diferentes valores de transmitância térmica são representados por uma reta. Algumas as aplicações são:

- suporte à tomada de decisões do projeto arquitetônico (Pedrini 2003);
- estudos fundamentais para a formulação de códigos (Building Department 1995; Signor, Westphal et al. 2001; ABNT 2003);
- calibração de modelos (Pedrini 1997; Pedrini, Westphal et al. 2001).

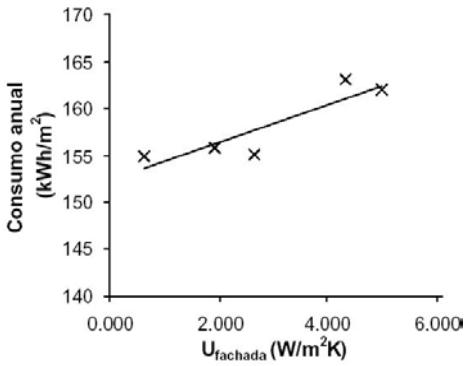


Fig. 1 - Verificação da resposta do consumo frente à variação da transmitância das paredes externas para a cidade de Belém (Signor, Westphal et al. 2001).

A versão VisualDOE3 é muito apropriada para proceder a uma análise paramétrica: é possível a criação de até 99 alternativas por arquivo e muitas das variáveis podem ser alteradas facilmente. Além do VisualDOE3, há muitas outras opções disponíveis, muitas das quais são apresentadas na website '*Tools Directory'* do U.S. Deparment of Energy: http://www.eren.doe.gov/buildings/tools_directory/(2001)

A calibração de modelos é orientada ao estudo de casos reais para a execução de reformas ('*retrofits'*). O objetivo é reduzir as incertezas dos resultados das simulações para reduzir o risco das análises econômicas durante a tomada de decisões por medidas de redução do consumo de energia. O processo de calibração tem sido estudado no LabEEE desde a década passada, através da pesquisa de software e de casos reais, como os apresentados na Fig. 2.

Eletrosul, Florianópolis: 30.000 m²

Telesc, Florianópolis: 10.250 m²

COELBA, Salvador: 15.000 m²

FIESC, Florianópolis: 10.900 m²

Banco Central – Brasília: 100.000 m²

SESC – Salvador: 16.431 m²

Furnas - Rio de Janeiro: 100.000 m²

Fig. 2 - Exemplos de edificações modeladas.

O processo de calibração compreende abordagens que se integram, classificados em quatro grupos:

A. **Documentação**. Compreende o levantamento do material existente, sem a necessidade de visita a edificação. O modelador se concentra na análise das plantas arquitetônicas, características dos componentes construtivos, relatórios de cargas elétricas instaladas (ex: computadores), relatórios de ocupação, sistemas luminotécnico e de ar condicionado. Além desses dados, o modelador deve analisar os dados disponíveis como 'memória de massa': registro de demanda de energia, geralmente medidos a cada 15 minutos (Fig. 3). Os históricos de consumo e demanda de energia dos últimos 12 meses também são importantes, pois além de trazerem indicações sobre o desempenho energético, eles devem ser usados como parâmetro de calibração do modelo (Fig. 4).

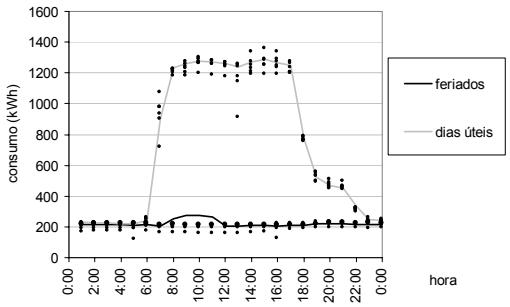


Fig. 3 – 'Memória de massa': demanda horário.

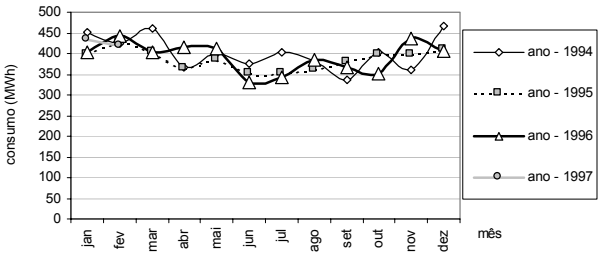


Fig. 4 – Histórico de consumo de energia.

B. **Visita à edificação**. Com base no estudo das informações documentadas, o modelador visita a edificação para conferir os dados recebidos, para solucionar as dúvidas e obter mais dados para o modelo. Recomenda-se que as áreas internas sejam visitadas e classificadas conforme suas semelhanças (Fig. 5). Dessa forma, muitas das zonas podem ser agrupadas e o modelo otimizado (tamanho e tempo de simulação). Recomenda-se também a medição

instantânea de variáveis como temperatura e iluminamento das principais áreas, assim como medição do consumo e potência de equipamentos de maior destaque (Fig. 6).

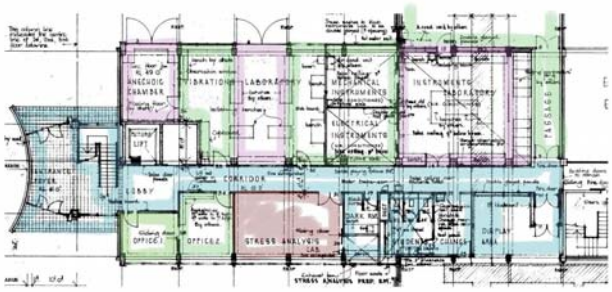


Fig. 5 – Zoneamento térmico.

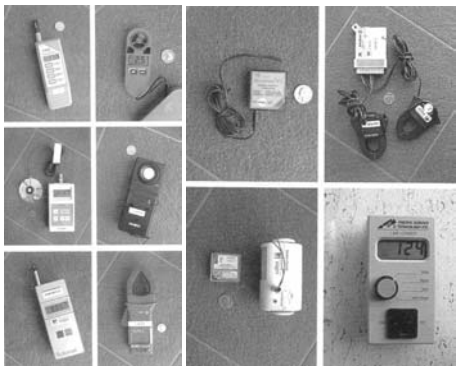


Fig. 6 – Histórico de consumo de energia.

C. **Monitoramento**. Atualmente há sensores/armazenadores bastante acessíveis (Fig. 7), que facilitam o monitoramento das temperaturas das principais zonas. Esses dados permitem a identificação do *set-point*, da rotina de uso e do atendimento das condições de projeto, conforme Fig. 8. Recomenda-se também o monitoramento de cargas de consumo específicas, como do sistema de iluminação (Fig. 9), dos equipamentos, dos resfriadores de líquido, dos 'fan-coils', bombas hidráulicas, torres de arrefecimento, etc. A identificação do perfil de consumo dessa cargas isoladas aumenta a precisão do modelo à medida que calibração deixa de ser apenas por consumo total e passa a ser por uso final de energia (Fig. 10).

D. **Estimativa de eficiência dos resfriadores de líquido**. Demanda mais recursos do que as abordagens anteriores porque consiste na medição do consumo de energia e da capacidade de resfriamento dos resfriadores.

Fig. 7 – Sensor de temperatura e armazenador de leituras[1].

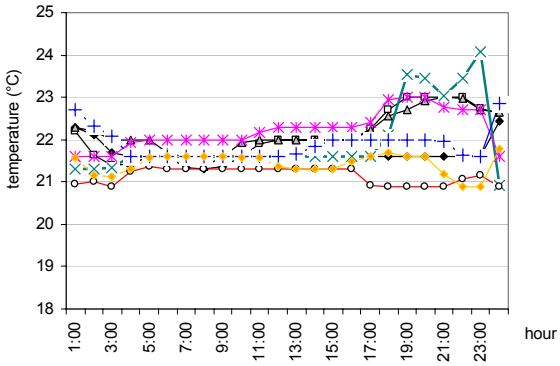


Fig. 8 – Variação de temperaturas para diferentes zonas.

[1] http://www.onsetcomp.com/Products/3654_temp.html

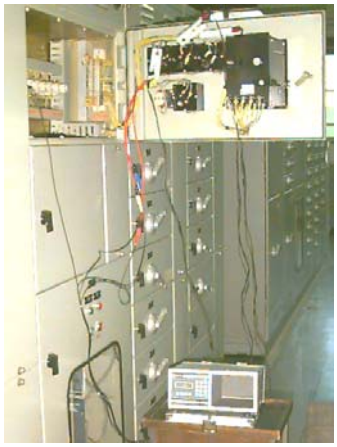


Fig. 9 – Monitoramento de consumo de energia.

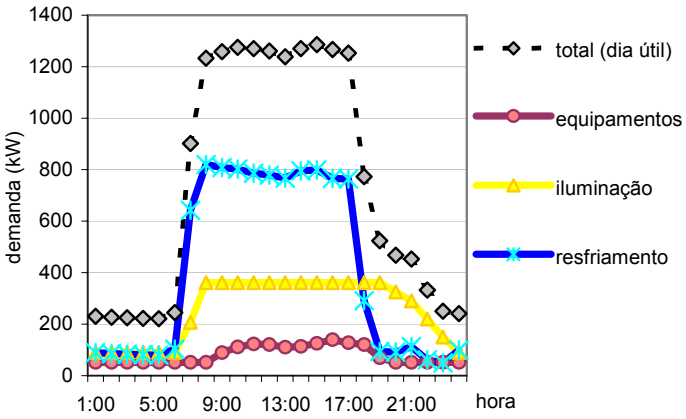


Fig. 10 – Calibração de consumo por uso final.

Em geral, um modelo é aceitável (em termos de precisão) se a diferença entre o consumo total simulado e o real não diferem mais do que 20% (a cada mês). Entretanto, estudos têm demonstrado que esse parâmetro não é suficiente para garantir uma estimativa segura para análise de reformas.

À título de comparação, a Fig. 11 mostra o consumo final de energia de quatro modelos calibrados. Embora os modelos apresentem consumo total muito próximo ao real, a sucessiva melhora dos modelos evidencia os erros de estimativa do consumo de energia por cargas de iluminação, equipamentos e resfriamento. Ou seja, recomenda-se que modeladores de edificações reais considerem seriamente o uso de monitoramento para uso final.

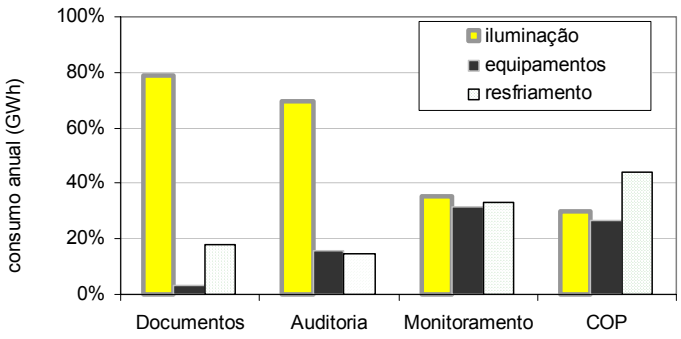


Fig. 11 – Comparação entre abordagens.

2 EXERCÍCIO PROPOSTO

A intenção é apresentar as rotinas básicas do programa VisualDOE 3, através de exercícios que reproduzem situações típicas de análise de modelo e alternativas para redução do consumo de energia. O exercício começa com a construção de um 'Caso base' (Fig. 12), o qual é analisado. A partir da análise, é proposto uma série de alternativas com crescente nível de dificuldade.

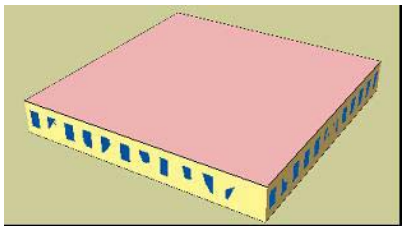


Fig. 12 – Caso base.

O VisualDOE apresenta seis pastas na interface principal, as quais detêm as variáveis de maior destaque na modelagem de uma edificação. Além dessas pastas, há editores de materiais, de ar condicionado, rotinas, aberturas etc, que serão parcialmente abordados. A maioria da variáveis recebem uma atribuição automática de valores: os *defaults*. Por se tratar de uma modelagem simplificada, esse exercício faz uso desse recurso. Logo, muitas das variáveis adotadas correspondem ao valores de *default* e não devem ser alteradas.

O 'Caso base' é descrito com uma edificação localizada no Rio de Janeiro. Portanto, sugere-se o uso do clima riotry63 (corresponde ao arquivo climático do tipo TRY, 1963). As demais variáveis da pasta '*Project'* são as de *default* (Fig. 13):

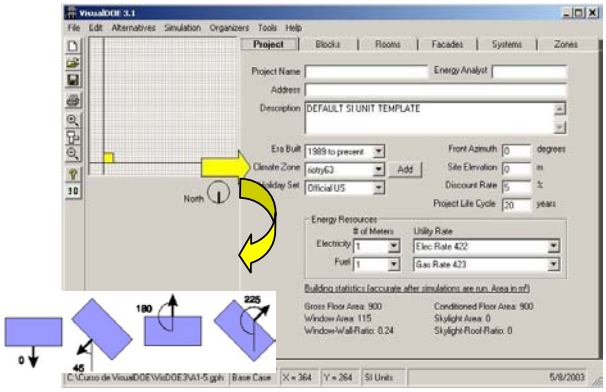


Fig. 13 – Pasta '*Project'*.

