



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL  
Campus Universitário – Trindade  
Florianópolis – SC – CEP 88040-900  
Caixa Postal 476

**LabEEE**

**Laboratório de Eficiência Energética em Edificações**  
<http://www.labeee.ufsc.br>  
Telefones: (48) 3721-5184 / 3721-5185

# **RELATÓRIO DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE EDIFÍCIOS NATURALMENTE VENTILADOS NO PROGRAMA *ENERGYPLUS***

**Ana Paula Melo, M. Eng.**  
**Roberto Lamberts, PhD.**  
**Rogério Versage, Arq.**  
**Márcio Sorgato, Arq.**

Florianópolis, Agosto de 2008.

# **RELATÓRIO DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE EDIFÍCIOS NATURALMENTE VENTILADOS NO PROGRAMA ENERGYPLUS**

Elaborado por:

**Ana Paula Melo, M. Eng.**

[apaula\\_melo@labeeee.ufsc.br](mailto:apaula_melo@labeeee.ufsc.br)

**Roberto Lamberts, PhD.**

[lamberts@labeeee.ufsc.br](mailto:lamberts@labeeee.ufsc.br)

**Rogério Versage, Arq.**

[versage@labeeee.ufsc.br](mailto:versage@labeeee.ufsc.br)

**Márcio Sorgato, Arq.**

[marciosorgato@labeeee.ufsc.br](mailto:marciosorgato@labeeee.ufsc.br)

## **Laboratório de Eficiência Energética em Edificações**

Campus Universitário – Trindade

Florianópolis – 88040-900

<http://www.labeee.ufsc.br>

Telefones: (48) 3721-5184 / 3721-5185

## **INFORMAÇÕES GERAIS**

Este relatório foi elaborado com o objetivo de auxiliar o usuário do programa *EnergyPlus* a compreender os diversos parâmetros necessários para simular edificações naturalmente ventiladas. A elaboração do relatório baseou-se nos resultados de simulações computacionais com a integração da ventilação natural e nos *documentos Input Output Reference* e *Engineering Reference*, fornecidos pelo programa *EnergyPlus*. O relatório é apresentado de forma clara e objetiva, descrevendo o porquê de cada *input* necessário para a utilização da estratégia de ventilação natural nas edificações.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>5</b>
<b>2. O PROGRAMA COMPUTACIONAL <i>ENERGYPLUS</i>.....</b>	<b>5</b>
<b>3. EXEMPLO .....</b>	<b>6</b>
<b>4. AIRFLOW NETWORK - <i>EnergyPlus</i> .....</b>	<b>7</b>
4.1 Airflow Network Simulation.....	7
4.2 Airflow Network Multizone: Surface.....	10
4.3 Airflow Network Multizone: Site Wind Conditions.....	12
<b>5. ANÁLISE DAS ABERTURAS.....</b>	<b>13</b>
<b>6. ANÁLISE DO MODELO SEM A UTILIZAÇÃO DA VENTILAÇÃO NATURAL....</b>	<b>16</b>
<b>7. ANÁLISE DO MODELO COM VENTILAÇÃO NATURAL DURANTE 24HRS ....</b>	<b>17</b>
<b>8. CONFORTO TÉRMICO .....</b>	<b>19</b>
8.1 Conforto Térmico – Com carga térmica .....	19
8.2 Conforto Térmico – Sem carga térmica.....	21
8.3 Conforto Térmico – Brises 45° .....	22
<b>9. COMPARAÇÃO ENTRE FLORIANÓPOLIS E MACEIÓ .....</b>	<b>23</b>
<b>10. HORAS DE CONFORTO.....</b>	<b>25</b>
<b>11. AIR MASS FLOW COEFFICIENT .....</b>	<b>26</b>
<b>12. CUBO – CASO 600 .....</b>	<b>27</b>
<b>13. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>29</b>

## 1. INTRODUÇÃO

As características construtivas de uma edificação são de extrema importância para que esta seja energeticamente eficiente. Dessa forma, empresas e projetistas têm buscado um maior conhecimento das interações térmicas que ocorrem em edificações, visando incentivar práticas de projetos eficientes e implementações que otimizem o uso da energia na indústria da construção.

Nas edificações comerciais e públicas, incluindo os edifícios de escritórios, grande parte do consumo é atribuída às variáveis arquitetônicas e construtivas já que, em média, 64% de seu consumo são devido ao condicionamento artificial o qual vem crescendo constantemente.

Dessa forma, o uso da ventilação natural em substituição ao ar-condicionado, ainda que não seja durante o ano todo, mas em alguns períodos, poderá representar importante medida para redução do consumo de energia nesses edifícios.

Em edificações de atividades de trabalho, com permanência apenas diurna, como é o caso dos edifícios de escritórios, as tipologias arquitetônicas poderiam favorecer o aproveitamento dos ventos regionais, minimizando os gastos com energia. A utilização da ventilação no interior dos ambientes dependerá, entre outros fatores, da tipologia arquitetônica adotada e das especificações relacionadas às aberturas do ambiente. Entretanto, as áreas urbanas, que abrigam essas edificações, são desafiadoras para o uso da ventilação natural.

Através deste relatório pretende-se apresentar os diversos parâmetros relacionados com a ventilação natural, detalhando o porquê da escolha de cada item utilizado.

## 2. O PROGRAMA COMPUTACIONAL *ENERGYPLUS*

Para a elaboração do relatório referente a ventilação natural adotou-se o programa de simulação computacional *EnergyPlus*, utilizando a versão 2.1.0 (DOE, 2007).

A cálculo do fluxo no programa é chamado de *AirflowNetwork*. Esse modelo, além de incluir partes da versão mais recente do COMIS, adota partes da rotina de cálculo do programa AIRNET.

### 3. EXEMPLO

Para analisar a utilização da ventilação natural em edifícios comerciais, optou-se em adotar uma edificação de 1 pavimento tipo (Figura 1) com dimensões de 50mx40mx5m, representando uma loja comercial tipo um supermercado.

A edificação foi inserida no programa EnergyPlus com as seguintes características:

- dimensões de 50mx40mx5m
- duas zonas (loja e depósito)
- WWR 19%
- orientação Norte
- iluminação: 12W/m<sup>2</sup>
- equipamentos: 22W/m<sup>2</sup>
- pessoas: Loja (100) e depósito (20)
- infiltração 0,3 ACH
- clima: Florianópolis (arquivo climático TRY 1963)
- ocupação comercial (8h – 19h)
- temperatura de set-point: 20°C (inverno) e 15°C (verão)

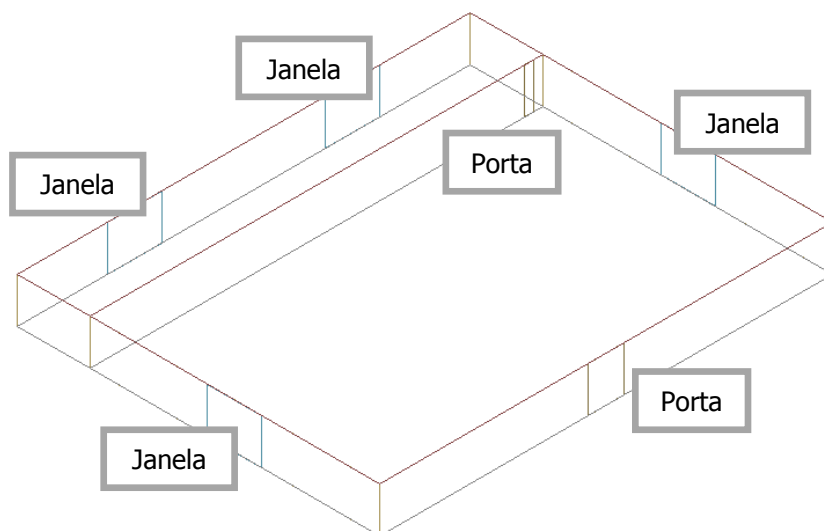


Figura 1. Edificação adotada.

