Método de Simulação

Edifícios residenciais

Roberto Lamberts, PhD
Veridiana A. Scalco, Dra
Gabriel Iwamoto
Rogério Versage, MSc

Apoio:
Márcio Sorgato, Carolina Carvalho e Mariana G. Bottamedi

Eletrobras PROCEL PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA LabEEE INMETRO certi

Rio de Janeiro, Outubro de 2011

ESTRUTURA DO CURSO

08:00 - 10:00 RTQ-R
10:00 - 10:30 Coffee break
10:30 - 12:00 Tópicos sobre o RAC-R
13:30 - 15:30 Abordagem prática
15:30 - 16:00 Coffee break
16:00 - 18:00 Avaliação

Simulação Residencial

1. RTQ-R

1.1. Pré-requisitos específicos

1.1.1. Programa de simulação
1.1.2. Arquivo climático

1.2. Condições para a modelagem da envoltória

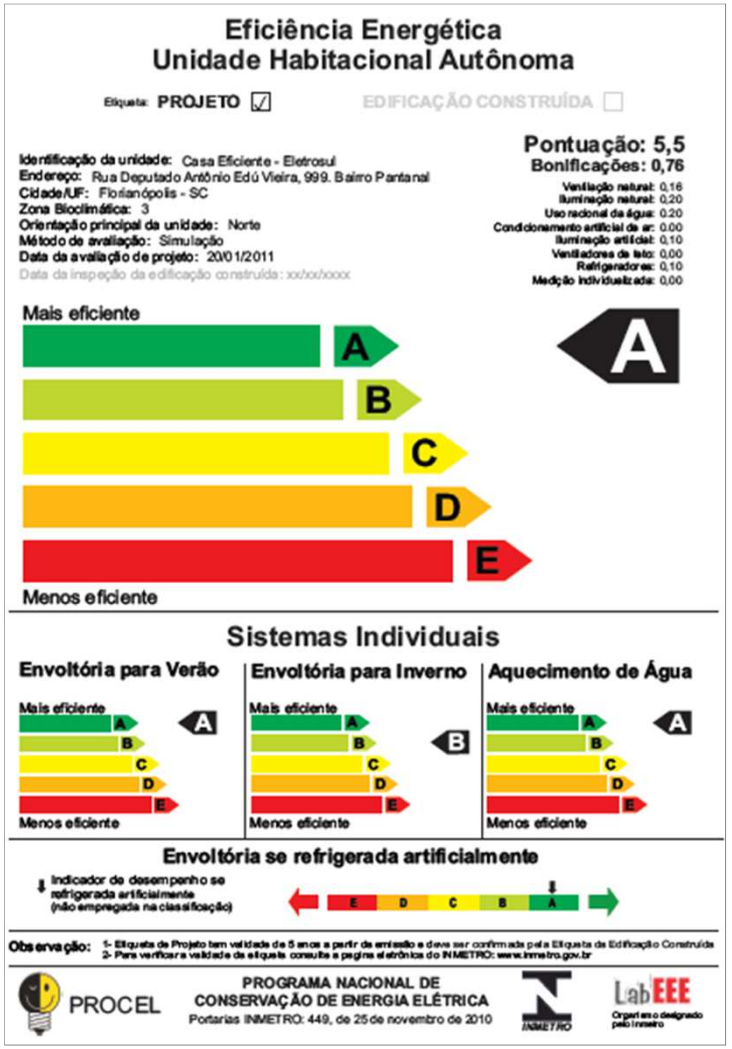
1.3. Procedimentos para simulação da edificação naturalmente ventilada

1.4. Procedimentos para simulação da edificação condicionada artificialmente

1.5. Determinação do equivalente numérico do desempenho térmico da envoltória

2. RAC-R

3. Abordagem prática

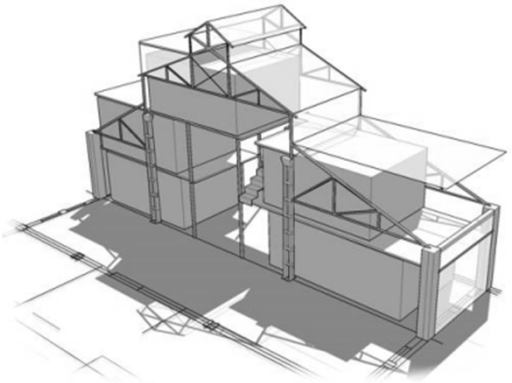


Simulação RTQ:
Residencial

Eletrobras PROCEL PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA LabEEE INMETRO certi

1. Simulação: RTQ-R

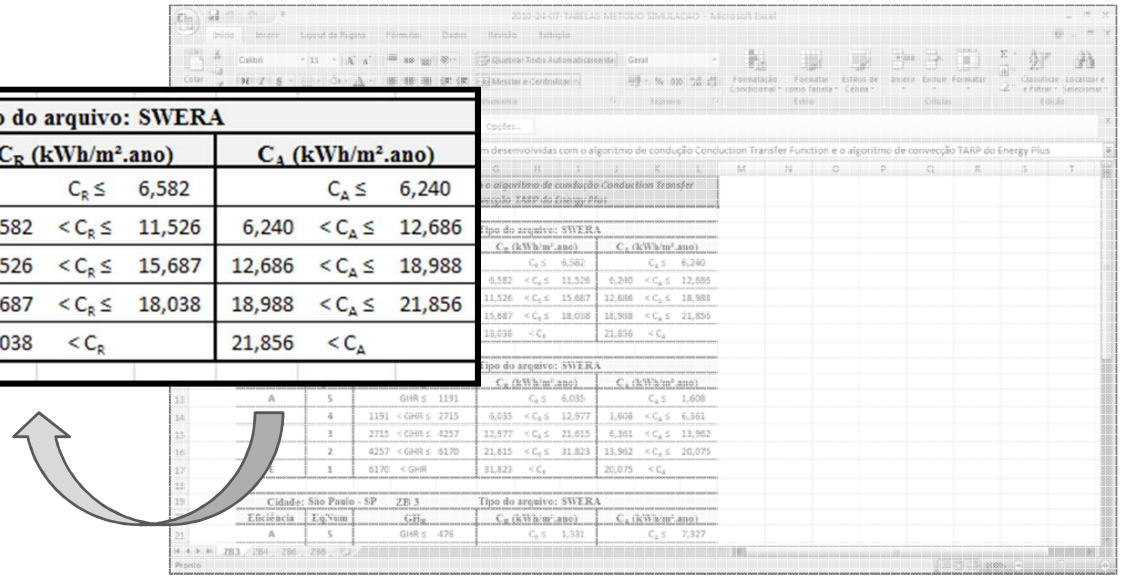
Comparar o desempenho da edificação sob avaliação com os valores de referência das tabelas de classificação dos níveis de eficiência energética:



Edificação naturalmente ventilada

Edificação condicionada artificialmente

Cidade: Florianópolis-SC ZB 3		Tipo do arquivo: SWERA		
Eficiência	EqNum	GH_R	C_R (kWh/m².ano)	C_A (kWh/m².ano)
A	5	GHR ≤ 910	$C_R \leq$ 6,582	$C_A \leq$ 6,240
B	4	910 < GHR ≤ 1905	6,582 < $C_R \leq$ 11,526	6,240 < $C_A \leq$ 12,686
C	3	1905 < GHR ≤ 2870	11,526 < $C_R \leq$ 15,687	12,686 < $C_A \leq$ 18,988
D	2	2870 < GHR ≤ 3905	15,687 < $C_R \leq$ 18,038	18,988 < $C_A \leq$ 21,856
E	1	3905 < GHR	18,038 < C_R	21,856 < C_A



www.procelinfo.com.br/etiquetagem_edificios

1.1. Pré-requisitos específicos

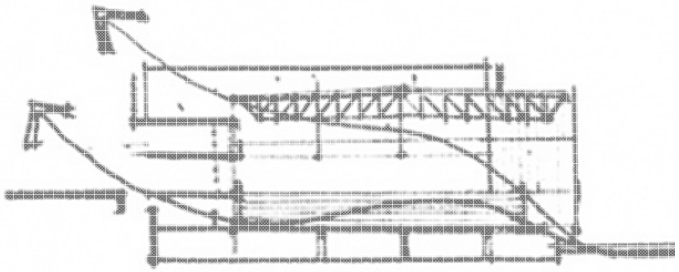
1.1.1. Programa de simulação

• Ser um programa para a análise do consumo de energia;

• Ser validado pela ASHRAE Standard 140;

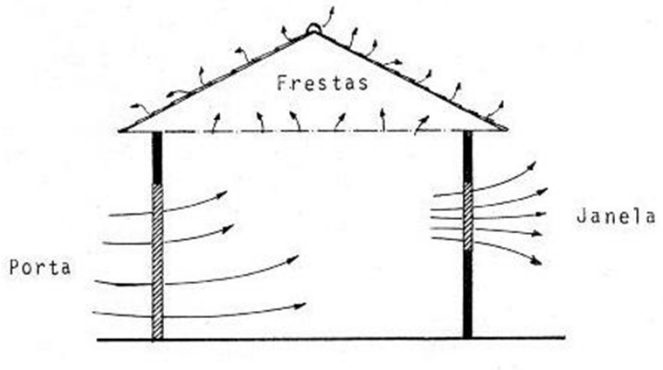
• Modelar 8760 horas por ano;

• Modelar variações horárias de ocupação, potência de iluminação e equipamentos, rede de ventilação natural e sistemas de condicionamento artificial, para cada dia da semana e feriados;



1.1. Pré-requisitos específicos

- Modelar efeitos de inércia térmica;
- Modelar efeitos de multi-zonas térmicas;
- Ter capacidade de simular as estratégias bioclimáticas adotadas no projeto;
- Determinar a capacidade solicitada pelo sistema de condicionamento de ar;
- Produzir relatórios horários das trocas de ar e das infiltrações;



- Produzir relatórios horários do uso final de energia.

1.1. Pré-requisitos específicos

1.1.2. Arquivo climático

• Fornecer valores horários para todos os parâmetros relevantes requeridos pelo programa de simulação, tais como temperatura e umidade, direção e velocidade do vento e radiação solar;

• Caso o local do projeto não possua arquivo climático, deve-se utilizar dados climáticos de uma região próxima que possua características climáticas semelhantes;

• Devem ser utilizados arquivos climáticos disponibilizados:

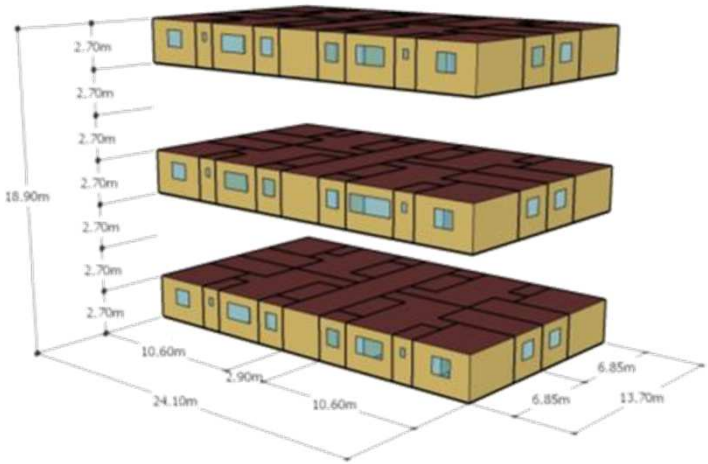
Departamento de Energia dos Estados Unidos: **www.eere.energy.gov**
Procel: **www.procelinfo.com.br/etiquetagem_edificios**