- a edificação é recente ('*era build'*);
- adota-se os feriados norte-americanos ('*holyday set'*)
- orientação da fachada principal é 0° ('*front azimut*h');
- diferença de altura em relação ao nível do mar é 0m ('*site elevation*');
- taxa de desconto que pode ser usada no cálculo de custo de ciclo de vida é de 5% ('*discount rate*');
- o ciclo de vida para cálculo de ganhos com estratégias de redução de consumo é de 20 anos ('*Project life cycle*').

O 'Caso base' tem apenas um pavimento ('*Level'*), com uma única zona ('*Zoning'*) de dimensões 30m x 30m ('*Widht'* e '*Depth'*) e a altura de piso à piso é 4 m ('*Floor to Floor Ht'*). Sua cobertura ('*Roof*') é do tipo 'concreto e gesso' (U=0.94 W/(m²K)). O piso ('*Floor'*) é concreto em contato com o solo: '*simulated slab'* . Por se tratar de um único andar e sem repartições, não há influência das variáveis do piso entre andares ('*internal floor'*) e paredes entre zonas ('*partitions'*). O modelo também não tem pleno ('*Plenun'*).

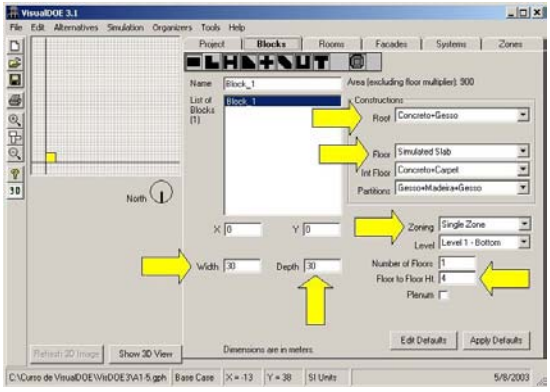


Fig. 14 – Pasta '*Blocks'*.

É importante ressaltar que essa apostila apresenta os valores de transmitância térmica calculados segundo a norma "*Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações*" (ABNT 2003), disponível no endereço: http://www.labeee.ufsc.br/conforto/termica.html. Dessa forma, a transmitância é resultado do cômputo da resistência térmica equivalente dos materiais, das resistências superficial externa e da superficial interna. Por outro lado, o VisualDOE apresenta valores um pouco diferentes (Fig. 15) porque não considera a resistência superficial externa no cômputo geral, haja visto que é variável e dependente das características do vento.

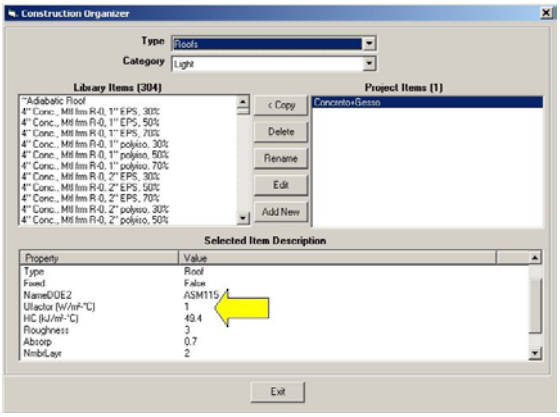


Fig. 15 – Transmitância térmica do componente construtivo segundo o VisualDOE.

A zona tem uma densidade de iluminação (LPD) de 21,53 W/m², sendo que toda a luz é usada diretamente na zona ('*light to space*' = 1). A densidade de equipamentos é de 8,07 W/m² e a densidade de pessoas equivale à 25,55 m² para cada pessoa. A zona é condicionada, o uso é típico de escritórios ('*office*') e a infiltração de ar equivale à 0,20 trocas de volume de ar por hora. Não há *skylight*, tampouco aproveitamento de luz natural.

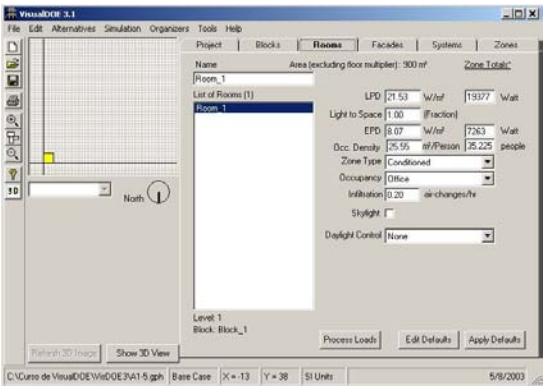


Fig. 16 – Pasta '*Rooms*'.

As quatro fachadas são iguais e todas são modeladas através da caracterização de módulos ou '*bays*'(partes da fachada que se repetem). Por exemplo, uma fachada com quatro janelas de mesmo tamanho pode ser interpretado com uma fachada com quatro '*bays*', sendo que cada um possui uma janela. As características do módulos que se repetem ('*bays*') são:

- paredes de concreto e gesso (U = 1.89 W/(m²K));
- vidro simples de 6mm;
- largura do módulo de 2,5 m;
- altura do parapeito da janela de 1,0 m.

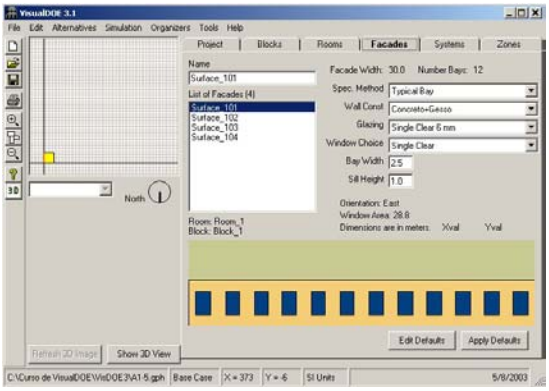


Fig. 17 – Pasta '*Facade*'.

Devido ao caráter técnico dos sistemas de ar condicionado e aquecimento de água para essa fase de abordagem, a única intervenção do modelador é a caracterização de um único sistema para toda a edificação: '*One System for Building'* (Fig. 18).

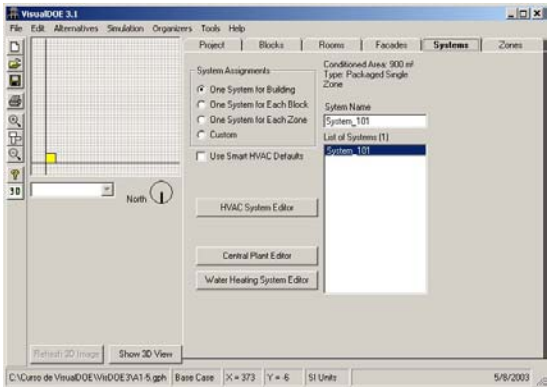


Fig. 18 – Pasta '*Systems'*.

O sistema de termostato é do tipo 'ação reversa'('*Thermostat type'*). Permite-se que a temperatura varie 2° em torno do *set-point* ('*Throttling range'*). O modelo é indiferente à variável '*Min Flow Ratio'* por que o ar condicionado foi definido (por *default*) como um sistema que insufla ar à volume constante. O suprimento de ar é automaticamente calculado pelo programa: '*Let Program Size'*. Atribui-se uma renovação mínima de ar externo de 0,5 volumes/hora.

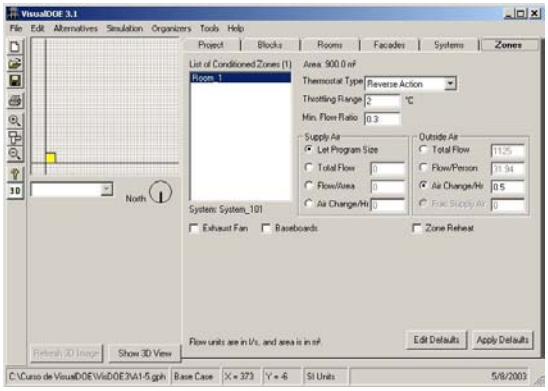
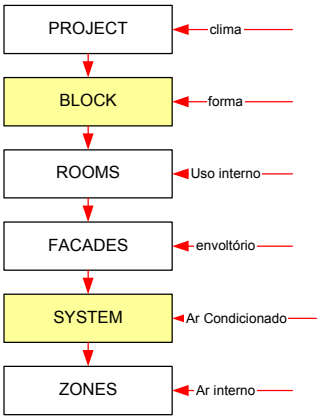


Fig. 19 – Pasta '*Zones'*.

3 MODELAGEM DO CASO BASE

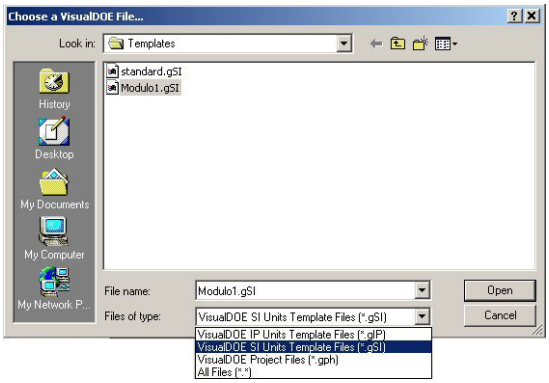


Objetivo: demonstração rápida dos processos de modelagem, simulação e análise de resultados com base nos dados originais do *template.*

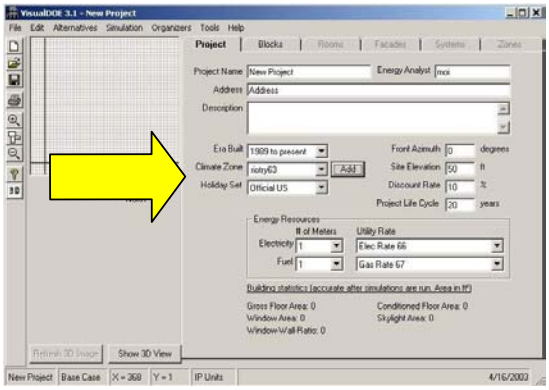
Procedimentos básicos: caracterização de um bloco simplificado, uso generalizado de *defaults*, simulações e análises de resultados.

3.1 Escolha da unidade dimensional e definição do template

- escolha um novo modelo: ***File ⇒ New;***

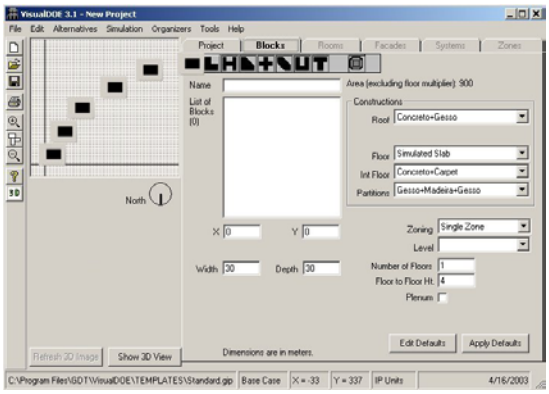


- escolha um arquivo do tipo gSI para trabalhar com "Unidade Internacional": ***Files of type ⇒ gSI;***
- escolha o template "Modulo1.gSI": ***Modulo1.dSI ⇒ Open;***



3.2 Pasta 'Project'

- escolher o clima pertinente ao projeto (sugere-se que os arquivos climáticos não originais da instalação do programa sejam copiados para o diretório: \GDT\Weather);
- conferir os valores assumidos: clima 'riotry63'.

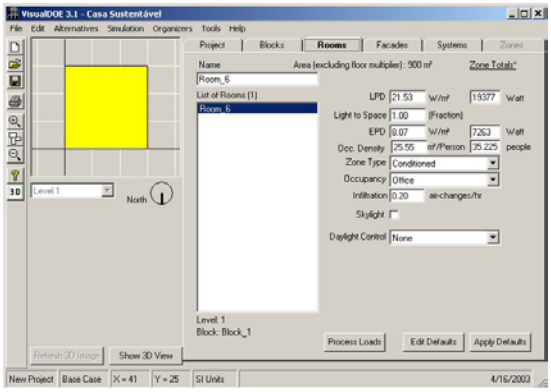


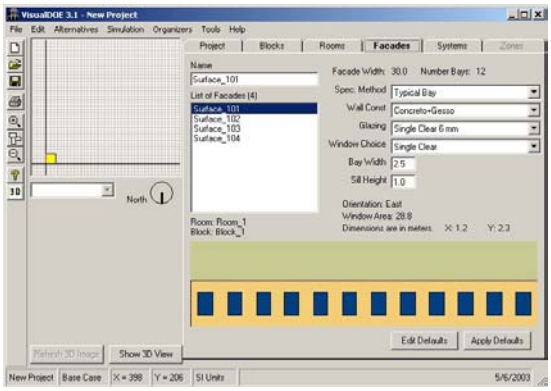
Obs: funções úteis da barra vertical à esquerda:

: mostra todo o bloco usando a maior área possível;

: aumentar a visualização;

: apresenta o modelo em 3-D.





3.3 Pasta 'Block'

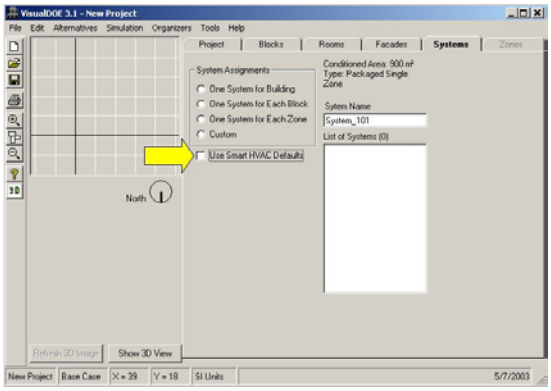
- criação do bloco: arrastar (com o *mouse*) o primeiro ícone até o campo quadriculado (soltando o *mouse* ao chegar próximo aos vértices);
- conferir os *defaults*:
  - área: 30m x 30m;
  - cobertura: 'Concreto+Gesso';
  - piso: 'Simulated Slab';
  - única zona;
  - apenas um piso;
  - altura de piso à piso: 4m;
  - sem pleno.