#### 4. AIRFLOW NETWORK - *EnergyPlus*

##### 4.1 Airflow Network Simulation

No objeto *Wind Pressure Coefficient Type*, o programa *EnergyPlus* permite que o usuário insira os coeficientes de pressão da edificação (SURFACE – AVERAGE CALCULATION) ou que o próprio programa calcule estes coeficientes para o usuário.

Analisando os documentos Input Output Reference e Engineering Reference do programa *EnergyPlus*, observou-se que o programa utiliza a fórmula de Swami e Chandra (1988) para o cálculo dos coeficientes de pressão, detalhada na Figura 2.

$C_p$  is a function of location on the building envelope and wind direction. When Wind Pressure Coefficient Type = "INPUT", the  $C_p$  values are explicitly defined in the input for AirflowNetwork:Multizone:Wind Pressure Coefficient Values. When Wind Pressure Coefficient Type = "AVERAGE-SURFACE CALCULATION" and the building shape is rectangular, the program uses the following equations to calculate wind pressure coefficient ( $C_p$ ) values at different wind directions. For a low rise building, the normalized surface pressure coefficient may be written as (Swami and Chandra, 1988):

$$C_{p,n} = 0.6 * \ln \left[ \begin{array}{l} 1.248 - 0.703 \sin(\alpha / 2) - 1.175 \sin^2(\alpha) + 0.131 \sin^3(2\alpha G) \\ + 0.769 \cos(\alpha / 2) + 0.07 G^2 \sin^2(\alpha / 2) + 0.717 \cos^2(\alpha / 2) \end{array} \right]$$

where

- $C_{p,n}$  =  $C_p$  value at a given angle between wind direction and the outward normal of the surface under consideration [dimensionless]
- $\alpha$  = Angle between wind direction and outward normal of wall under consideration [deg]
- $G$  = Natural log of ratio of width of wall under consideration to width of adjacent wall [dimensionless]
- $n$  = Index of incident angle at 30 degree increments

Figura 2. Fórmula de Swami e Chandra (1988).

Analisando a ASHRAE Fundamentals (2005) - Capítulo 27, observou-se que a fórmula utilizada pela ASHRAE para o cálculo dos coeficientes de pressão foi desenvolvida por Walker e Wilson (1994), apresentada na

Figura 3.



$$C_p(\phi) = \frac{1}{2} \{ [C_p(1) + C_p(2)](\cos^2\phi)^{1/4} \\ + [C_p(1) - C_p(2)](\cos\phi)^{3/4} \\ + [C_p(3) + C_p(4)](\sin^2\phi)^2 \\ + [C_p(3) - C_p(4)]\sin\phi \}$$

where

$C_p(1)$  = pressure coefficient when wind is at  $0^\circ$   
 $C_p(2)$  = pressure coefficient when wind is at  $180^\circ$   
 $C_p(3)$  = pressure coefficient when wind is at  $90^\circ$   
 $C_p(4)$  = pressure coefficient when wind is at  $270^\circ$   
 $\phi$  = wind angle measured clockwise from the normal to Wall 1

Figura 3. Fórmula de Walker e Wilson (1994).

Outra opção de cálculo dos coeficientes de pressão do vento é o programa CP Generator o qual está sendo desenvolvido pelo TNO Built Environment and Geoscience. Este programa é um aplicativo online, possuindo os arquivos de entrada em formato de texto. Inseriu-se a edificação utilizada neste programa, com as mesmas características utilizadas no modelo anterior. Depois, simulou-se o modelo e foi obtido os valores dos coeficientes de pressão.

Com base na fórmula utilizada pelo programa EnergyPlus e pela fórmula utilizada pela ASHRAE, calculou-se os coeficientes de pressão referentes ao modelo analisado. E, através dos resultados do programa CP Generator, pode-se comparar os resultados encontrados apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Valores dos coeficientes de pressão.

	Fachada 1 - Norte				Fachada 3 - Sul		
	<i>EnergyPlus</i>	<i>Cp Generator</i>	<i>ASHRAE</i>		<i>EnergyPlus</i>	<i>Cp Generator</i>	<i>ASHRAE</i>
<b>Cp(0)</b>	0.60	0.208	0.60	<b>Cp(0)</b>	-0.52	-0.104	-0.17
<b>Cp(30)</b>	0.47	0.176	0.50	<b>Cp(30)</b>	-0.54	0.094	-0.18
<b>Cp(60)</b>	0.11	0.044	0.01	<b>Cp(60)</b>	-0.86	-0.112	-0.45
<b>Cp(90)</b>	-0.50	-0.125	-0.64	<b>Cp(90)</b>	-0.50	-0.125	-0.64
<b>Cp(120)</b>	-0.86	-0.112	-0.45	<b>Cp(120)</b>	0.11	0.044	0.01
<b>Cp(150)</b>	-0.54	-0.094	-0.18	<b>Cp(150)</b>	0.47	0.176	0.50
<b>Cp(180)</b>	-0.52	-0.104	-0.17	<b>Cp(180)</b>	0.60	0.208	0.60
<b>Cp(210)</b>	-0.54	-0.094	-0.18	<b>Cp(210)</b>	0.47	0.176	0.50
<b>Cp(240)</b>	-0.86	-0.112	-0.45	<b>Cp(240)</b>	0.11	0.044	0.01
<b>Cp(270)</b>	-0.50	-0.125	-0.64	<b>Cp(270)</b>	-0.50	-0.125	-0.64
<b>Cp(300)</b>	0.11	0.044	0.01	<b>Cp(300)</b>	-0.86	-0.112	-0.45
<b>Cp(330)</b>	0.47	0.176	0.50	<b>Cp(330)</b>	-0.54	-0.094	-0.18
	Fachada 2 - Leste				Fachada 4 - Oeste		
	<i>EnergyPlus</i>	<i>Cp Generator</i>	<i>ASHRAE</i>		<i>EnergyPlus</i>	<i>Cp Generator</i>	<i>ASHRAE</i>
<b>Cp(0)</b>	-0.38	-0.142	-0.64	<b>Cp(0)</b>	-0.38	-0.142	-0.64
<b>Cp(30)</b>	0.13	0.035	0.01	<b>Cp(30)</b>	-0.53	-0.121	-0.45
<b>Cp(60)</b>	0.47	0.174	0.50	<b>Cp(60)</b>	-0.26	-0.095	-0.18
<b>Cp(90)</b>	0.60	0.207	0.60	<b>Cp(90)</b>	-0.23	-0.103	-0.17
<b>Cp(120)</b>	0.47	0.174	0.50	<b>Cp(120)</b>	-0.26	-0.095	-0.18
<b>Cp(150)</b>	0.13	0.035	0.01	<b>Cp(150)</b>	-0.53	-0.121	-0.45
<b>Cp(180)</b>	-0.38	-0.142	-0.64	<b>Cp(180)</b>	-0.38	-0.142	-0.64
<b>Cp(210)</b>	-0.53	-0.121	-0.45	<b>Cp(210)</b>	0.13	0.035	0.01
<b>Cp(240)</b>	-0.26	-0.095	-0.18	<b>Cp(240)</b>	0.47	0.174	0.50
<b>Cp(270)</b>	-0.23	-0.103	-0.17	<b>Cp(270)</b>	0.60	0.207	0.60
<b>Cp(300)</b>	-0.26	-0.095	-0.18	<b>Cp(300)</b>	0.47	0.174	0.50
<b>Cp(330)</b>	-0.53	-0.121	-0.45	<b>Cp(330)</b>	0.13	0.035	0.01

Comparando os valores de coeficientes de pressão calculados pelo EnergyPlus e pelo CP Generator, observou-se que os valores do programa EnergyPlus são consideravelmente maiores que os valores calculados pelo programa CP Generator. Analisando os valores dos coeficientes calculados através da fórmula utilizada pela ASHRAE, nota-se que dependendo da orientação do vento e da fachada analisada estes valores se aproximam dos valores encontrados pelo programa EnergyPlus.