1.2. Condições para a modelagem da envoltória

A modelagem da envoltória da edificação deve considerar:

• **Uhs**: cada ambiente deve ser modelado como uma única zona térmica;

• **Edificações multifamiliares de até 10 pavimentos**: todas as UH's do pavimento tipo, do térreo e da cobertura devem ser modeladas



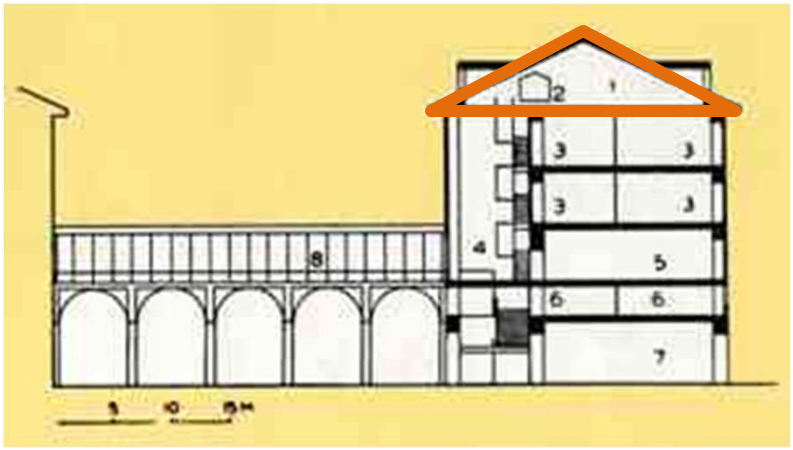
• **Edificações multifamiliares que possuem mais de 10 pavimentos:** deve-se seguir as orientações do item anterior, com exceção dos pavimentos tipo: modelar um pavimento a cada 5 pavimentos tipo;

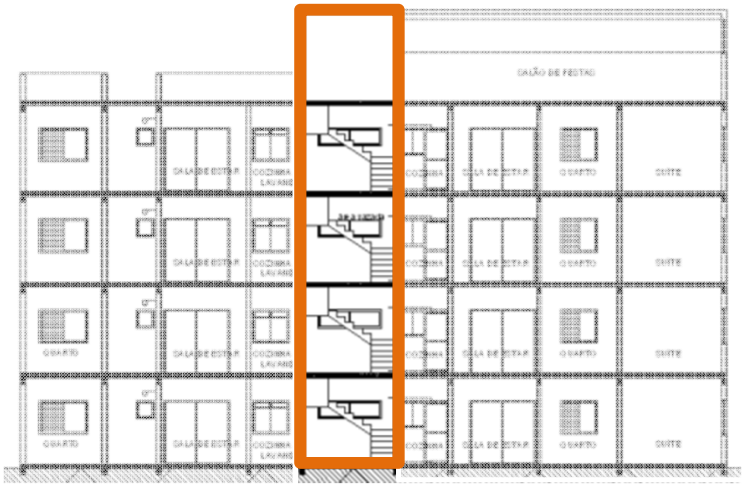
1.2. Condições para a modelagem da envoltória

• Modelar os dispositivos de sombreamento;

• O ático da cobertura pode ser modelado como uma zona térmica;

• Os ambientes comuns das edificações multifamiliares, tais como circulação vertical, corredores, hall de entrada e similares, podem ser modelados agrupados em uma única zona térmica;





• Garagens em contato com UH's devem ser simuladas como uma zona térmica.

1.3. Simulação da edificação naturalmente ventilada

Os indicadores de graus-hora dos ambientes de permanência prolongada do projeto devem ser iguais ou menores que os níveis de eficiência das tabelas.

a) Condições para o cálculo do indicador de graus-hora

Calcular a temperatura operativa horária por meio do programa computacional:

$$T_O = A \cdot T_a + (1 - A) \cdot T_r$$

T_o: temperatura operativa horária (°C);

T_a: temperatura do ar no ambiente (°C);

T_r: temperatura radiante média (°C);

A: constante que varia com a velocidade do ar no ambiente (V_{ar}, em m/s), conforme segue:

A = 0,5 para $V_{ar} \leq 0,2$ m/s;

A = 0,6 para 0,2 m/s < $V_{ar} \leq 0,6$ m/s;

A = 0,7 para 0,6 m/s < $V_{ar} \leq 1,0$m/s.

Observação: Na ausência de dados de velocidade do ar no ambiente deve ser considerado o coeficiente da velocidade do ar de A = 0,5 na Equação 3.34.

1.3. Simulação da edificação naturalmente ventilada

Indicador de graus-hora de resfriamento para a temperatura operativa horária para cada ambiente de permanência prolongada:

$$GH_R = \sum (T_o - 26°C)$$

Onde:

GH_R: indicador de graus-hora para resfriamento;

T_o: temperatura operativa horária (°C).