3.4 Pasta 'Room'

- conferir os *defaults*:
  - LPD: 21,53 W/m² ('*light...*'=1);
  - EPD: 8,07 W/m²;
  - densidade de ocupação: 25,95m²/pessoa;
  - ocupação: 'office';
  - infiltração: 0,20 trocas/hora.

3.5 Pasta 'Facade'

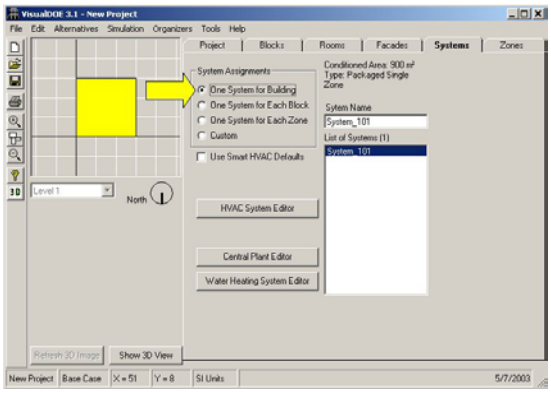
- conferir os *defaults*:
  - uso de '*bays*' ('*Spec. Method*'= '*Typical Bay*')
  - parede: 'Concreto+Gesso';
  - vidro: '*Single Clear 6mm*';
  - janela: '*Single Clear*';
  - largura do '*bay*': 2,5m;
  - altura do parapeito da janela: 1,0m.



a)

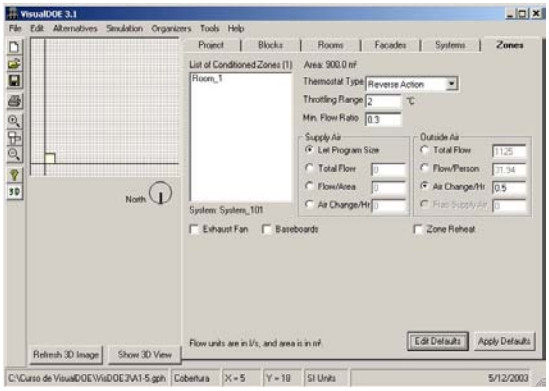
3.6 Pasta 'System'

a) desabilitar a opção *'Use Smart HVAC Defaults'*;



b)

b) adotar apenas um sistema para a edificação: '*One System for Building'*.



3.7 Pasta 'Zone'

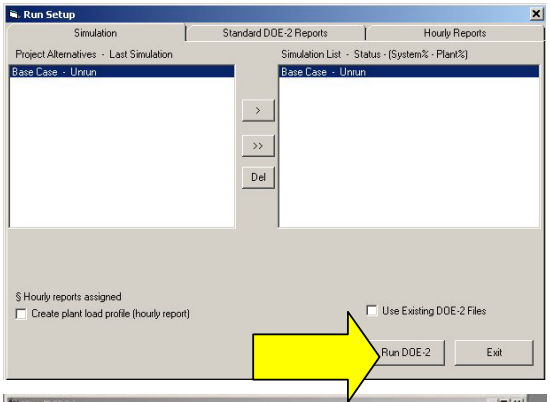
- conferir os *defaults*:
  - tipo de termostato: 'duas posições' ('*two Position'*);
  - faixa de variação do termostato: 2°C;
  - dimensionamento automático de insuflamento: '*Let Program Size*';
  - renovação de ar externo: 0,5 vol/hora.

3.8 Simulação

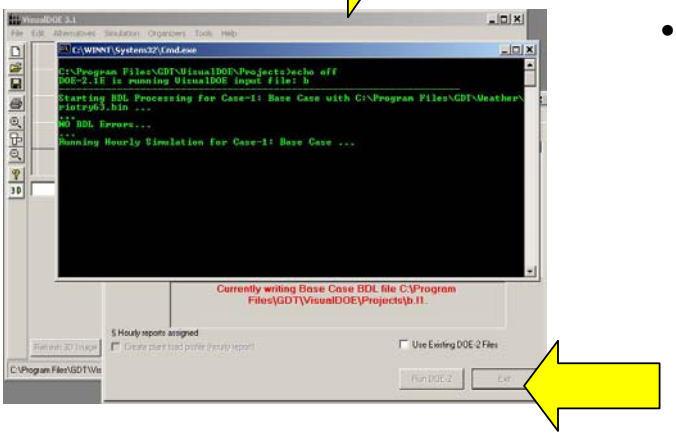
- salvar o arquivo:

  File (menu principal) ⇒ ***Save as;***

- abrir janela de execução: ***Simulation*** (menu principal) ⇒ ***Setup and Run;***



- executar a simulação: ***Run DOE-2;***



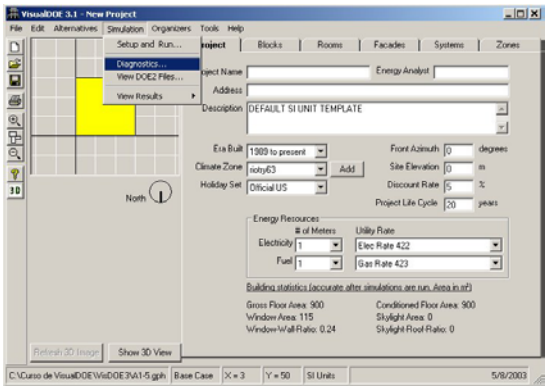
- após a conclusão do simulação em ambiente DOS, voltar à janela principal: ***Exit.***

3.9 Análise de Resultados

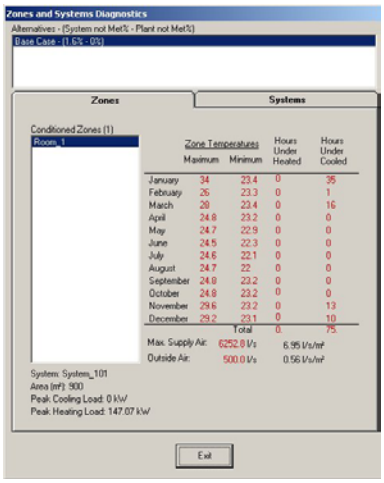
Há várias formas de analisar os resultados:

Diagnóstico:

a) ***Simulation*** (menu principal) ⇒ ***Diagnostics***

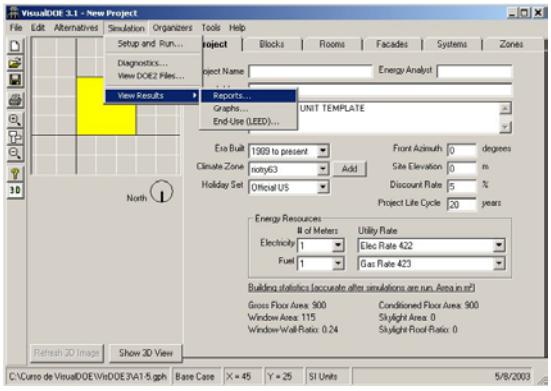


a)



b)

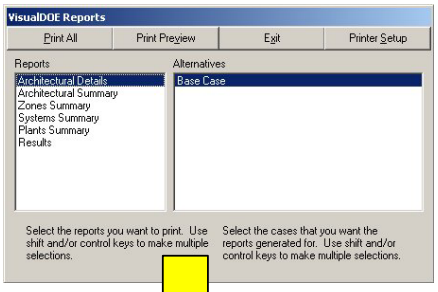
b) apresenta as freqüências de temperaturas, identificação de máximas e mínimas.



a)

Relatórios do VisualDOE:

a) relatórios emitidos pela interface do VisualDOE: ***Simulation*** (menu principal) ⇒ ***View Results*** ⇒ ***Reports***;

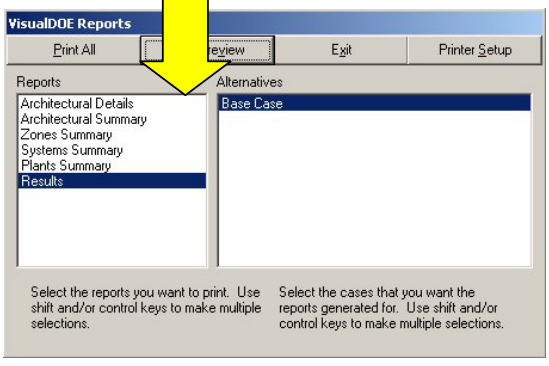


b)

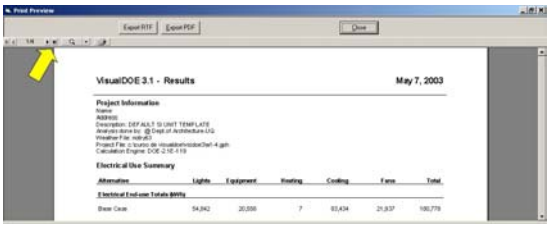
b) escolher os relatórios na lista da esquerda;

c) gerar uma pré-impressão: ***Print Preview***;

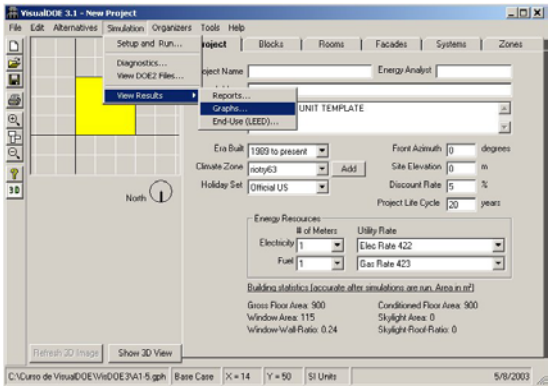
d) o avanço dos relatórios se dá no canto esquerdo superior (indicado por flecha na figura a seguir).



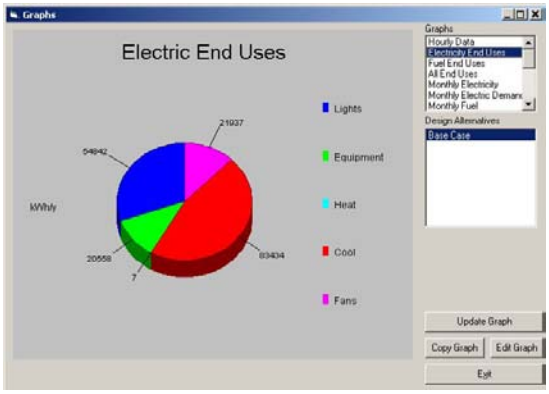
c)



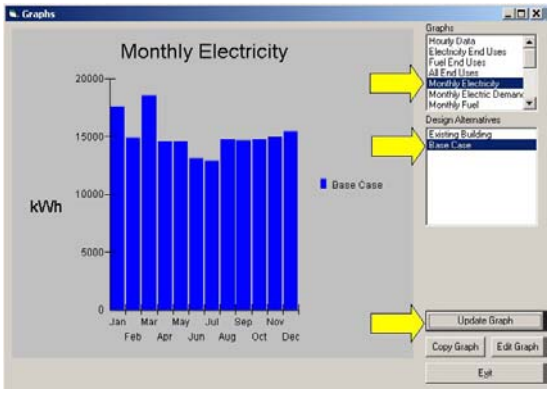
d)



a)



b)

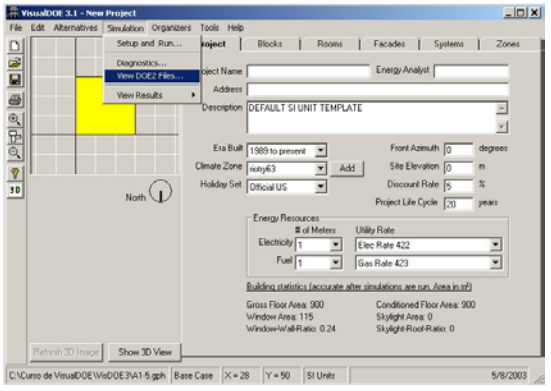


Gráficos do VisualDOE

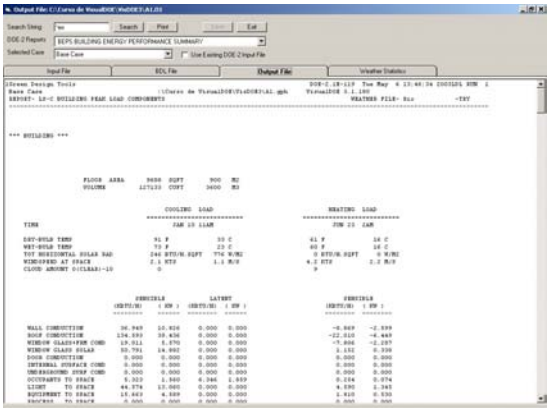
a) gráfico tipo 'pizza' (*default*): ***Simulation*** (menu principal) ⇒ ***View Results*** ⇒ ***Graphs;***

b) gráfico do consumo por uso final, total anual: automático;

c) gráfico de consumo de energia mensal: ***Monthly Electricity*** ⇒ ***Base Case*** ⇒ ***Update Graph.***