Através da Figura 4 pode-se observar os valores dos coeficientes de pressão obtidos pelo EnergyPlus, ASHRAE, TNO e Tokyo Database.

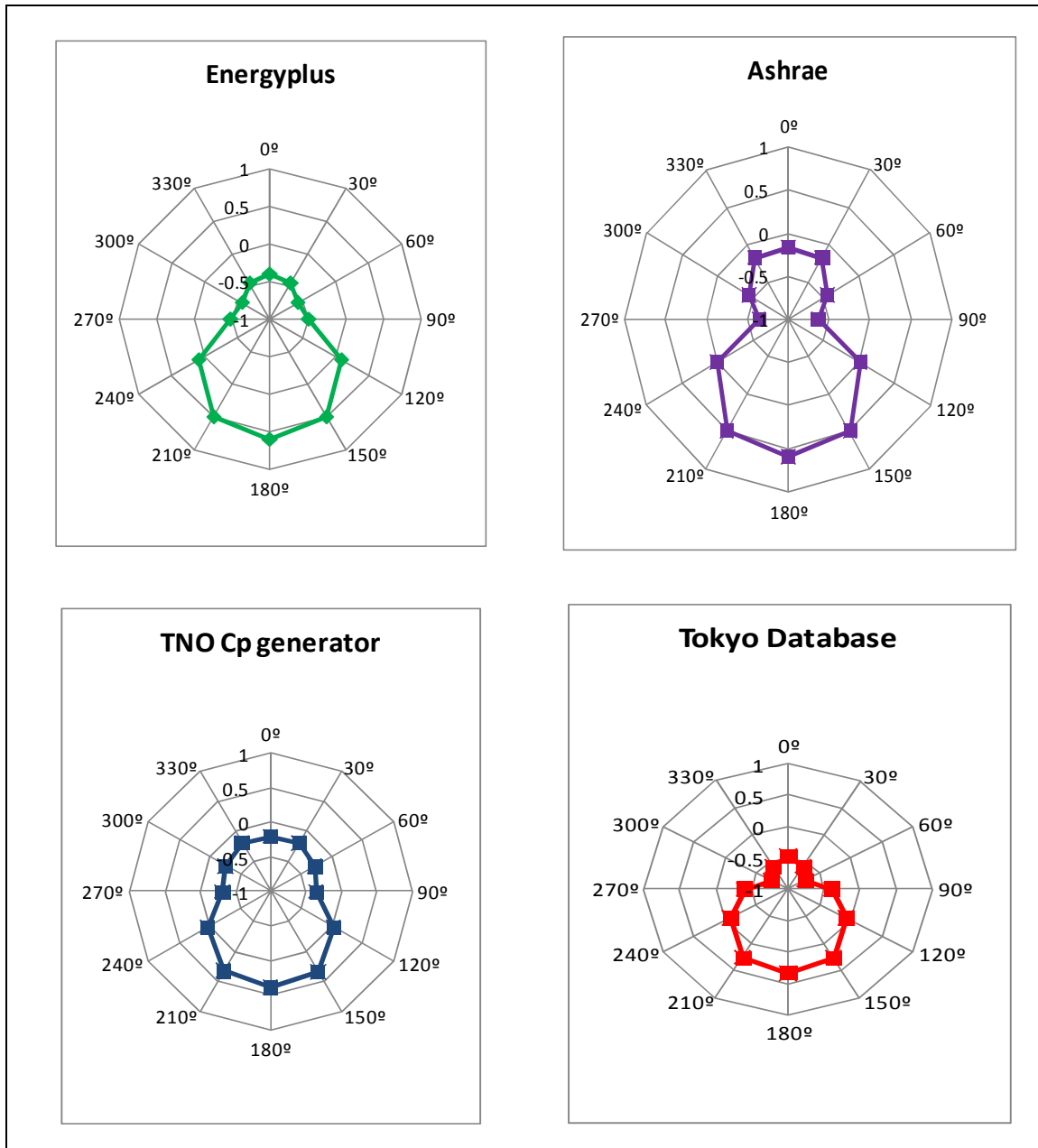


Figura 4. Coeficientes de pressão.

#### 4.2 Airflow Network Multizone: Surface

No objeto Ventilation Control Mode o usuário pode escolher o tipo de controle da ventilação natural de cada abertura.

Foi utilizada a seguinte schedule:

- TEMPERATURE: as portas e janelas serão abertas se:

- \* a temperatura da zona for maior que a temperatura externa;
- \* a temperatura da zona for maior que a temperatura da schedule de temperatura da zona e;
- \* a schedule de Venting Availability Schedule permitir a ventilação na edificação.

Primeiramente, utilizou-se a schedule Temperature, utilizando a temperatura de Set Point de 15°C para o verão e 20°C para o inverno. Através da Tabela 2 pode-se observar as horas de conforto calculadas.

Tabela 2. Horas de conforto com Set Point de 15°C para o verão e 20°C para o inverno.

WWR	10%	19%	30%	45%	62%	80%
Soma	1749	1788	1643	1572	1522	1440
Verão	958	959	919	897	876	838
Inverno	791	829	724	675	646	602
% total	58	59	54	52	50	47

Depois, utilizou-se a temperatura de Set Point de 20°C para o verão e 20°C para o inverno. Através da Tabela 3 pode-se observar as horas de conforto calculadas.

Tabela 3. Horas de conforto com Set Point de 20°C para o verão e 20°C para o inverno.

WWR	10%	19%	30%	45%	62%	80%
Soma	1822	1713	1643	1642	1475	1501
Verão	971	943	919	929	854	860
Inverno	851	770	724	713	621	641
% total	60	56	54	54	49	49

Por último, optou-se em analisar a temperatura de Set Point de 18°C para o verão e 25° para o inverno. Através da pode-se observar as torças de ar da edificação. Através da pode-se observar as horas de conforto calculadas.

Tabela 4. Horas de conforto com Set Point de 18°C para o verão e 25°C para o inverno.

WWR	10%	19%	30%	45%	62%	80%
Soma	2220	2133	2085	2098	1960	1933
Verão	1012	986	968	980	957	930
Inverno	1208	1147	1117	1118	1003	1003
% total	73	70	69	69	65	64

Através dos cálculos referentes a diferentes temperaturas de Set Point, pode-se observar que quando se utilizou a temperatura de 18°C para o verão e 25°C para o inverno foi onde obteve-se as melhores horas de conforto para o modelo analisado.

### 4.3 Airflow Network Multizone: Site Wind Conditions

No objeto Exponent of Wind Velocity Profile é possível determinar as obstruções em torno da edificação, influenciando na influência do vento nas fachadas e cobertura das edificações. Os valores podem variar em:

- 0.10: para pequenas obstruções;
- 0.22: para obstruções como árvores e pequenas casas;
- 0.32: para obstruções maiores que um pavimento;
- 0.18: corresponde ao valor de *default*.

Através da Figura 5 pode-se observar que quanto menor os valores das obstruções, maiores são as trocas de ar durante a maior parte do dia.

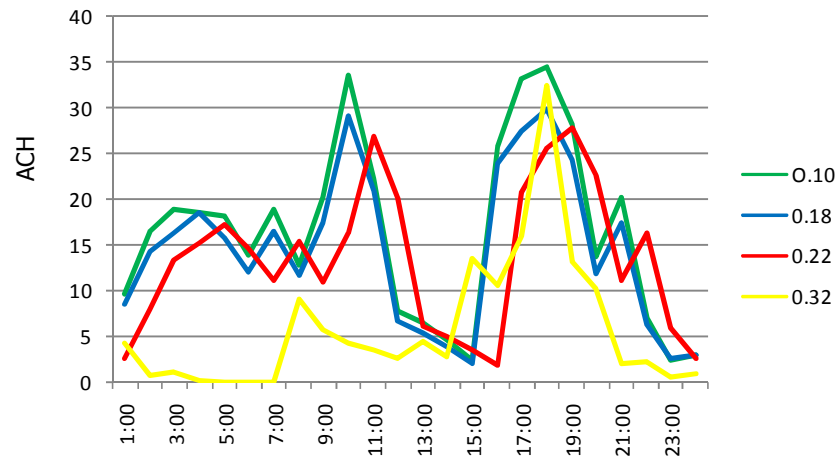


Figura 5. Obstruções externas.