Ob.: Temperatura base para o cálculo é de 26ºC

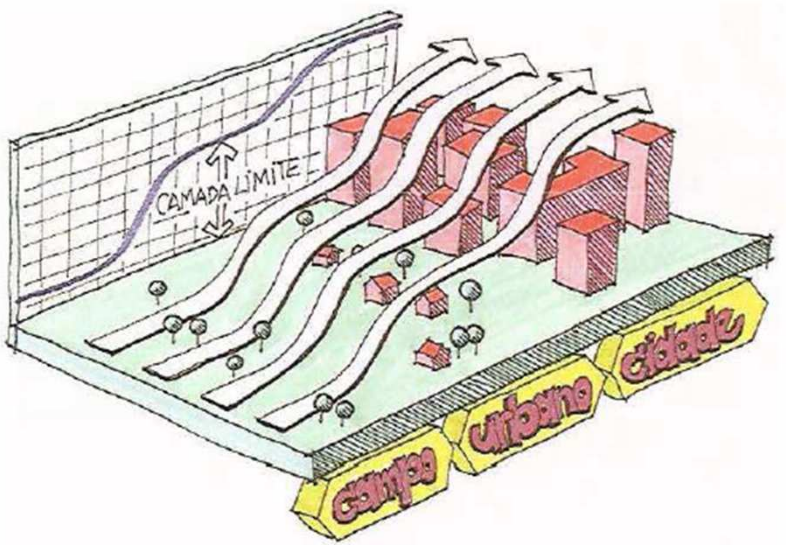
1.3. Simulação da edificação naturalmente ventilada

b) Modelagem do sistema de ventilação natural

• Todos os ambientes da UH que possuem aberturas para ventilação devem ser modelados no sistema de ventilação natural.

• O **coeficiente de rugosidade do entorno (α) = 0,33**, que representa um terreno de centro urbano no qual pelo menos 50% das edificações possuem altura maior que 21 m. Mesmo que a UH não esteja em centro urbano, este valor deve ser utilizado na simulação;

Observação: O valor recomendado é baseado na ASHRAE Handbook of Fundamentals (2009) que estabelece o expoente α = 0,33 e δ = 460 para a camada limite.



1.3. Simulação da edificação naturalmente ventilada

• Os **coeficientes de pressão superficial (CP)** podem ser estimados através de:

- experimentos em túnel do vento,
- bancos de dados de medições em túnel de vento ou
- calculados pelas equações de Swami e Chandra (1988) e Akins *et al. (1979)*

Ob.: As bases de dados de coeficientes de pressão recomendadas são Pressure Database (http://wind.arch.t-kougei.ac.jp/system/eng/contents/code/tpu), CP Generator (www.cpgen.bouw.tno.nl/cp/) e o CPCALC+;

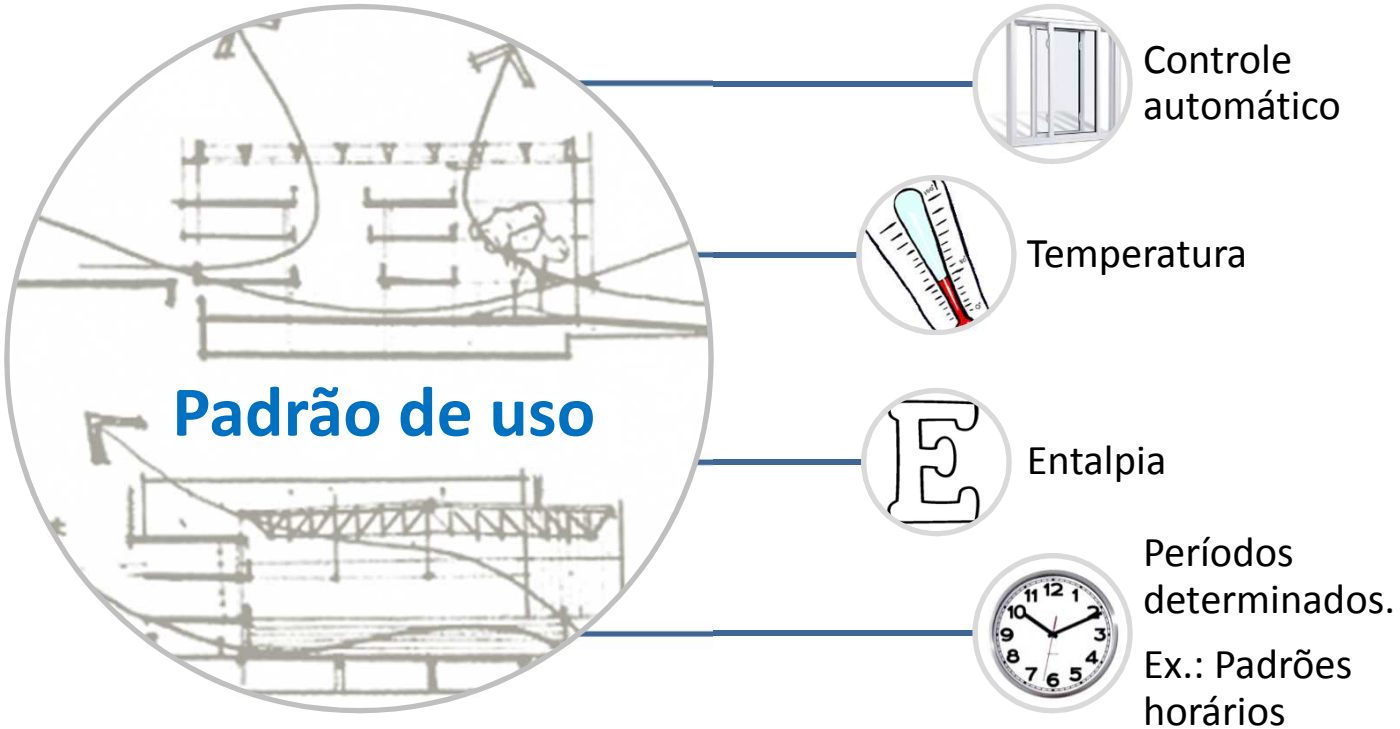
• O **coeficiente de descarga (CD)** para janelas e portas retangulares = 0,60;

• O **coeficiente do fluxo de ar por frestas (CQ)** para janelas e portas retangulares deve ser de 0,001 kg/s.m e o expoente do fluxo de ar (*n) deve ser 0,65;*

Ob.: CD e CQ: Para outros formatos que não retangulares pode-se usar outros valores, desde que justificados

1.3. Simulação da edificação naturalmente ventilada

- O **padrão de uso da ventilação natural** pode ser através:



Observação: O controle automático por temperatura é realizado através de um padrão de uso de temperatura que controla a abertura das janelas, a qual habilita a abertura da janela quando a temperatura do ar do ambiente (Tint) é igual ou superior à temperatura do termostato (Tint ≥ Ttermostato) e também quando a temperatura do ar do ambiente é superior à temperatura externa (Tint ≥ Text).