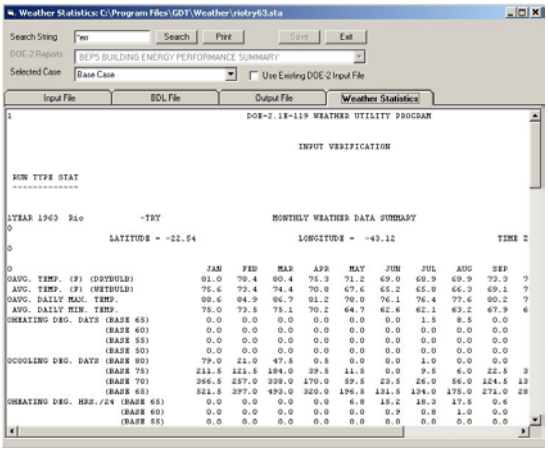
a)


b)

Arquivos do DOE-2.1E

a) ***Simulation*** (menu principal) ⇒ ***View DOE2 Files;***

b) é possível conferir o arquivo de entrada gerado pelo VisualDOE (*Input File*), o arquivo de entrada para o DOE2.1E (*BDL File*), o arquivo de relatórios da simulação (*Output File*) e o relatório do clima (*Weather Statistics*).



b)

O relatório LS-C (Fig. 20) apresenta os picos de cargas térmicas de resfriamento e de aquecimento (apresentado a seguir). Para a simulação desse projeto com o clima do Rio de Janeiro (TRY, try63), observa-se que:

- o pico de carga térmica de resfriamento ocorre no dia 10 de janeiro, às 11:00 horas;
- o pico ocorre para temperaturas de 33°C (TBS) e 23°C (TBU);
- as principais cargas térmicas são, em ordem de importância: transmissão de calor por telhado, geração de calor pelo sistema de iluminação, transmissão de calor pela parede, geração interna de calor por equipamentos, radiação solar pelas janelas, geração interna de calor por ocupantes, condução de calor por janelas.

lGreen Design Tools DOE-2.1E-119 Tue May 6 13:46:34 2003LDL RUN
Base Case :\Curso de VisualDOE\VisDOE3\A1.gph VisualDOE 3.1.180
REPORT- LS-C BUILDING PEAK LOAD COMPONENTS WEATHER FILE- Rio -TRY

*** BUILDING ***

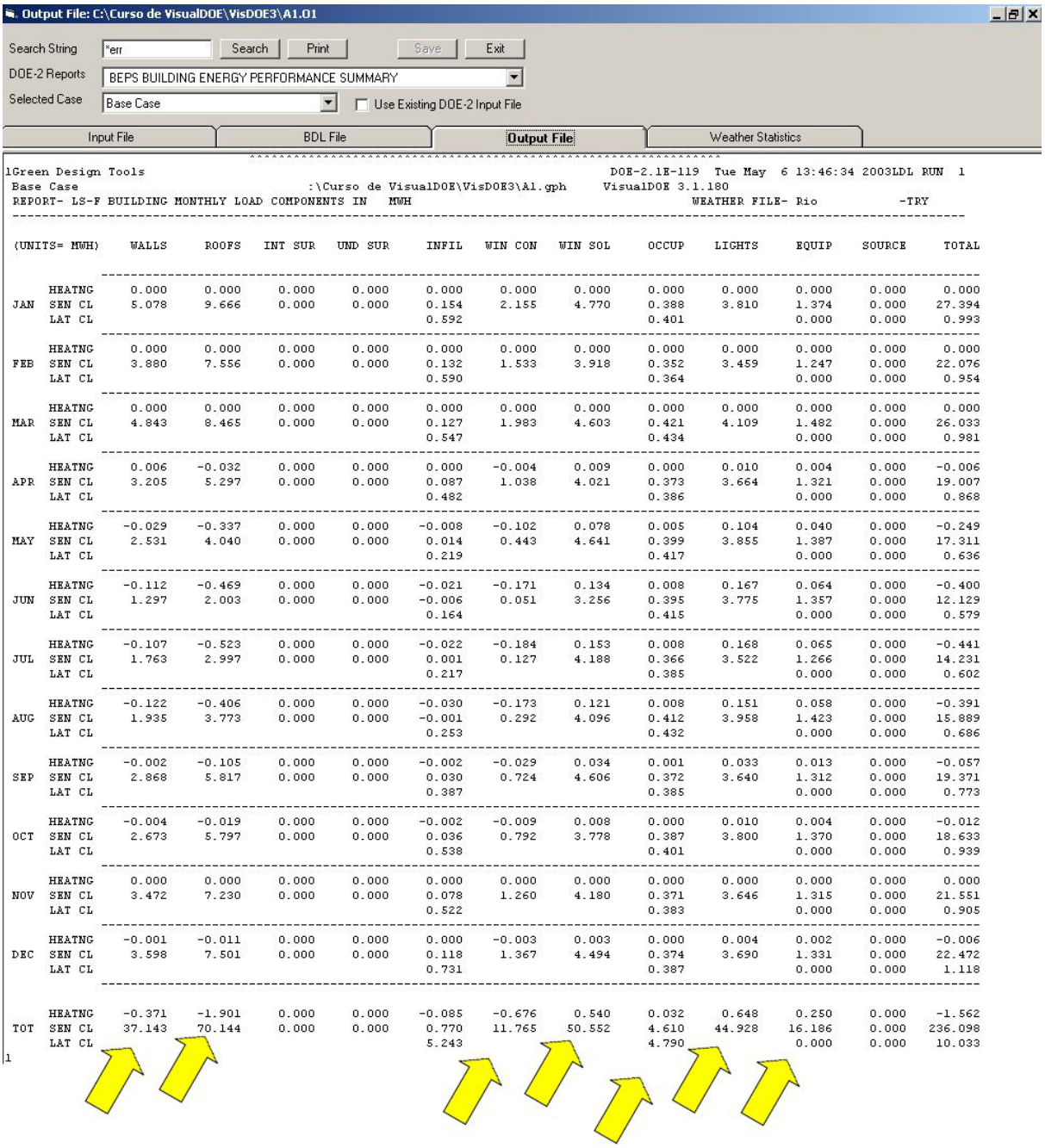
FLOOR AREA 9688 SQFT 900 M2
VOLUME 127133 CUFT 3600 M3

	COOLING LOAD		HEATING LOAD	
TIME	JAN 10 11AM		JUN 23 2AM	
DRY-BULB TEMP	91 F	33 C	61 F	16 C
WET-BULB TEMP	73 F	23 C	60 F	16 C
TOT HORIZONTAL SOLAR RAD	246 BTU/H.SQFT	776 W/M2	0 BTU/H.SQFT	0 W/M2
WINDSPEED AT SPACE	2.1 KTS	1.1 M/S	4.2 KTS	2.2 M/S
CLOUD AMOUNT 0(CLEAR)-10	0		9	

	SENSIBLE (KBTU/H)	SENSIBLE (KW)	LATENT (KBTU/H)	LATENT (KW)	SENSIBLE (KBTU/H)	SENSIBLE (KW)
WALL CONDUCTION	36.949	10.826	0.000	0.000	-8.869	-2.599
ROOF CONDUCTION	134.593	39.436	0.000	0.000	-22.010	-6.449
WINDOW GLASS+FRM COND	19.011	5.570	0.000	0.000	-7.806	-2.287
WINDOW GLASS SOLAR	50.791	14.882	0.000	0.000	1.152	0.338
DOOR CONDUCTION	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
INTERNAL SURFACE COND	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
UNDERGROUND SURF COND	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
OCCUPANTS TO SPACE	5.323	1.560	6.346	1.859	0.254	0.074
LIGHT TO SPACE	44.574	13.060	0.000	0.000	4.590	1.345
EQUIPMENT TO SPACE	15.663	4.589	0.000	0.000	1.810	0.530
PROCESS TO SPACE	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
INFILTRATION	0.000	0.000	0.000	0.000	-1.988	-0.582
TOTAL	306.905	89.923	6.346	1.859	-32.867	-9.630
TOTAL / AREA	0.032	0.100	0.001	0.002	-0.003	-0.011
TOTAL LOAD	313.251 KBTU/H	91.782 KW			-32.867 KBTU/H	-9.630 KW
TOTAL LOAD / AREA	32.34 BTU/H.SQFT	101.980 W/M2			3.393 BTU/H.SQFT	10.700 W/M2

Fig. 20. Detalhe do relatório LS-C para Rio de Janeiro (Riotry63)

O relatório LS-F (Fig. 21) apresenta a carga térmica integrada mês à mês. Para o clima do Rio de Janeiro, observa-se que as fontes de cargas térmicas mais influentes se assemelham às de pico: cobertura, janela (radiação), iluminação, paredes, equipamentos, janela (condução), ocupação e infiltração.



1Green Design Tools DOE-2.1E-119 Tue May 6 13:46:34 2003LDL RUN 1
Base Case :\Curso de VisualDOE\VisDOE3\A1.gph VisualDOE 3.1.180
REPORT- LS-F BUILDING MONTHLY LOAD COMPONENTS IN MWH WEATHER FILE- Rio -TRY

(UNITS= MWH)		WALLS	ROOFS	INT SUR	UND SUR	INFIL	WIN CON	WIN SOL	OCCUP	LIGHTS	EQUIP	SOURCE	TOTAL
	HEATNG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
JAN	SEN CL	5.078	9.666	0.000	0.000	0.154	2.155	4.770	0.388	3.810	1.374	0.000	27.394
	LAT CL					0.592			0.401		0.000	0.000	0.993
	HEATNG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
FEB	SEN CL	3.880	7.556	0.000	0.000	0.132	1.533	3.918	0.352	3.459	1.247	0.000	22.076
	LAT CL					0.590			0.364		0.000	0.000	0.954
	HEATNG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
MAR	SEN CL	4.843	8.465	0.000	0.000	0.127	1.983	4.603	0.421	4.109	1.482	0.000	26.033
	LAT CL					0.547			0.434		0.000	0.000	0.981
	HEATNG	0.006	-0.032	0.000	0.000	0.000	-0.004	0.009	0.000	0.010	0.004	0.000	-0.006
APR	SEN CL	3.205	5.297	0.000	0.000	0.087	1.038	4.021	0.373	3.664	1.321	0.000	19.007
	LAT CL					0.482			0.386		0.000	0.000	0.868
	HEATNG	-0.029	-0.337	0.000	0.000	-0.008	-0.102	0.078	0.005	0.104	0.040	0.000	-0.249
MAY	SEN CL	2.531	4.040	0.000	0.000	0.014	0.443	4.641	0.399	3.855	1.387	0.000	17.311
	LAT CL					0.219			0.417		0.000	0.000	0.636
	HEATNG	-0.112	-0.469	0.000	0.000	-0.021	-0.171	0.134	0.008	0.167	0.064	0.000	-0.400
JUN	SEN CL	1.297	2.003	0.000	0.000	-0.006	0.051	3.256	0.395	3.775	1.357	0.000	12.129
	LAT CL					0.164			0.415		0.000	0.000	0.579
	HEATNG	-0.107	-0.523	0.000	0.000	-0.022	-0.184	0.153	0.008	0.168	0.065	0.000	-0.441
JUL	SEN CL	1.763	2.997	0.000	0.000	0.001	0.127	4.188	0.366	3.522	1.266	0.000	14.231
	LAT CL					0.217			0.385		0.000	0.000	0.602
	HEATNG	-0.122	-0.406	0.000	0.000	-0.030	-0.173	0.121	0.008	0.151	0.058	0.000	-0.391
AUG	SEN CL	1.935	3.773	0.000	0.000	-0.001	0.292	4.096	0.412	3.958	1.423	0.000	15.889
	LAT CL					0.253			0.432		0.000	0.000	0.686
	HEATNG	-0.002	-0.105	0.000	0.000	-0.002	-0.029	0.034	0.001	0.033	0.013	0.000	-0.057
SEP	SEN CL	2.868	5.817	0.000	0.000	0.030	0.724	4.606	0.372	3.640	1.312	0.000	19.371
	LAT CL					0.387			0.385		0.000	0.000	0.773
	HEATNG	-0.004	-0.019	0.000	0.000	-0.002	-0.009	0.008	0.000	0.010	0.004	0.000	-0.012
OCT	SEN CL	2.673	5.797	0.000	0.000	0.036	0.792	3.778	0.387	3.800	1.370	0.000	18.633
	LAT CL					0.538			0.401		0.000	0.000	0.939
	HEATNG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
NOV	SEN CL	3.472	7.230	0.000	0.000	0.078	1.260	4.180	0.371	3.646	1.315	0.000	21.551
	LAT CL					0.522			0.383		0.000	0.000	0.905
	HEATNG	-0.001	-0.011	0.000	0.000	0.000	-0.003	0.003	0.000	0.004	0.002	0.000	-0.006
DEC	SEN CL	3.598	7.501	0.000	0.000	0.118	1.367	4.494	0.374	3.690	1.331	0.000	22.472
	LAT CL					0.731			0.387		0.000	0.000	1.118
	HEATNG	-0.371	-1.901	0.000	0.000	-0.085	-0.676	0.540	0.032	0.648	0.250	0.000	-1.562
TOT	SEN CL	37.143	70.144	0.000	0.000	0.770	11.765	50.552	4.610	44.928	16.186	0.000	236.098
	LAT CL					5.243			4.790		0.000	0.000	10.033

1

Fig. 21. Detalhe do relatório LS-F para Rio de Janeiro (Riotry63).