## 5. ANÁLISE DAS ABERTURAS

Analisou-se a influência do tamanho das aberturas das janelas do modelo, em razão dos ganhos internos e das trocas de ar. Os casos foram simulados com padrão de uso das 8h às 18h. Adotaram-se os valores de WWR de 10% (Figura 6), 30% (Figura 7), e 80% (Figura 8). A análise foi realizada no dia 25/01.

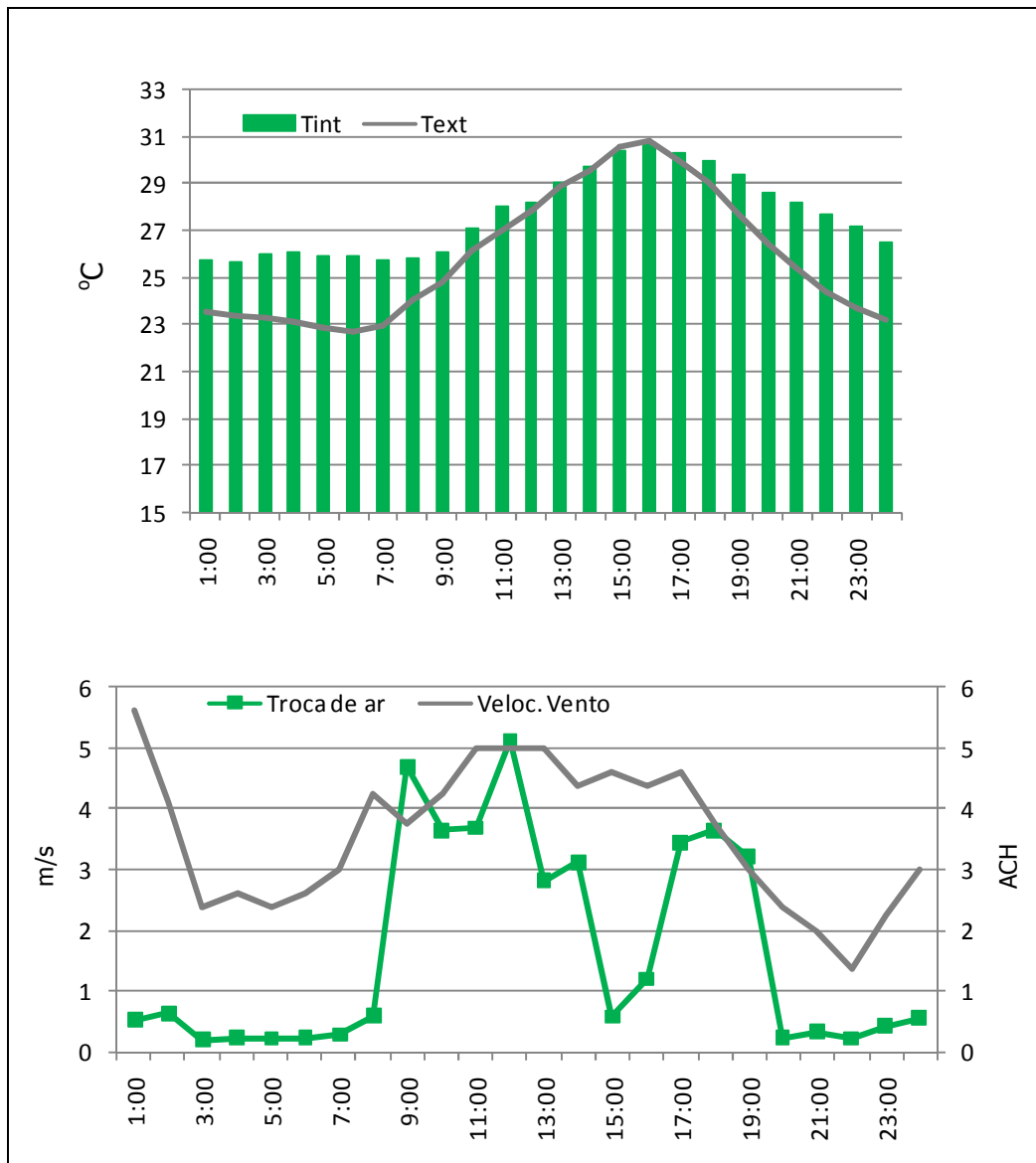


Figura 6. Janelas com WWR de 19%.

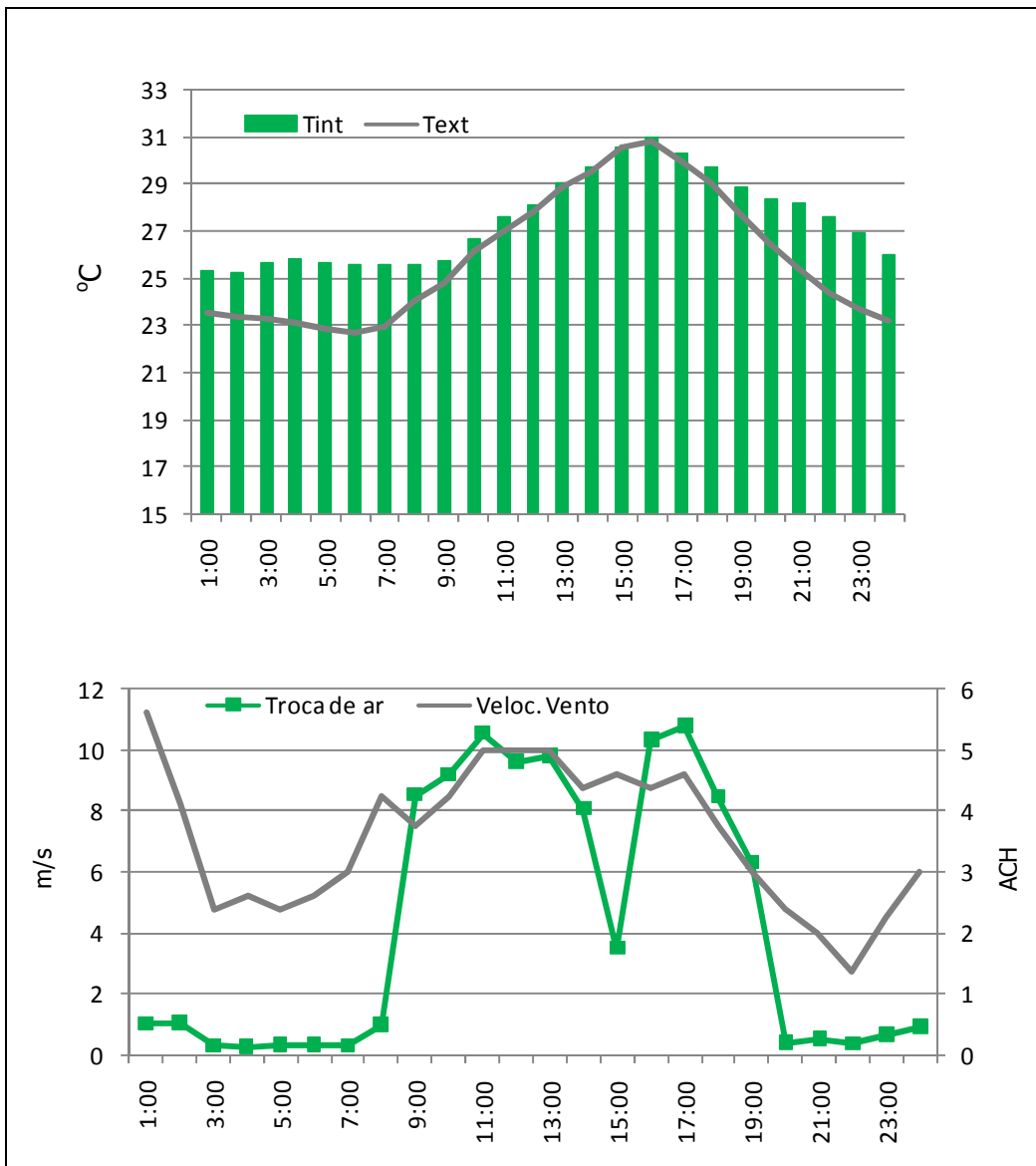


Figura 7. Janelas com WWR de 30%.