1.3. Simulação da edificação naturalmente ventilada

c) Padrão de ocupação

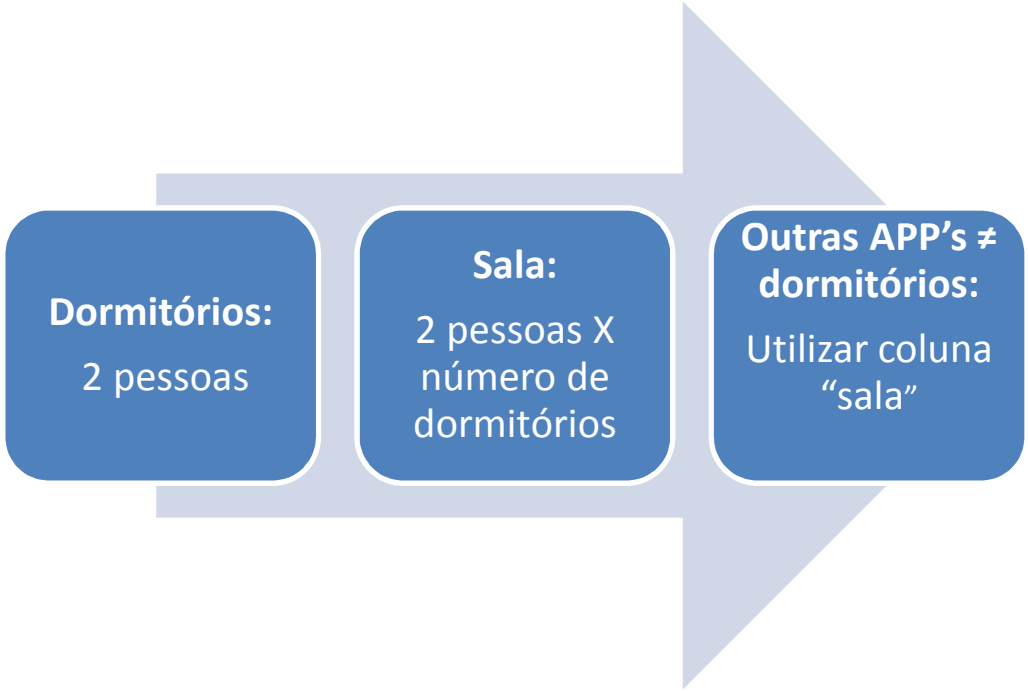


Tabela 3.39: pode ser distribuída entre estes ambientes.

Ob.: Deve ser modelado um padrão de ocupação dos ambientes para os dias de semana e outro para os finais de semana, conforme os horários de ocupação apresentados na Tabela 3.39. A ocupação do ambiente é representada pela porcentagem das pessoas disponíveis no horário.

Tabela 3.39: Padrão de ocupação para dias de semana e final de semana

Hora	Dormitórios		Sala	
	Dias de Semana (%)	Final de Semana (%)	Dias de Semana (%)	Final de Semana (%)
1 h	100	100	0	0
2 h	100	100	0	0
3 h	100	100	0	0
4 h	100	100	0	0
5 h	100	100	0	0
6 h	100	100	0	0
7 h	100	100	0	0
8 h	0	100	0	0
9 h	0	100	0	0
10 h	0	50	0	0
11 h	0	0	0	25
12 h	0	0	0	75
13 h	0	0	0	0
14 h	0	0	25	75
15 h	0	0	25	50
16 h	0	0	25	50
17 h	0	0	25	50
18 h	0	0	25	25
19 h	0	0	100	25
20 h	0	0	50	50
21 h	50	50	50	50
22 h	100	100	0	0
23 h	100	100	0	0
24 h	100	100	0	0

1.3. Simulação da edificação naturalmente ventilada

Em função do tipo de atividade desempenhada em cada ambiente deve ser adotada a taxa metabólica para cada atividade:

Tabela 3.40: Taxas metabólicas para cada atividade

Ambiente	Atividade realizada	Calor produzido (W/m²)	Calor produzido para área de pele = 1,80 m² (W)
Sala	Sentado ou assistindo TV	60	108
Dormitórios	Dormindo ou descansando	45	81

Ob.: Quando a cozinha for ocupada por mais de uma pessoa, somente uma estará com taxa metabólica de 95 W/m², os outros ocupantes podem estar com taxas metabólicas de 60 W/m².

1.3. Simulação da edificação naturalmente ventilada

d) Padrão de uso da iluminação

A modelagem deve ser realizada para os ambientes de permanência prolongada:

Os valores 100% representam os horários do uso da iluminação e os valores 0% representam que a iluminação do ambiente está desligada.

Ob.: Caso exista mais de uma sala ou ambiente de permanência prolongada que não dormitórios, o padrão de uso da iluminação descrito na coluna “sala” deve ser utilizado para estes ambientes.