4 ESTUDO DE ALTERNATIVAS

A adoção de alternativas para melhorar a eficiência do modelo se baseia na identificação das origens das cargas térmicas. Para facilitar essa identificação, a Tabela 1 apresenta uma comparação entre as cargas térmicas mais influentes durante o pico e durante os meses. A ordem de importância das fontes de cargas são similares. As diferenças ocorrem em nível de grandezas. Por exemplo, a carga térmica da cobertura é 2.7 vezes a da janela (radiação) durante o pico, entretanto é apenas 1.4 vezes durante o mês.

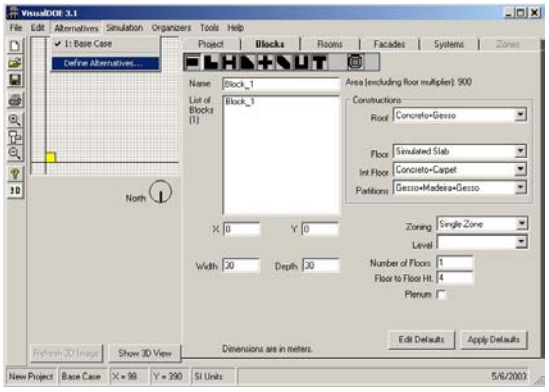
Tabela 1. Comparação entre pico e integrado mensal de cargas térmicas.

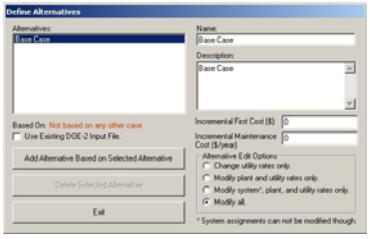
Principais fontes relacionadas ao pico de carga térmica (kW)			Principais fontes relacionadas à soma de cargas térmicas mensais (MWh)		
1	cobertura	39.4	**1**	cobertura	70.1
2	janela (radiação)	14.9	**2**	janela (radiação)	50.6
3	iluminação	13.1	**3**	iluminação	44.9
4	paredes	10.8	**4**	paredes	37.1
5	janela (condução)	5.67	**5**	equipamentos	16.2
6	equipamentos	4.69	**6**	janela (condução)	11.8
7	ocupação	3.4	**7**	ocupação	9.4
8	infiltração	0	**8**	infiltração	6.0

A seguir, propõe-se alguns exercícios: são alternativas para aumentar a eficiência energética do modelo. A escolha é baseada na influência dessas variáveis sobre o desempenho e o nível de dificuldade para modelá-las:

1. isolamento da laje de cobertura;
2. substituição dos vidros das janelas por um mais eficiente;
3. uso de iluminação natural combinada com artificial;
4. uso de iluminação eficiente com a redução de potência instalada;
5. uso de ar condicionado eficiente;
6. uso de ventilação natural;
7. isolamento das paredes;
8. mudança da temperatura do ar condicionado.

Os resultados das simulação são apresentadas nas últimas páginas (seção ‘Resultados finais’, página 30).


a)

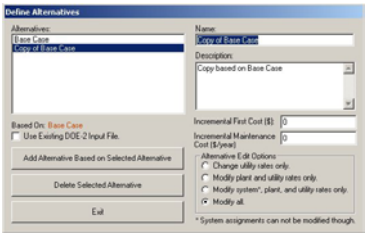

b)

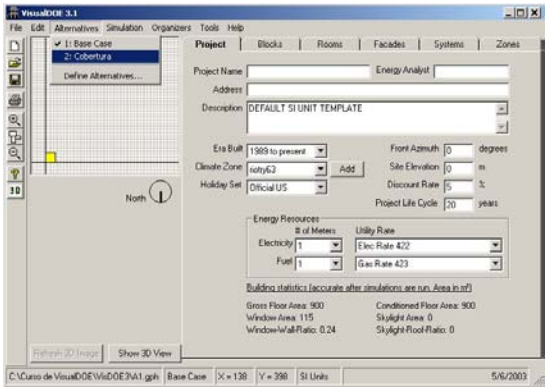
4.1 Criação de alternativas

a) ***Alternatives*** (menu principal) ⇒ ***Define alternatives;***

b) clique no botão **'***Add alternatives based on Selected Alternative'* (caso haja outros modelos além do 'Base Case', marque o modelo antes de pressionar o botão);

c) na lacuna '*Name'*, apague o nome gerado automaticamente '*Copy of....'* e rescreva o nome da alternativa: ex, 'cobertura'

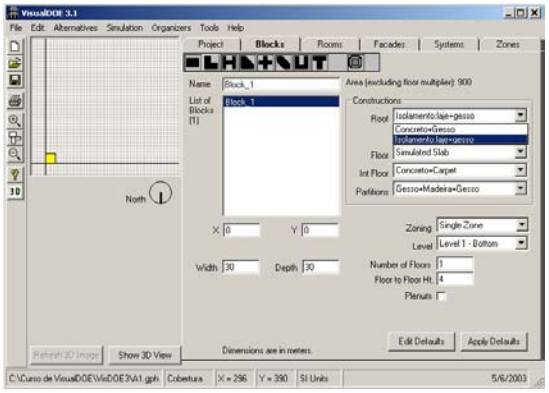

c)



4.2 Escolha da alternativa

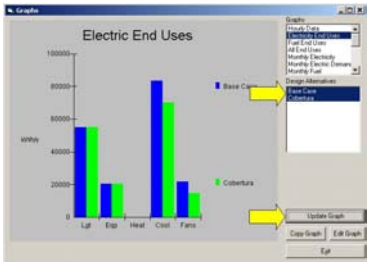
- disponível na função '*Alternatives'* (menu principal)

5 ALTERNATIVAS

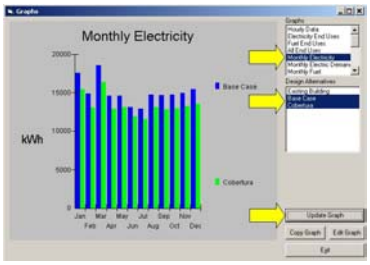


5.1 Isolamento na cobertura

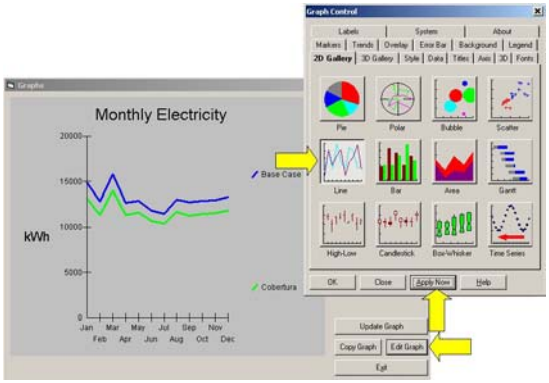
- na pasta '*blocks'*, lacuna '*roof*' opte pela alternativa 'Isolamento: laje+gesso' (U=0.18 W/(m²K));
- execute a simulação (página 10, tópico 'Simulação');
- obs: recomenda-se que o arquivo seja salvo a cada alteração significativa do modelo.



a)



b)



c)

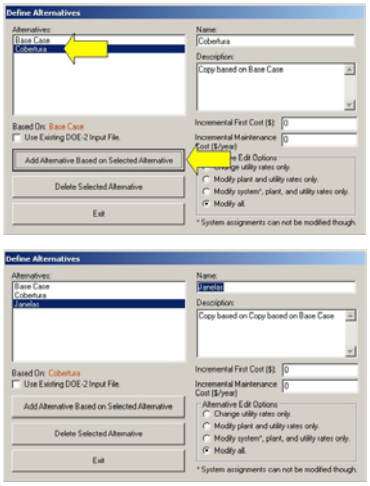
Análise do impacto

- conforme item 'Gráficos do VisualDOE' (página 13): ***Simulation*** (menu principal) ⇒ ***View Results*** ⇒ ***Graphs***

a) para comparar os usos finais de energia, na janela '*Design Alternatives'*, marque os dois modelos simulados e clique sobre 'Update Graph';

b) para comparar o consumo de energia mensal entre os modelos, marque a opção 'Monthly Electricity' (janela '*Graphs'*), marque os dois modelos simulados (janela '*Design Alternatives'*) e clique sobre '*Update Graph'*. Obs: ignore a opção '*Existing Building';*

c) para uma melhor apreciação, altere a apresentação do gráfico: botão '***Edit Graph'*** ⇒ ***Line*** ⇒ ***'Apply Now'.***

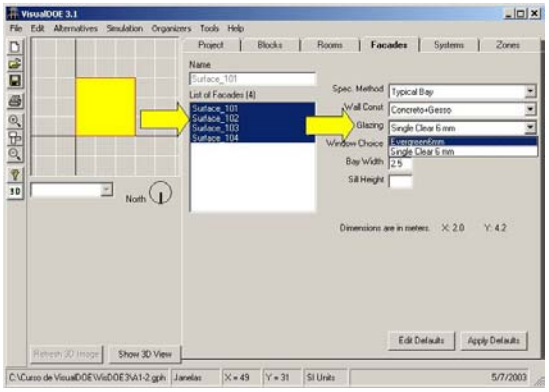


a)

5.2 Substituição dos vidros das janelas

a) como essa alternativa se soma à anterior, derive uma alternativa a partir do modelo 'Cobertura':

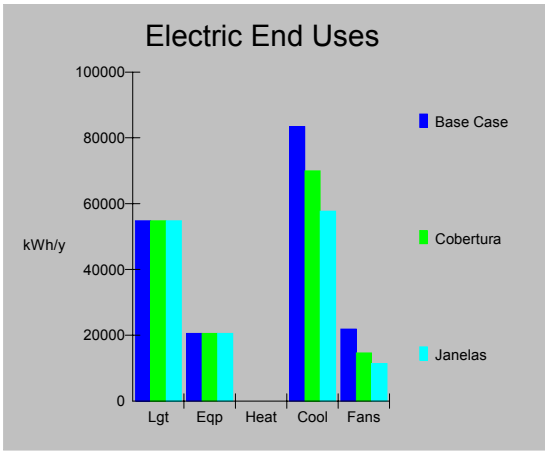
- ***Alternatives*** (menu principal) ⇒ ***Define alternatives;***
- marque a alternatica 'Cobertura';
- clique no botão ***'Add alternatives based on Selected Alternative';***
- nomeie o modelo como 'Janelas'.



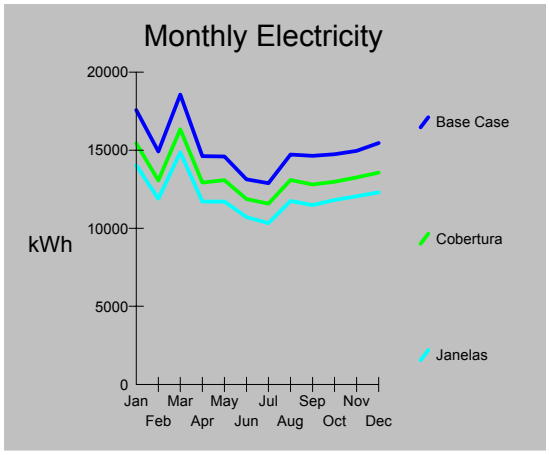
b)

b) na pasta '*Facades'*, marque todas as fachadas ('*List of facades'*); na lacuna 'Glazing', escolha a opção '*Evergree6mm*[2]';

c) salvar o arquivo, simular e comparar o impacto.

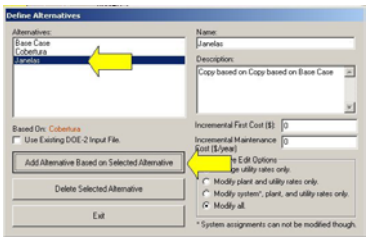


c)

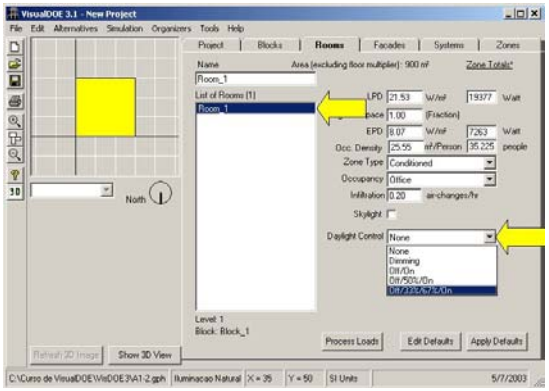


c)

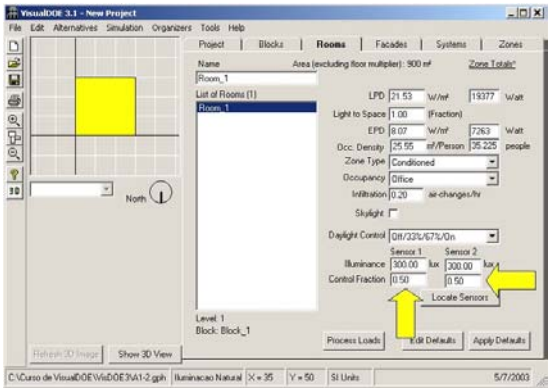
[2] 'Evergreen' é um produto da G.James Pty Ltd, recentemente difundido em edificações eficientes. Sua cor é esverdeada, a fração de luz visível transmitida é 0.160 (0.881 para o vidro simples) e o SHGC é 0.280 (0.815 para o vidro simples). Sua transmitância térmica (U) é 5.3 W(/m²K) (6.170 para o vidro simples).