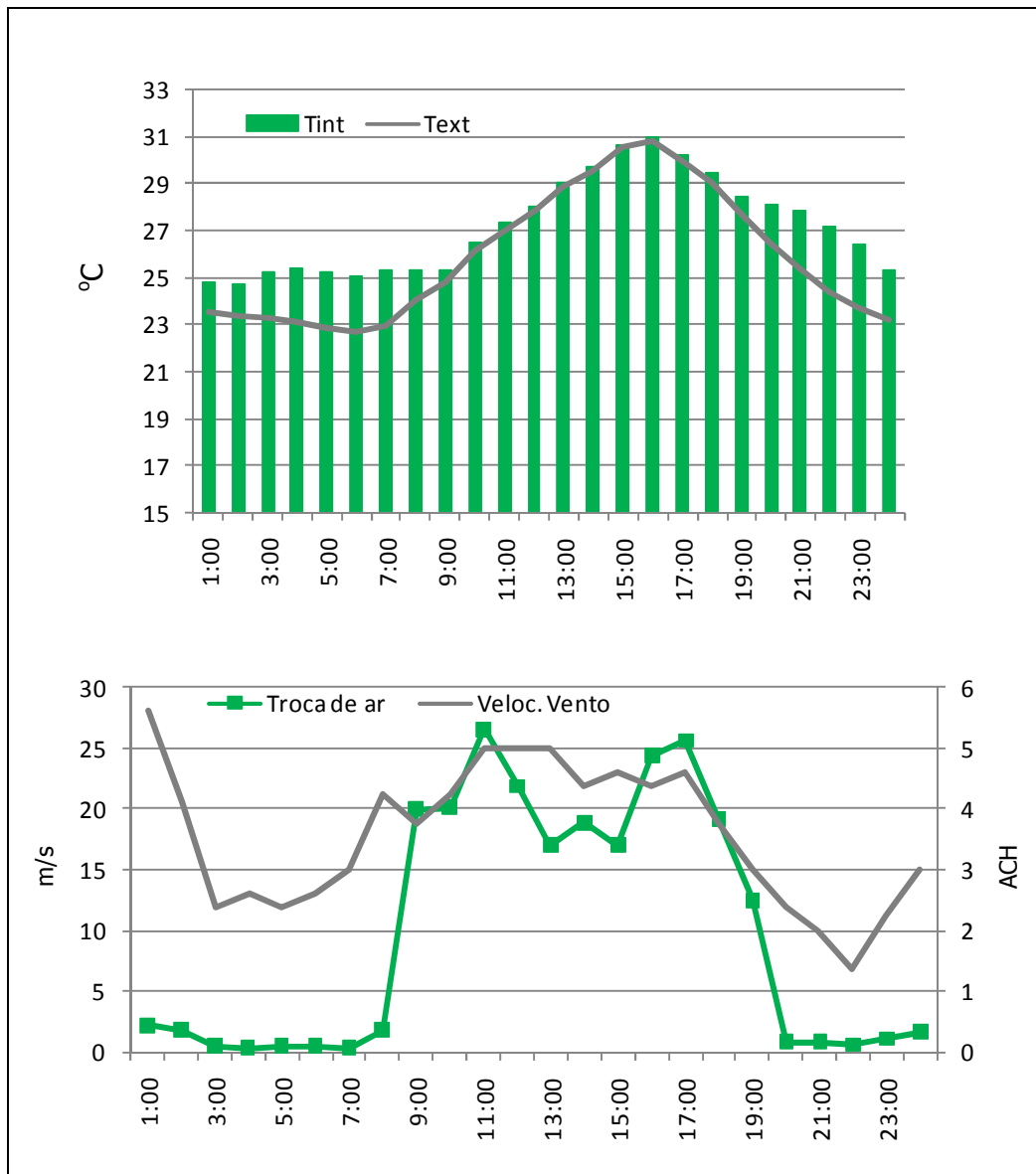


Figura 8. Janelas com WWR de 80%.

## 6. ANÁLISE DO MODELO SEM A UTILIZAÇÃO DA VENTILAÇÃO NATURAL

Para analisar a influência da ventilação natural no modelo, observou-se a temperatura interna da edificação com e sem a utilização da ventilação natural. Através da Figura 9 pode-se observar que o valor da temperatura interna do caso base com a utilização da ventilação natural acompanha a temperatura externa durante o período de ocupação. Já na Figura 10, nota-se que a temperatura interna do caso base

é maior que a temperatura externa em razão da não utilização da ventilação natural no período de ocupação.

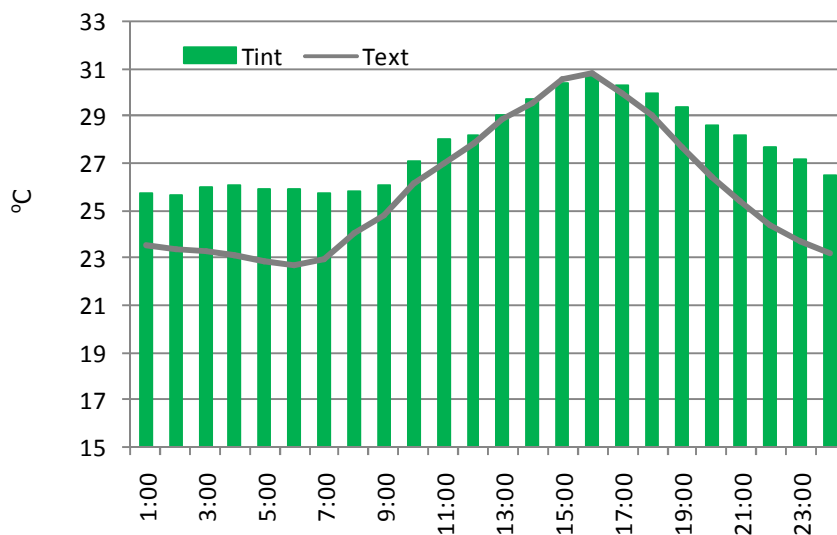


Figura 9. Caso base com ventilação natural.

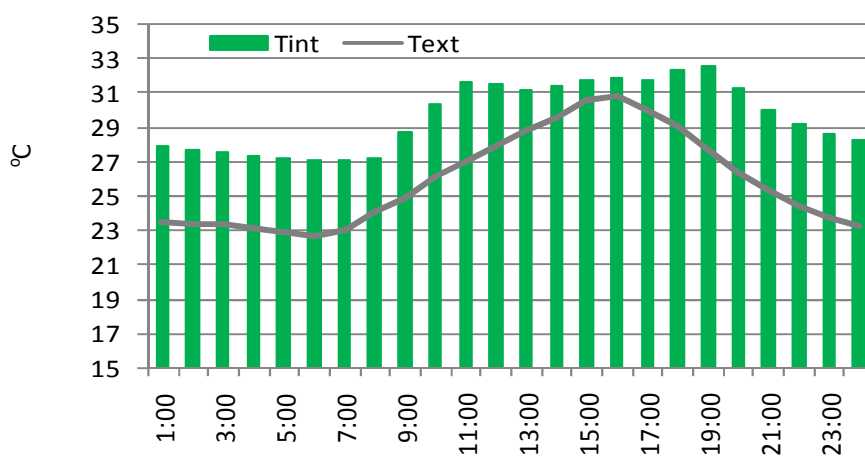


Figura 10. Caso base sem ventilação natural.