Tabela 3.42: Densidade de potência instalada de iluminação

Ambiente	DPI (W/m²)
Dormitórios	5,0
Sala	6,0

Tabela 3.41: Padrão de uso da iluminação

Hora	Dormitórios		Sala	
	Dias de Semana (%)	Final de Semana (%)	Dias de Semana (%)	Final de Semana (%)
1 h	0	0	0	0
2 h	0	0	0	0
3 h	0	0	0	0
4 h	0	0	0	0
5 h	0	0	0	0
6 h	0	0	0	0
7 h	100	0	0	0
8 h	0	0	0	0
9 h	0	100	0	0
10 h	0	0	0	0
11 h	0	0	0	100
12 h	0	0	0	100
13 h	0	0	0	0
14 h	0	0	0	0
15 h	0	0	0	0
16 h	0	0	0	0
17 h	0	0	100	100
18 h	0	0	100	100
19 h	0	0	100	100
20 h	0	0	100	100
21 h	100	100	100	100
22 h	100	100	0	0
23 h	0	0	0	0
24 h	0	0	0	0

e) Cargas internas de equipamentos

As cargas internas de equipamentos devem ser modeladas para a sala:

Tabela 3.43: Cargas internas de equipamentos

Ambiente	Período	Potência (W/m²)
Sala	24 h	1,5

Observação: Para a simulação do ambiente devem ser consideradas as potências dos equipamentos para o período de 24 horas do dia durante todo o período de simulação.

1.3. Simulação da edificação naturalmente ventilada

f) Temperatura do solo dos modelos

Devem ser **calculadas as temperaturas médias do solo para cada mês do ano**, com base nos valores médios das temperaturas internas e externas da edificação.

Modelos dinâmicos mais detalhados, considerando a transferência de calor no solo de forma integrada com a simulação, também podem ser utilizados.

*Observação: Para as simulações do método prescritivo deste RTQ utilizou-se o **programa Slab**, que está vinculado ao EnergyPlus, para calcular as temperaturas do solo.*

1.4. Simulação da edificação condicionada artificialmente

a) Condições para cálculo do consumo relativo de energia

Calcular:

- **o consumo relativo de energia para refrigeração (CR) dos dormitórios (excluindo dormitórios de serviço)**

- **o consumo relativo para aquecimento (CA) de todos os APP's da UH.**

Estes consumos são calculados no período das 21 h às 8 h, sendo que no período restante deve-se considerar a edificação naturalmente ventilada, com a estratégia de ventilação controlada automaticamente através do critério de temperatura.

A temperatura do termostato de refrigeração é de 24℃ e de aquecimento é de 22℃.

1.4. Simulação da edificação condicionada artificialmente

b) Modelagem do sistema de condicionamento de ar

A modelagem do sistema de condicionamento de ar da UH deve considerar:

- sistema de condicionamento de ar instalado nos APP's, excluindo dormitórios de serviço. Para a sala deve-se utilizar o mesmo padrão adotado nos dormitórios;

- temperatura do termostato de refrigeração de 24℃ , para todas as Zona Bioclimáticas;

- temperatura do termostato de aquecimento de 22℃ , somente para as Zonas Bioclimáticas 1 a 4;

- condicionamento artificial no período das 21 h às 8 h;

- edificação ventilada naturalmente no período das 9 h às 20 h;

- taxa de fluxo de ar por pessoa de 0,00944 m^3/s;

1.4. Simulação da edificação condicionada artificialmente

- modo de operação do ventilador contínuo;

- eficiência do ventilador de 0,7 e eficiência do motor de 0,9;

- razão entre o calor retirado do ambiente e a energia consumida pelo equipamento (COP) de 3,00 W/W;

- razão entre o calor fornecido ao ambiente e a energia consumida pelo equipamento (COP) de 2,75 W/W;

- número máximo de horas não atendidas do sistema de condicionamento de ar de 10%;

- capacidade do sistema de condicionamento de ar dos ambientes dimensionada automaticamente pelo programa de simulação, de forma que atenda à exigência do limite de horas não atendidas.

1.5. Determinação do EqNumEnv

O equivalente numérico da envoltória é calculado conforme descrito a seguir:

a) Determinação dos equivalentes numéricos da envoltória dos ambientes para resfriamento e aquecimento

Obtenção através das tabelas disponíveis no Site do Procel Info.

b) Determinação do equivalente numérico da envoltória da unidade habitacional autônoma para resfriamento

Ponderação dos EqNumEnvAmbResfr pelas áreas úteis dos ambientes avaliados.

c) Determinação do equivalente numérico da envoltória da unidade habitacional autônoma para aquecimento

Ponderação dos EqNumEnvAmbA pelas áreas úteis dos ambientes avaliados.

1.5. Determinação do EqNumEnv

d) Determinação do equivalente numérico da envoltória da unidade habitacional autônoma:

Z 1	$EqNumEnv = 0{,}08 \times EqNumEnv_{Resfr} + 0{,}92 \times EqNumEnv_{A}$
Z 2	$EqNumEnv = 0{,}44 \times EqNumEnv_{Resfr} + 0{,}56 \times EqNumEnv_{A}$
Z 3	$EqNumEnv = 0{,}64 \times EqNumEnv_{Resfr} + 0{,}36 \times EqNumEnv_{A}$
Z 4	$EqNumEnv = 0{,}68 \times EqNumEnv_{Resfr} + 0{,}32 \times EqNumEnv_{A}$
Z 5 a 8	$EqNumEnv = EqNumEnv_{Resfr}$

Simulação RAC:
Residencial

Eletrobras PROCEL PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA LabEEE INMETRO certi

RAC-C Vigente

Método de Simulação

- Narrativa da edificação, com ilustrações 3D visualizando todas as fachadas;
- Narrativa da simulação realizada;

1. 2. Método de simulação

Inspeção da simulação:

Procedimentos de verificação (arquivo)

Observações:

- A inspeção da simulação poderá ser realizada em duas etapas;
- Não atendendo a algum dos itens da avaliação simplificada, a avaliação passa obrigatoriamente a ser do tipo completa;
- As primeiras 10 inspeções do OIA deverão ser do tipo completa;
- O OIA deverá ter no mínimo uma avaliação do tipo completa a cada 10 inspeções.