a)



b)



c)

5.3 Iluminação natural

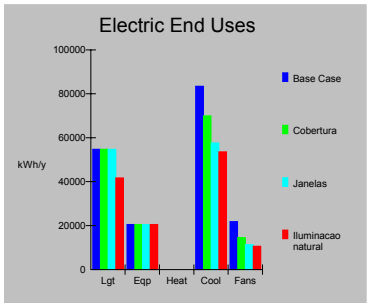
a) como essa alternativa também se soma à anterior, derive uma alternativa a partir do modelo 'Janela':

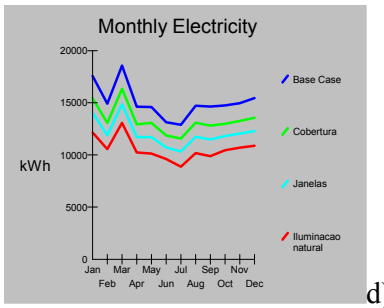
- ***Alternatives*** (menu principal) ⇒ ***Define alternatives***
- marque a alternatica 'Janela';
- clique no botão ***'****Add alternatives based on Selected Alternative****';***
- nomeie o modelo como 'Iluminacao Natural'

b) na pasta '*Rooms'*, marque a única opção '*Room_1*' ('*List of Rooms(1)'*); na lacuna '*Daylight Control'*, escolha a opção '*Off/33%/67%/On*[3]'

c) nas lacunas '*Control Fraction'*, preencha com valores 0.50 em cada[4]

d) salvar o arquivo, simular e comparar os resultados

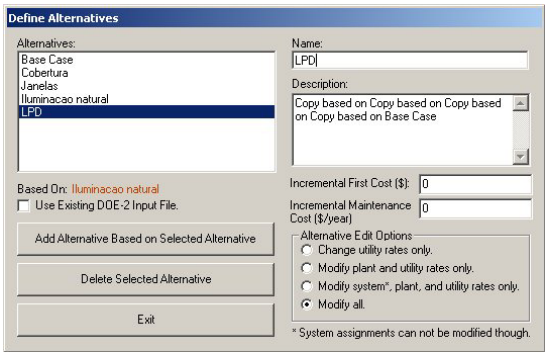




d)

[3] Corresponde ao acionamento das lâmpadas: todas apagadas, 1/3 ligadas, 2/3 ligadas ou todas as lâmpadas ligadas.

[4] Significa que cada sensor (há dois em cada zona) controla 50% do sistema de iluminação artificial.



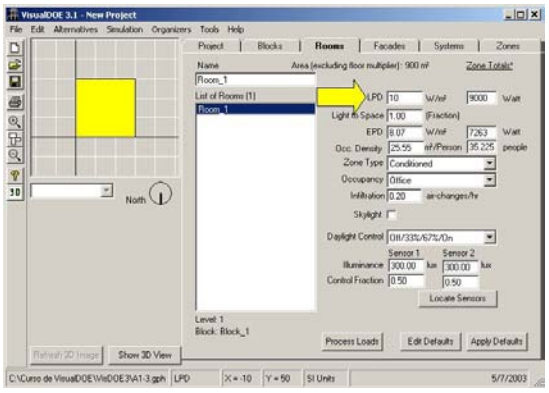
5.4 Densidade de iluminação artificial (LPD)

a) derive uma alternativa a partir do modelo 'Iluminacao natural':

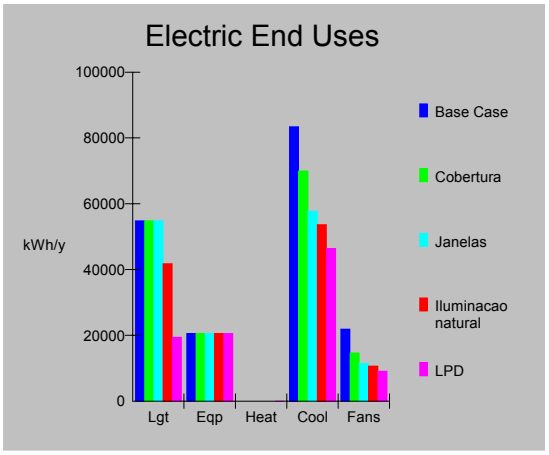
- ***Alternatives*** (menu principal) ⇒ ***Define alternatives***
- marque a alternativa 'Iluminacao Natural';
- clique no botão *'Add alternatives based on Selected Alternative';*
- nomeie o modelo como 'LPD'

b) na pasta '*Rooms'*, lacuna '*LPD'*, mude o valor de densidade de iluminação para 10 W/m² - certifique que o nome '*Room_1*' esteja marcado na janela '*List of Rooms (1)*';

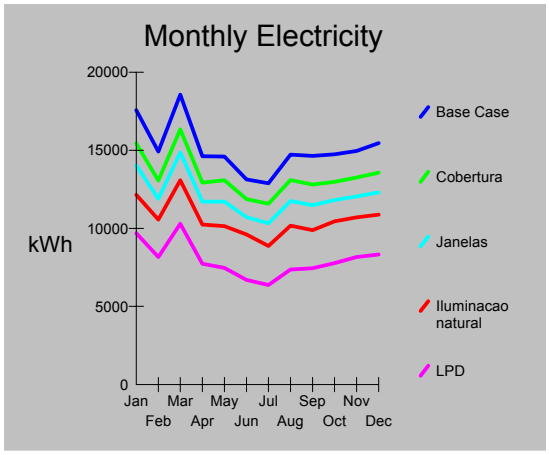
c) salve o arquivo, simule e analise os resultados.



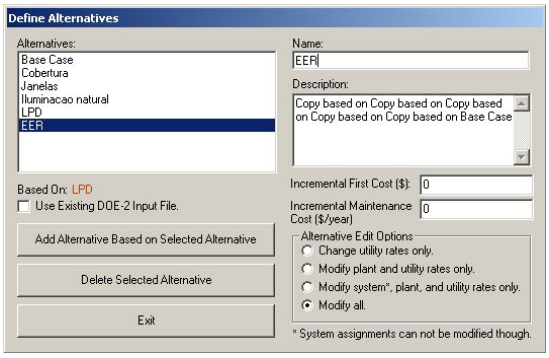
b)



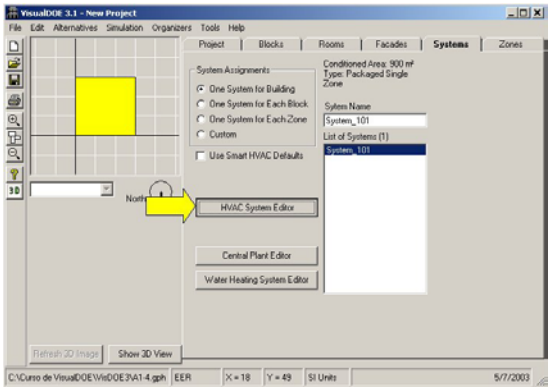
c)



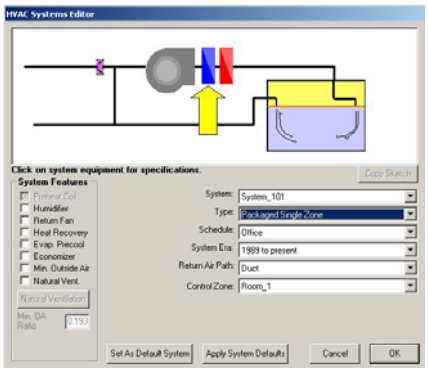
c)



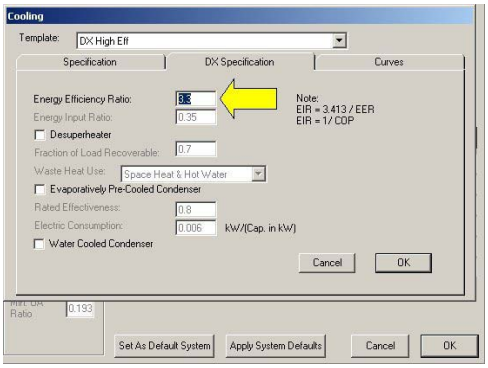
a)



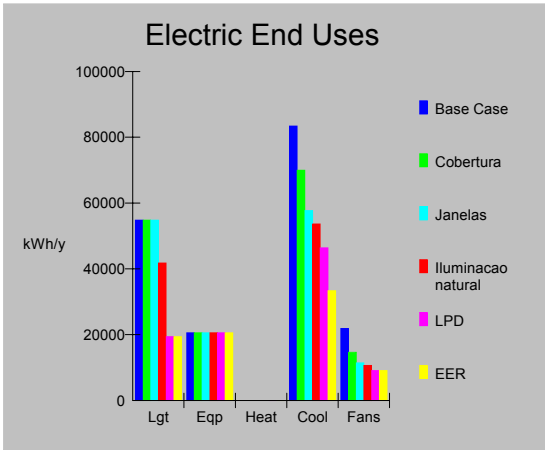
b)



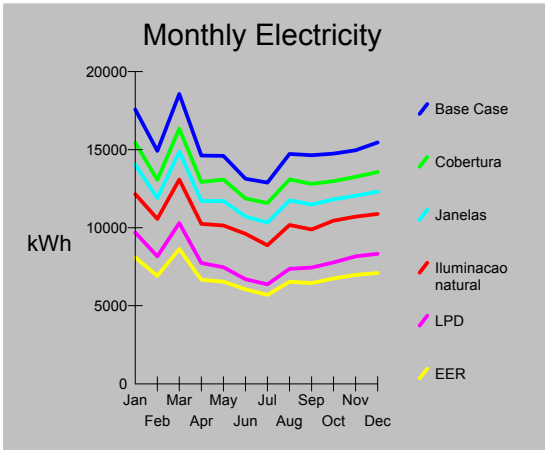
c)



d)



e)



e)

5.5 Eficiência do ar condicionado (EER)

a) Crie uma nova alternativa: ***Alternatives*** (menu principal) ⇒ ***Define alternatives;***
   - marque a alternatica 'LPD';
   - clique no botão *'Add alternatives based on Selected Alternative';*
   - nomeie o modelo como 'EER';

b) clique sobre o botão '*HVAC System Editor*';

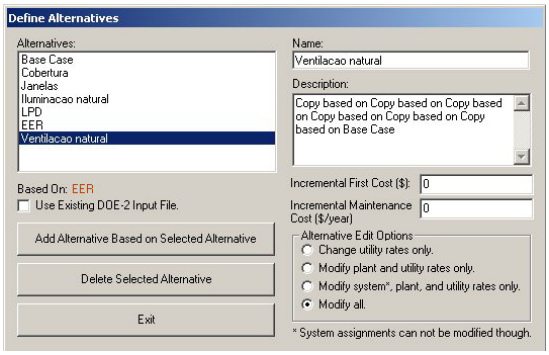
c) clique sobre o evaporador (indicado pela flecha);

d) na pasta '*DX Specification*', mude o '*Energy Efficiency Ratio*' de 2.345 para 3.30 W (resfriamento)/W (consumo);

e) salve o arquivo, simule e confira os resultados.

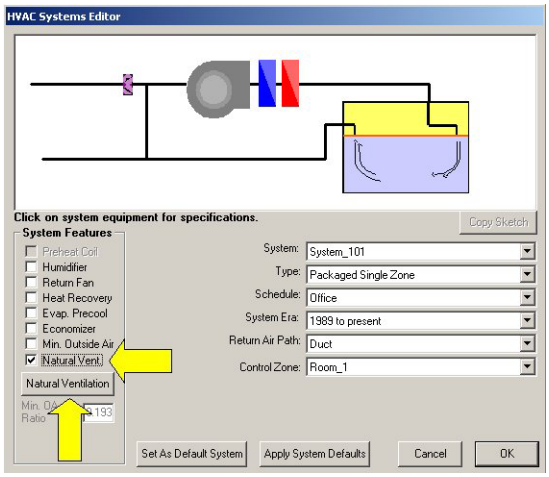
5.6 Ventilação natural

a) Crie uma nova alternativa chamada 'Ventilacao natural;'



a)

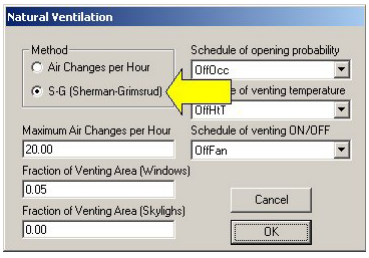
b) marque a opção '*Natural Vent'* e clique sobre o botão '*Natural Ventilation'*;



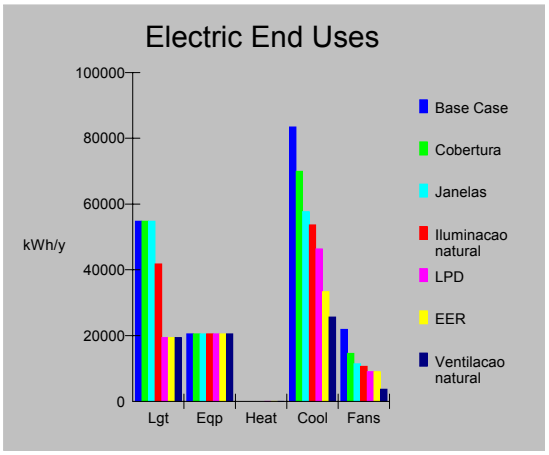
b)

c) no editor '*Natural Ventilation'*, opte pela alternativa '*S-G (sherman-Grimsrud)*';

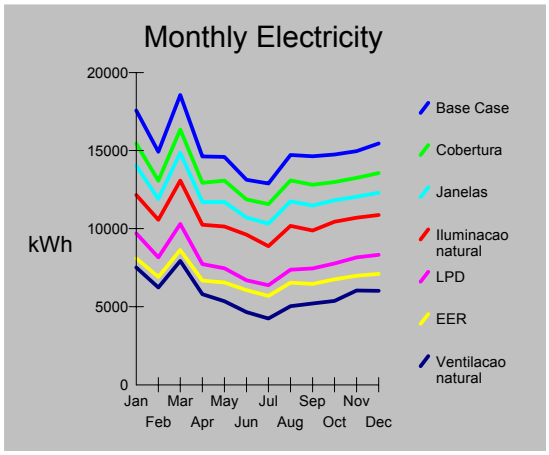
d) salve o arquivo, simule e compare os resultados.