## 7. ANÁLISE DO MODELO COM VENTILAÇÃO NATURAL DURANTE 24HRS

Através do caso base, optou-se em analisar a temperatura interna do modelo utilizando a ventilação natural durante 24 horas. Através da Figura 11 e da Figura 12

pode-se observar que a utilização da ventilação natural durante 24 horas reduz em alguns graus a temperatura interna do modelo.

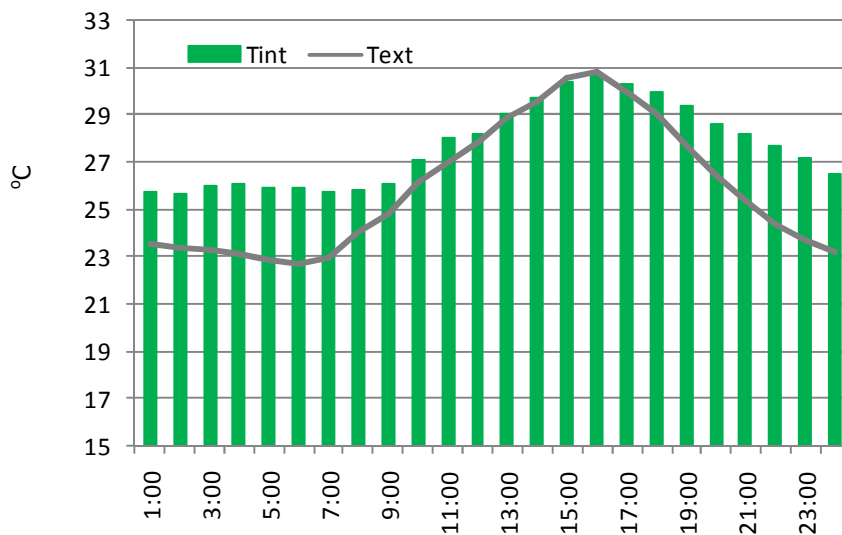


Figura 11. Caso base com ventilação durante período de ocupação.

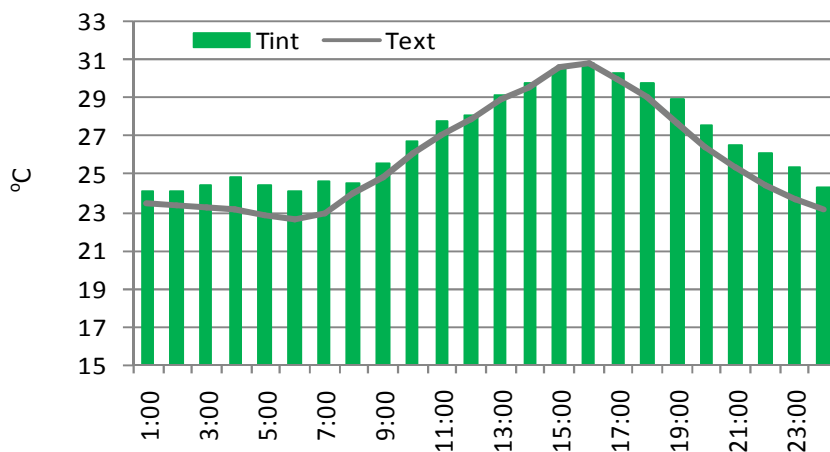


Figura 12. Caso base com ventilação durante 24 horas.

## 8. CONFORTO TÉRMICO

Para o cálculo do conforto térmico utilizou-se a ASHRAE Standard 55 – 2004. Calculou-se a temperatura média mensal de cada mês e, através da Figura 5.3 encontrou-se o valor de temperatura máxima e mínima para o conforto.

Os meses de verão adotados foram os meses de Janeiro, Fevereiro, Março, Outubro, Novembro e Dezembro. E os meses de inverno adotados foram os meses de Abril, Maio, Junho, Julho, Agosto e Setembro.

Para a análise foram adotados os climas de Florianópolis e Maceió. Analisaram-se as horas de conforto para as horas ocupada (8h – 18h), para os WWR de 10%, 19%, 30%, 45%, 62% e 80%.

### 8.1 Conforto Térmico – Com carga térmica

Analisaram-se as horas de conforto térmico do modelo com carga térmica instalada para os climas de Florianópolis e Maceió.

A Tabela 5 apresenta as horas de conforto do modelo utilizando a temperatura de Set Point de 15°C para os meses de verão e 20°C para os meses de inverno, para o clima de Florianópolis. Observa-se que quanto maior o WWR, maior é a perda de calor refletindo em uma menor quantidade de horas de conforto.

Tabela 5. Horas de conforto com carga - 15°C (verão) e 20°C (inverno) – Floripa.

WWR	10%	19%	30%	45%	62%	80%
Verão	1204	1192	1099	1128	1002	967
Inverno	1277	936	922	906	847	850
Soma	2262	2128	2021	2034	1850	1818
% conforto	75%	70%	67%	67%	61%	60%

A Tabela 6 apresenta as horas de conforto do modelo utilizando a temperatura de Set Point de 18°C para os meses de verão e 25°C para os meses de inverno, para o

clima de Florianópolis. Nota-se que aumentando a temperatura de Set Point, as horas de conforto tanto para os meses de verão como para os meses de inverno aumentam.

Tabela 6. Horas de conforto com carga – 18°C (verão) e 25°C (inverno) - Floripa.

WWR	10%	19%	30%	45%	62%	80%
Verão	1237	1226	1154	1177	1064	1017
Inverno	1612	1285	1273	1253	1127	1114
Soma	2625	2511	2427	2430	2192	2132
% conforto	86%	83%	80%	80%	72%	70%

Através da Tabela 7 pode-se observar as horas de conforto do modelo utilizando a temperatura de Set Point de 15°C para os meses de verão e 20°C para os meses de inverno, para o clima de Maceió. Observa-se que a maior quantidade de horas de desconforto encontrada foi para os meses de verão.

Tabela 7. Horas de conforto com carga - 15°C (verão) e 20°C (inverno) - Maceió.

WWR	10%	19%	30%	45%	62%	80%
Verão	778	775	688	721	586	550
Inverno	1516	1338	1235	1286	1101	1056
Soma	2139	2113	1923	2007	1688	1607
% conforto	70%	70%	63%	66%	56%	52%

Com o aumento da temperatura de Set Point para o clima de Maceió (Tabela 8), observa-se que apesar do aumento das horas de desconforto para os meses de verão as horas de conforto anual aumentaram em torno de 2% para cada WWR analisado.

Tabela 8. Horas de conforto com carga – 18°C (verão) e 25°C (inverno) - Maceió.

WWR	10%	19%	30%	45%	62%	80%
Verão	781	757	674	711	580	525
Inverno	1579	1401	1297	1353	1162	1107
Soma	2201	2158	1971	2064	1743	1633
% conforto	72%	71%	65%	68%	57%	54%

## 8.2 Conforto Térmico – Sem carga térmica

Foram também analisadas as horas de conforto térmico do modelo sem a carga térmica instalada para os climas de Florianópolis e Maceió.

A Tabela 9 apresenta as horas de conforto para o clima de Florianópolis. Nota-se que as horas de conforto são menores que as horas de conforto encontradas para o modelo com a carga térmica instalada. As horas de desconforto nos meses de inverno são maiores em razão da falta do calor da carga interna instalada.