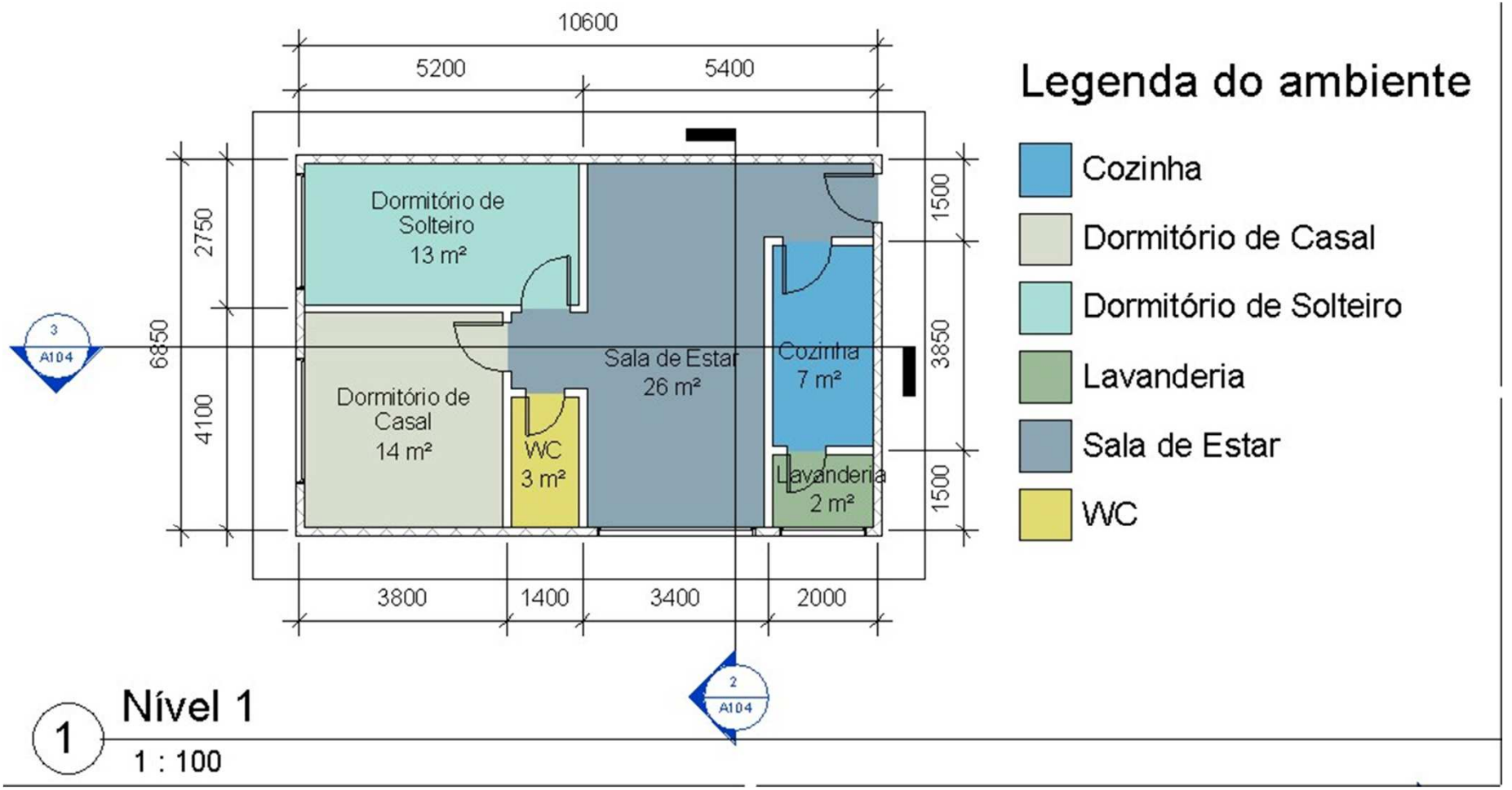
Simulação: Prática

Residencial

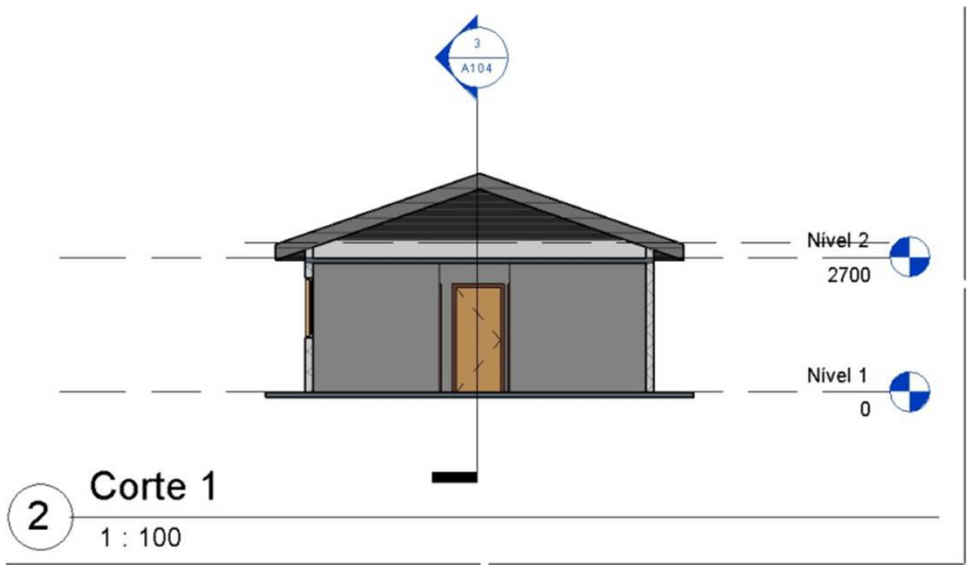
Eletrobras PROCEL PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA LabEEE INMETRO certi