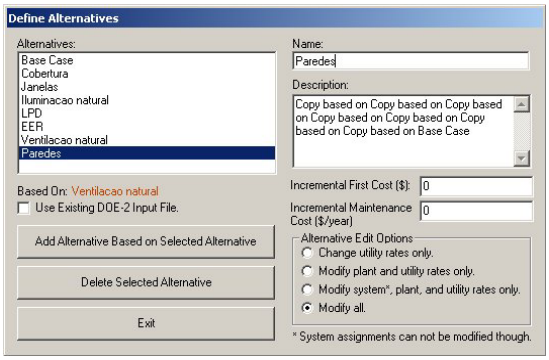
c)



d)



d)



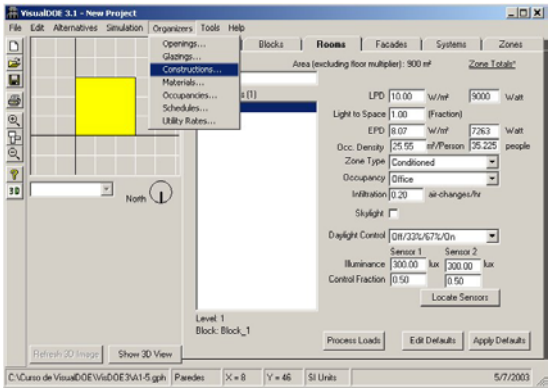
a)

5.7 Paredes

a) Crie uma nova alternativa: ***Alternatives*** (menu principal) ⇒ ***Define alternatives;***

- marque a alternativa 'Ventilacao natural';
- clique no botão *'Add alternatives based on Selected Alternative';*
- nomeie o modelo como 'Paredes'

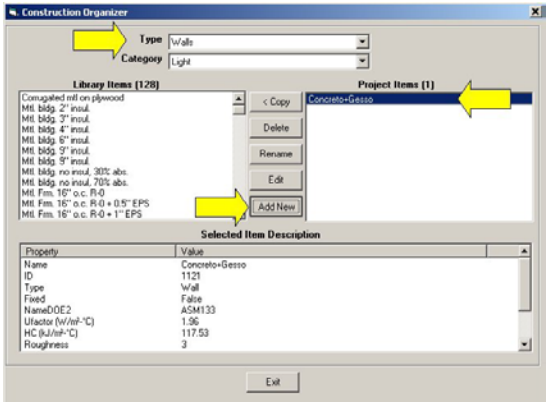
b) Migre para o editor de componentes construtivos: ***Organizer*** (menu principal) ⇒ ***Construction;***



b)

c) Crie uma nova parede a partir da existente:

- certifique que a lacuna '*Type'* se relacione à '*wall'*;
- na janela '*Project items (2)*', marque a parede existente**;**
- clique sobre o botão '*Add New'*

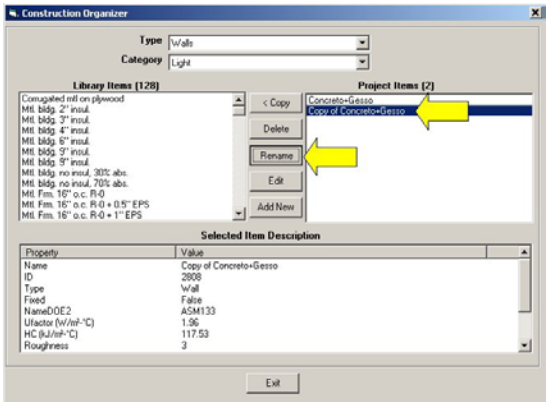


c)

d) mude o nome da nova parede:

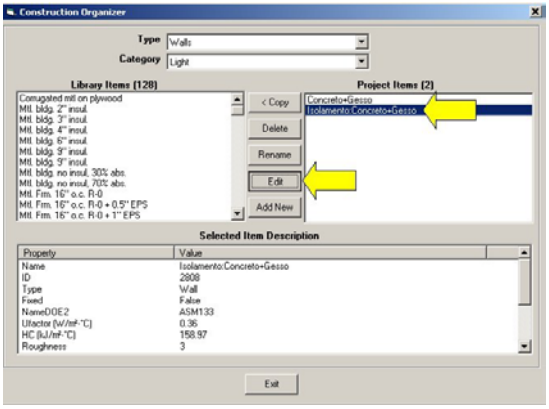
- na janela '*Project items (2)*', marque a nova parede;
- clique sobre o botão '*Rename';*

e) nomeie a parede como 'Isolamento: concreto+gesso' e volte para o editor '*Construction organizer';*



d)

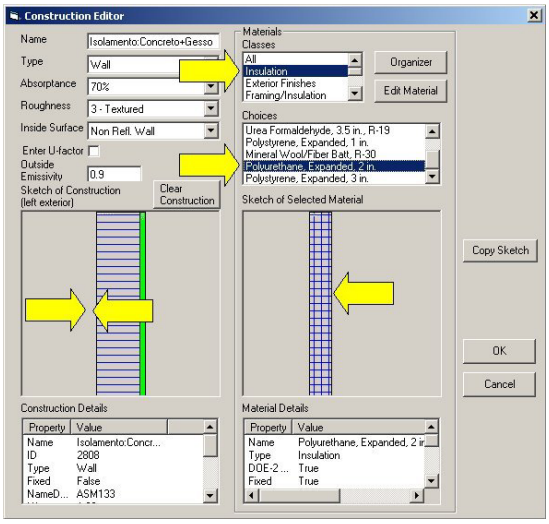
e)



f)

f) no editor '*Construction organizer'*:

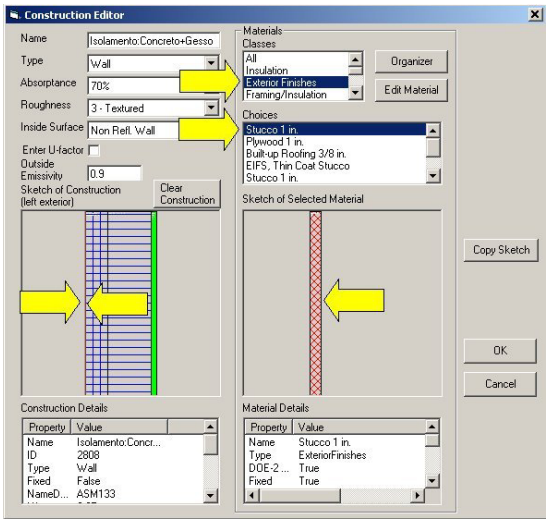
- marque a nova opção de parede (na janela '*Project items (2)*');
- clique sobre o botão '*Edit'*.



g)

g) no editor '*Construction editor'*:

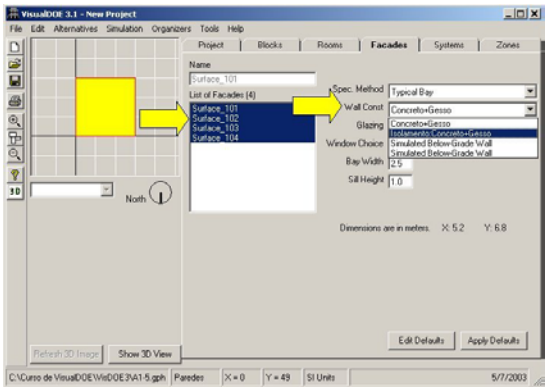
- na janela '*Classes*', marque a opção '*Insulation';*
- na janela '*choices'*, marque a opção '*Polyurethane expanded 2in';*
- na janela '*Sketch of Selected Material*', à direita, arraste o componente para à esquerda da '*Sketch of Construction'*.



h)

h) no editor '*Construction editor'*:

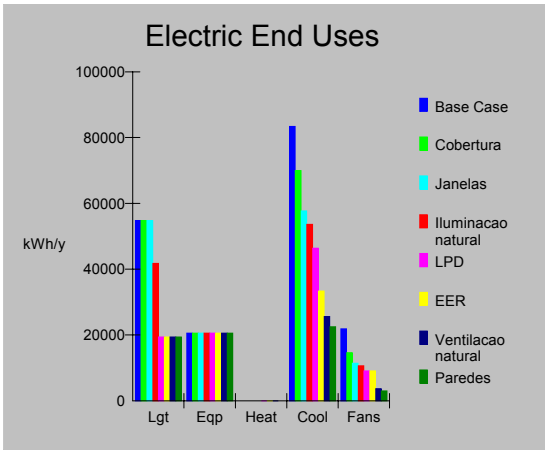
- na janela '*Classes*', marque a opção '*Exterior Finishes';*
- na janela '*choices'*, marque a opção '*Stucco 1in';*
- na janela '*Sketch of Selected Material*', à direita, arraste o componente para à esquerda da '*Sketch of Construction';*
- a nova parede passa a ter U=0.33 W/(m²K).



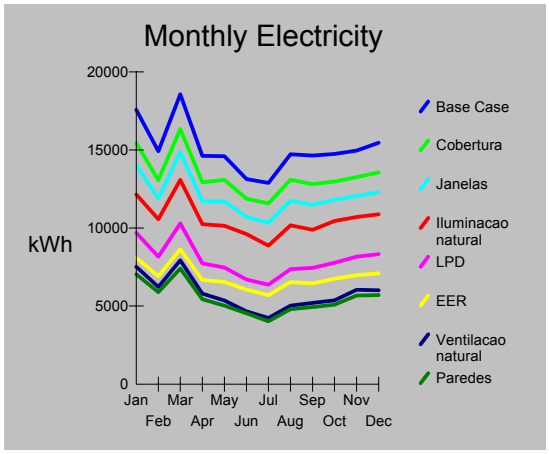
i) na pasta '*Facades'*, marque todas as fachadas ('*List of facades'*); na lacuna '*Wall Const'*, escolha a opção 'Isolamento:Concreto+Gesso';

j) salve o arquivo, simule e compare os resultados.

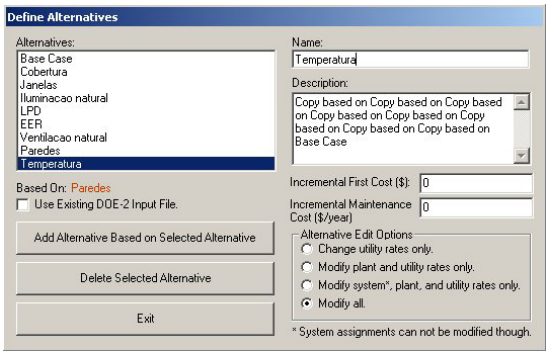
i)



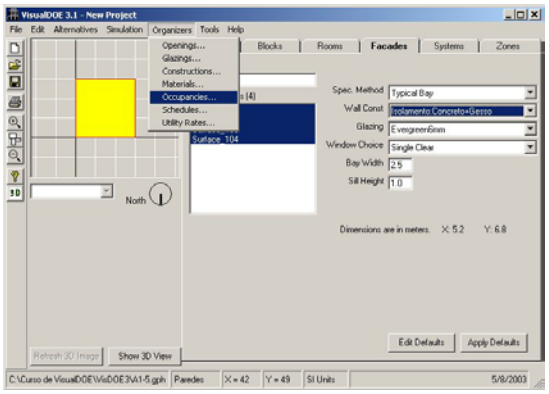
j)



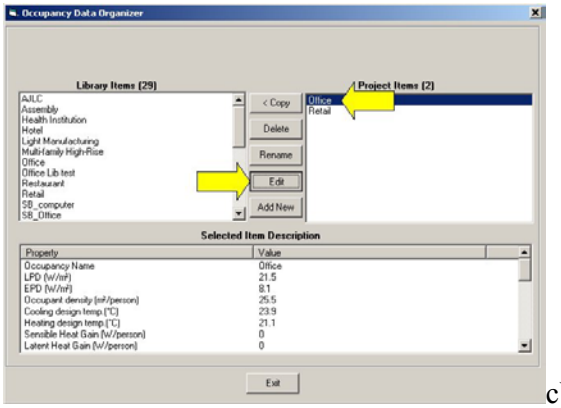
j)



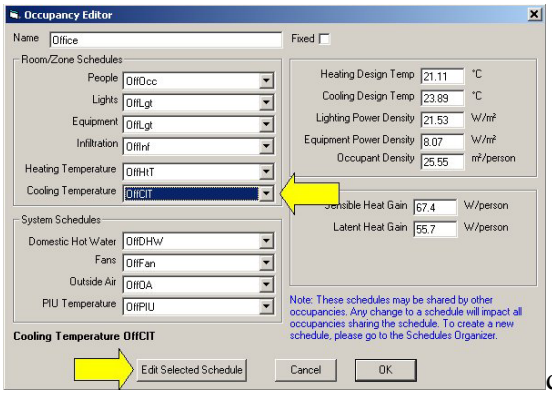
a)



b)



c)



d)

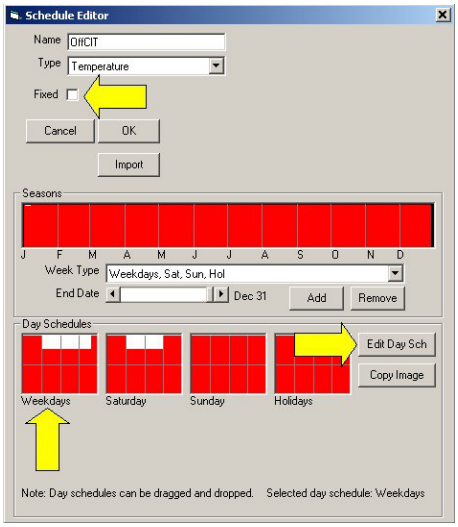
5.8 Temperatura interna de controle (set-point)

a) Crie uma nova alternativa: ***Alternatives*** (menu principal) ⇒ ***Define alternatives;***
   - marque a alternativa 'Paredes';
   - clique no botão *'Add alternatives based on Selected Alternative';*
   - nomeie o modelo como 'Temperatura'.

b) Migre para o editor de rotinas de ocupação: ***Organizer*** (menu principal) ⇒ ***Occupancies;***

c) edite a forma de ocupação em uso '*Office'*:
   - marque a alternativa '*Office'*;
   - clique sobre o botão '*Edit;*
   - Observação: ao editar a rotina, todos os modelos que a compartilham passarão a adotar a mudança, se simulados novamente.