Tabela 9. Horas de conforto sem carga - 15°C (verão) e 20°C (inverno) - Floripa.

WWR	10%	19%	30%	45%	62%	80%
Verão	1236	1264	1196	1207	887	859
Inverno	675	716	746	757	848	848
Soma	1911	1980	1942	1964	1736	1708
% conforto	63%	65%	64%	65%	57%	56%

Aumentando a temperatura de Set Point, aumenta as horas de conforto do modelo sem carga interna instalada para o clima de Florianópolis, como pode ser observado através da Tabela 10.

Tabela 10. Horas de conforto sem carga – 18°C (verão) e 25°C (inverno) - Floripa.

WWR	10%	19%	30%	45%	62%	80%
Verão	1304	1324	1262	1262	1082	1051
Inverno	1040	857	870	890	889	908
Soma	2114	2181	2122	2152	1972	1960
% conforto	69%	72%	70%	71%	65%	64%

Para o clima de Maceió, a retirada da carga interna instalado do modelo fez com que as horas de conforto aumentassem. Pode-se observar através da Tabela 11 que as

horas de conforto nos meses de verão aumentam com a ausência da carga interna instalada.

Tabela 11. Horas de conforto sem carga - 15°C (verão) e 20°C (inverno) - Maceió.

WWR	10%	19%	30%	45%	62%	80%
Verão	987	950	861	885	735	711
Inverno	1516	1338	1235	1286	1101	1056
Soma	2348	2288	2096	2171	1837	1768
% conforto	77%	75%	69%	72%	60%	58%

O aumento da temperatura de Set Point para os meses de verão e inverno, aumentou as horas de conforto para o clima de Maceió (Tabela 12). A utilização do WWR de 10% - 45% diminuíram ainda mais as horas de desconforto para os meses de verão quando comparado com o caso anterior.

Tabela 12. Horas de conforto sem carga – 18°C (verão) e 25°C (inverno) - Maceió.

WWR	10%	19%	30%	45%	62%	80%
Verão	1291	1105	956	948	715	635
Inverno	1564	1355	1340	1369	1195	11152
Soma	2627	2460	2296	2317	1911	1788
% conforto	86%	81%	75%	76%	63%	59%

### 8.3 Conforto Térmico – Brises 45°

Analisou-se a utilização de brises com sombreamento de 45° nas janelas do modelo. Utilizou-se o caso com carga térmica instalada e com as temperaturas de Set Point de 18°C para o verão e 25°C para o inverno. Através da Tabela 13 observa-se que a utilização de brises nas janelas aumenta as horas de conforto para o clima de Florianópolis.

Tabela 13. Horas de conforto com *brises* – 18°C (verão) e 25°C (inverno) – Floripa.

WWR	10%	19%	30%	45%	62%	80%
Verão	1288	1226	1154	1177	1064	1017
Inverno	1612	1285	1273	1253	1127	1114
Soma	2676	2511	2427	2430	2192	2132
% conforto	88%	83%	80%	80%	72%	70%

Para Maceió, a utilização de brises nas janelas do modelo também refletiu em um aumento das horas de conforto. As horas de conforto aumentaram em torno de 2% para cada WWR, como pode ser observado através da Tabela 14.

Tabela 14. Horas de conforto com *brises* – 18°C (verão) e 25°C (inverno) - Maceió.

WWR	10%	19%	30%	45%	62%	80%
Verão	781	757	674	711	580	525
Inverno	1579	1401	1297	1353	1162	1107
Soma	2201	2158	1971	2064	1743	1633
% conforto	72%	71%	65%	68%	57%	54%

## 9. COMPARAÇÃO ENTRE FLORIANÓPOLIS E MACEIÓ

Analisou-se a velocidade do vento e a trocas de ar para os climas de Florianópolis e Maceió. Os valores de WWR analisados foram: 19% (Figura 13), 30% (Figura 14), 45% (Figura 15) e 80% (Figura 16). Através das figuras nota-se que o clima de Maceió possui a velocidade de vento praticamente constante durante os dias, melhorando a troca de ar do modelo.





Figura 13. Florianópolis e Maceió – WWR de 19%.

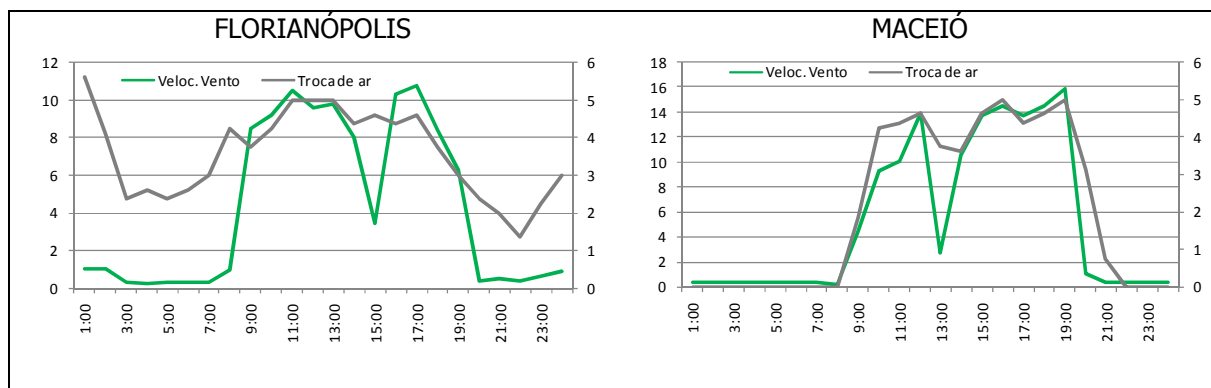


Figura 14. Florianópolis e Maceió – WWR de 30%.

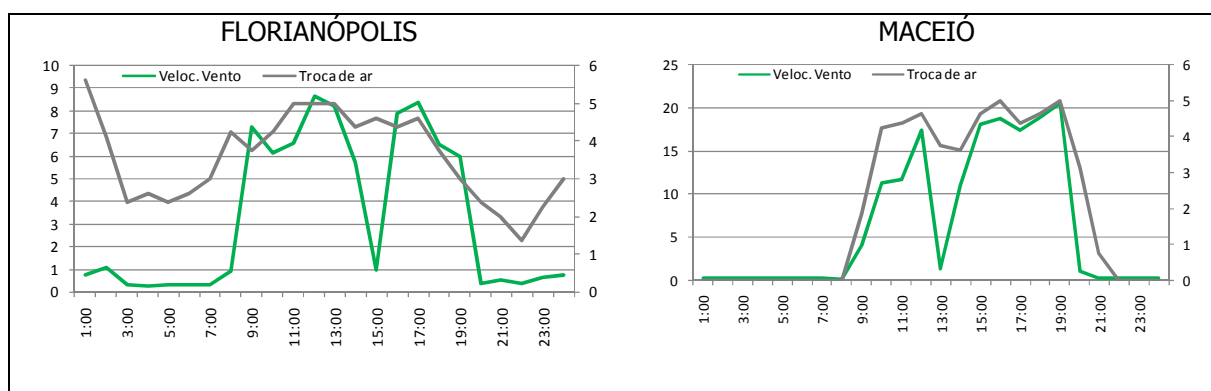


Figura 15. Florianópolis e Maceió – WWR de 45%.