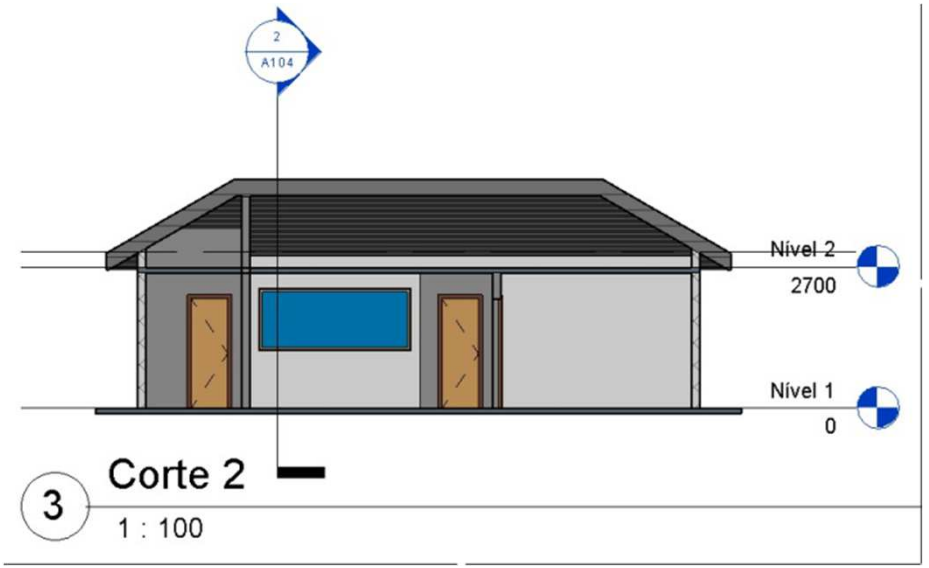
Exemplo de avaliação

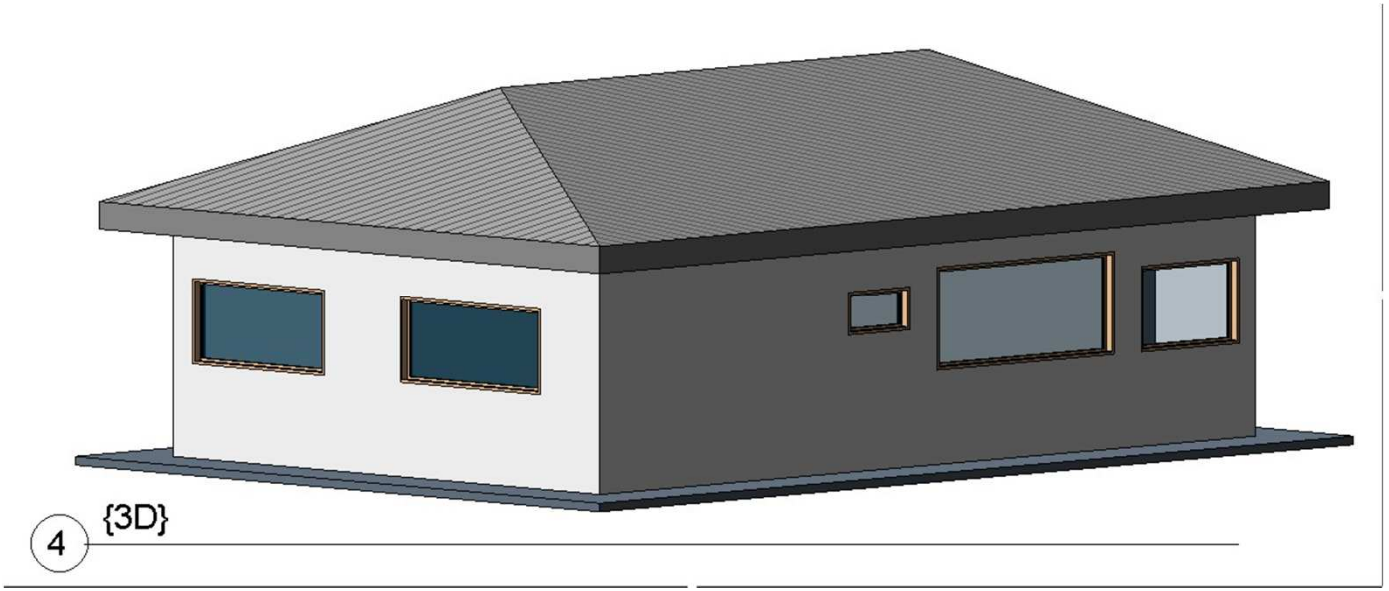
Acessar arquivo "Exemplo de simulação utilizando o programa E+"
(http://www.labeee.ufsc.br/projetos/etiquetagem/residencial/downloads)



Exemplo de avaliação







Fim!

www.labeee.ufsc.br/etiquetagem
etiquetagem_residencial@labeee.ufsc.br

www.procelinfo.com.br/etiquetagem_edificios

http://www.certi.org.br/
oi3e@certi.org.br

http://www.inmetro.gov.br/