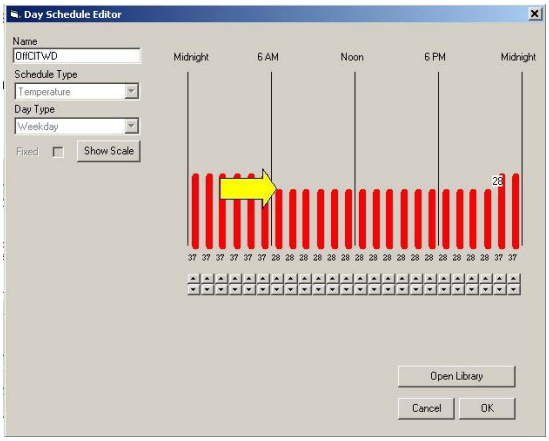
d) edite a rotina que controla o acionamento do ar condicionado:
   - na janela '*Room/Zone Schedules*', marque a lacuna '*Cooling Temperature';*
   - clique sobre o botão '*Edit Selected Schedule'*.



e)

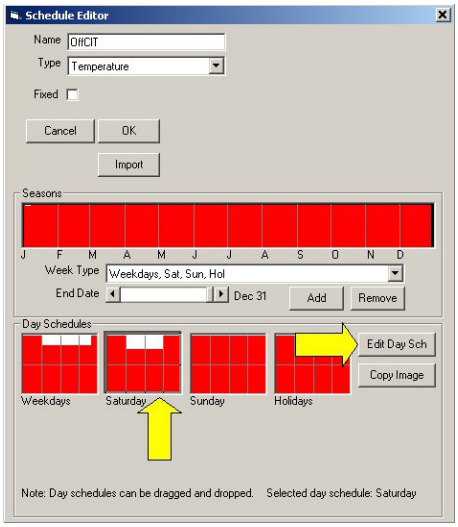
e) no editor '*Schedule Editor*':

- retire a marca sobre a lacuna '*Fixed*';
- clique sobre o quadro '*Weekdays'* para editar a rotina dos dias úteis;
- clique sobre o botão '*Edit Day Sch'*.



f)

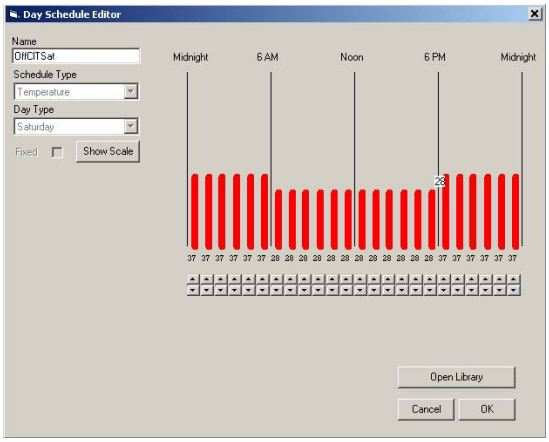
f) no editor '*Day Schedule Editor'*, altere as temperaturas de 24°C para 28°C, para o intervalo compreendido após 6:00 horas e até 20:00 horas (basta passar o *mouse* sobre o gráfico, com o botão esquerdo acionado).



g)

g) no editor '*Schedule Editor*':

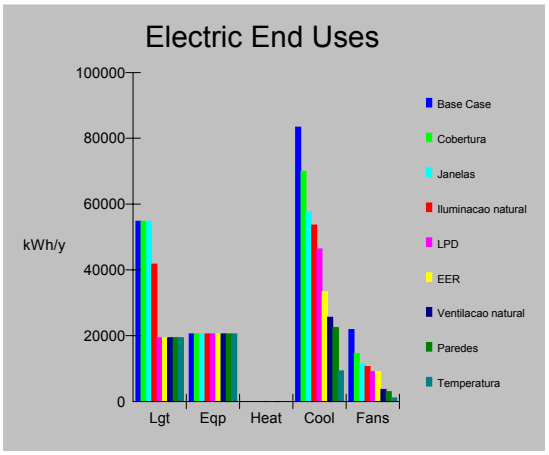
- clique sobre o quadro '*Saturday'* para editar a rotina dos sábados;
- clique sobre o botão '*Edit Day Sch'*.



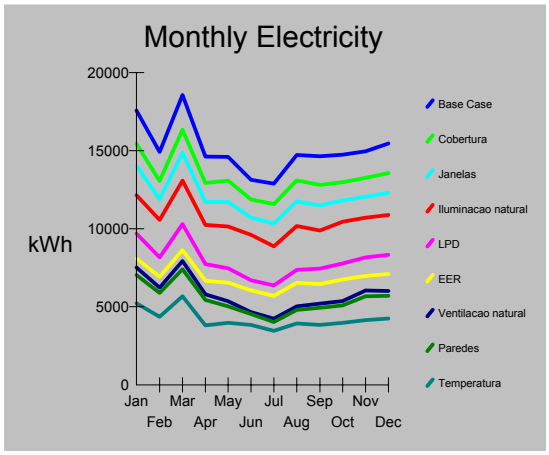
h)

h) no editor '*Day Schedule Editor*', altere as temperaturas de 24°C para 28°C, para o intervalo compreendido após 6:00 horas e até 18:00 horas;

i) volte para a interface principal, salve o arquivo, simule e compare com os resultados.

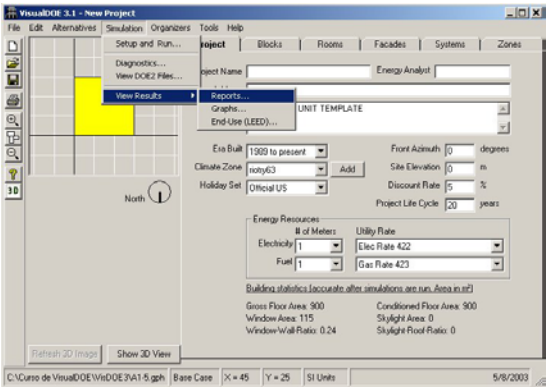


i)

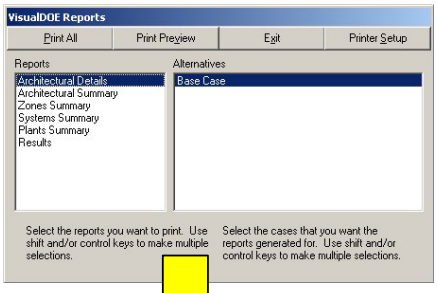


i)

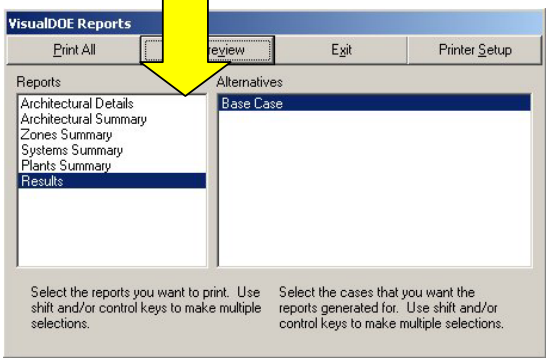
6 RESULTADOS FINAIS



a)



b)



c)

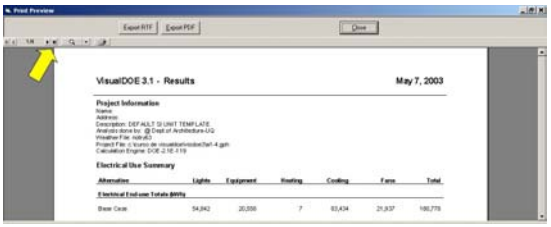
Relatórios do VisualDOE:

a) relatórios emitidos pela interface do VisualDOE: ***Simulation*** (menu principal) ⇒ ***View Results*** ⇒ ***Reports***;

b) escolher o relatório '*Results'* na lista da esquerda;

c) gerar uma pré-impressão: ***Print Preview***;

d) o avanço dos relatórios se dá no canto esquerdo superior (indicado por flecha na figura a seguir).



d)

6.1 Rio DE JANEIRO

Uso final anual de energia (kWh)

Alternativas	Iluminação	Equip	Aquece	Resfriamento	Ventilação	Total
Base Case	54,842	20,558	7	83,434	21,937	180,778
Cobertura	54,842	20,558	4	69,985	14,623	160,012
Janelas	54,842	20,558	9	57,780	11,432	144,621
Iluminacao natural	41,796	20,558	9	53,681	10,706	126,750
LPD	19,414	20,558	22	46,400	9,097	95,491
EER	19,414	20,558	17	33,368	9,097	82,454
Ventilacao natural	19,414	20,558	36	25,657	3,723	69,388
Paredes	19,414	20,558	6	22,546	3,041	65,565
Temperatura	19,414	20,558	0	9,375	1,139	50,486

Consumo total mensal de energia (kWh)

Alternat	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Base Case	17,568	14,917	18,558	14,616	14,593	13,125	12,884	14,713	14,638	14,746	14,962	15,460
Cobertura	15,438	13,067	16,341	12,928	13,083	11,874	11,578	13,090	12,808	12,983	13,258	13,567
Janelas	14,028	11,896	14,857	11,702	11,712	10,714	10,320	11,754	11,484	11,812	12,048	12,296
Iluminacao natural	12,156	10,559	13,071	10,246	10,142	9,616	8,875	10,182	9,880	10,443	10,703	10,877
LPD	9,699	8,160	10,297	7,732	7,459	6,704	6,369	7,364	7,454	7,771	8,160	8,323
EER	8,089	6,917	8,631	6,672	6,556	6,057	5,696	6,541	6,457	6,752	6,978	7,107
Ventilacao natural	7,517	6,224	7,938	5,797	5,357	4,662	4,233	5,036	5,205	5,370	6,034	6,015
Paredes	7,032	5,891	7,403	5,441	5,035	4,535	4,020	4,810	4,935	5,084	5,676	5,703
Temperatura	5,226	4,359	5,676	3,809	3,976	3,843	3,460	3,926	3,843	3,970	4,143	4,256

Demanda mensal de energia (kWh)

Alternativas	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Base Case	69	65	69	62	61	54	61	60	63	67	70	71
Cobertura	61	55	59	53	52	46	53	51	54	57	60	61
Janelas	55	51	52	47	48	42	49	46	49	53	54	55
Iluminacao natural	53	50	51	47	47	41	47	45	48	52	48	53
LPD	40	38	38	34	34	29	35	33	35	39	37	40
EER	34	32	32	29	29	25	30	28	30	33	31	34
Ventilacao natural	34	31	32	29	28	23	28	27	29	31	31	34
Paredes	30	29	29	26	26	22	25	25	27	29	28	30
Temperatura	30	26	26	22	23	18	21	21	23	24	24	28

7 BIBLIOGRAFIA

(2001). Tools Directory, U.S. Deparment of Energy - Office of building techonology, state and community programs. **2001**. http://www.eren.doe.gov/buildings/tools_directory/

ABNT (2003). Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações, ABNT. **2003**. http://www.labeee.ufsc.br/conforto/termica.html

Building Department (1995). Code of Practice for Overall Thermal Transfer Value in Buildings. Hong Kong, Building Department.

Pedrini, A. (1997). Desenvolvimento de Metodologia de Calibração de Modelos para Simulações Térmica e Energética de Edificações. Departamento de Engenharia Civil. Florianópolis, Universidade Federal de Santa Catarina**:** 186. http://www.labeee.ufsc.br/arquivos/publicacoes/dissertacao_pedrini.pdf

Pedrini, A. (2003). Integration of low energy strategies to the early stages of design process of office buildings in warm climate. St. Lucia, Qld., University of Queensland**:** 300.

Pedrini, A., F. S. Westphal, et al. (2001). A methodology for building energy modelling and calibration in warm climates. Building and Environment.

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.