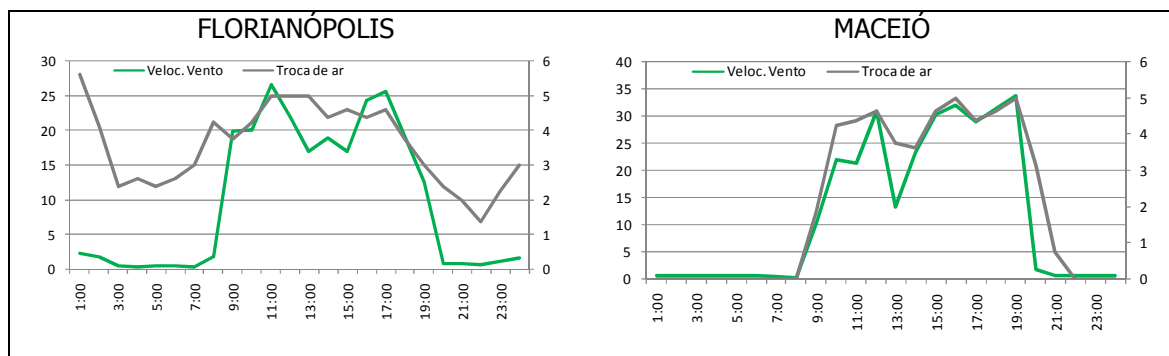


Figura 16. Florianópolis e Maceió – WWR de 80%.

### 10. HORAS DE CONFORTO

Analisaram-se as horas de conforto do dia 25/01 para o clima de Florianópolis, utilizando carga interna no modelo (Figura 17) e sem carga interna no modelo (Figura 18) para comparar a temperatura da zona nestes casos. Através das figuras pode-se observar que durante as horas ocupadas, o modelo com carga interna possui 3 horas de conforto para o dia analisado. Já o modelo sem carga interna possui 5 horas de conforto.

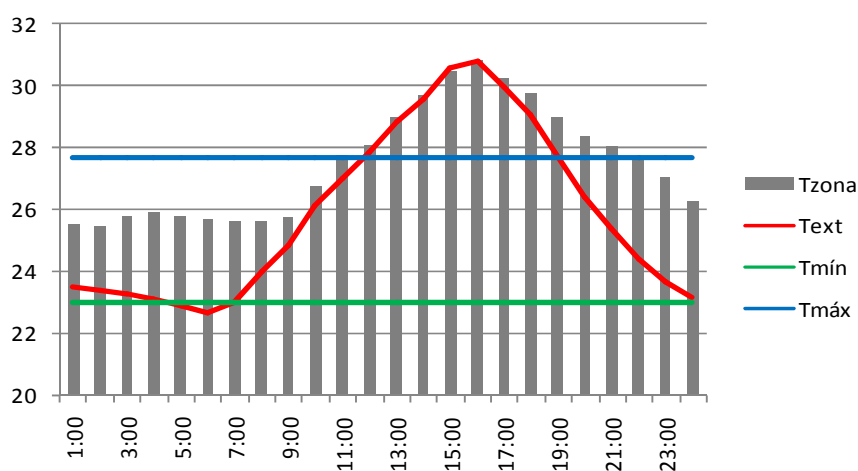


Figura 17. Caso base com carga interna - Floripa.

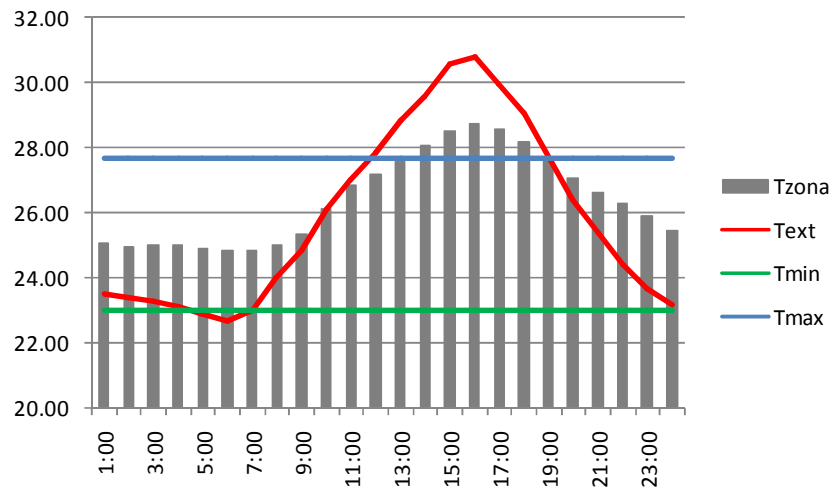


Figura 18. Caso base sem carga interna - Florianópolis.

**11. AIR MASS FLOW COEFFICIENT**

Analisando os valores *do air mass flow coefficient* inseridos no programa EnergyPlus anteriormente, observou-se que estes deveriam ser inseridos com a unidade de kg/sm. Alterando a unidade, o valor do coeficiente para as janelas ficou em 0.0001 e para as portas em 0.00005.

Através da Tabela 14 podem-se observar os novos valores encontrados para o conforto térmico do modelo base para a cidade de Florianópolis.

Tabela 14. Horas de conforto: *air mass flow coefficient* – Florianópolis.

WWR	10%	19%	30%	45%	62%	80%
Soma	2297	2289	2256	2276	2205	2202
Verão	983	974	953	963	907	907
Inverno	1314	1315	1303	1313	1298	1295
% total	76	75	74	75	73	73

## 12. CUBO – CASO 600

Optou-se em também analisar as horas de conforto de um cubo para analisar a influência da utilização de brises na fachada norte, brises na fachada norte e sul e a utilização de isolantes térmicos nas paredes, piso e cobertura.

O cubo possui as dimensões e os materiais utilizados no Caso 600 do BESTEST. O clima adotado foi o da cidade de Florianópolis. O cubo possui duas janelas, sendo uma localizada na fachada norte e a outra na fachada sul.

Através da Tabela 15 observa-se a percentagem de conforto encontrada para o cubo com a utilização de inércia térmica nas paredes, piso e cobertura.

Tabela 15. Horas de conforto - cubo com inércia.

WWR	10%	19%	30%	45%	62%	80%
Soma	2241	2188	2147	2122	2096	2063
Verão	942	904	883	874	867	860
Inverno	1452	1284	1264	1248	1229	1203
% total	74	72	71	70	69	68

Através da Tabela 16 observa-se a percentagem de conforto encontrada para o cubo com a utilização de inércia térmica nas paredes, piso e cobertura e com a utilização de brises de 45° nas janelas.

Tabela 16. Horas de conforto - cubo com inércia e brises de 45°.

WWR	10%	19%	30%	45%	62%	80%
Soma	2034	2014	1996	1984	1967	1949
Verão	892	869	859	849	839	832
Inverno	1283	1145	1137	1135	1128	1117
% total	67	66	66	65	65	64

Nota-se que com a utilização de brises nas janelas as horas de conforto são reduzidas tanto para as horas de inverno como para as horas de verão. E que as horas de conforto diminuem com o aumento do WWR.

Através da Tabela 17 observa-se a percentagem de conforto encontrada para o cubo com a utilização de isolante térmico nas paredes, piso e cobertura e com a utilização de brises de 45° nas janelas.

Tabela 17. Horas de conforto - cubo com isolante e brises de 45°.

WWR	10%	19%	30%	45%	62%	80%
Soma	1697	1798	1833	1838	1853	1858
Verão	721	764	782	780	778	781
Inverno	1097	1034	1051	1058	1075	1077
% total	56	59	60	61	61	61

Observam-se as horas de conforto encontradas para o cubo com a utilização de isolante térmico e brises de 45° nas janelas aumentam com o aumento do WWR. Nota-se que a utilização da inércia térmica diminui as horas de conforto com o aumento do WWR. Por outro lado, a utilização dos isolantes térmicos permite que o ambiente resulte em uma maior hora de conforto com o aumento do WWR.

Os isolantes térmicos são materiais ou uma combinação de diferentes materiais que restringem o fluxo de calor em edificações. O calor é transferido naturalmente do ambiente mais quente para o mais frio. Geralmente, durante o verão, o calor se difunde de fora para dentro da edificação, exigindo uma maior utilização do sistema de condicionamento de ar. Durante o inverno, o sentido da transferência de calor é inverso ao do verão, fluindo do ambiente interno para o externo, exigindo uma maior utilização do sistema de calefação.

A propriedade mais importante dos materiais utilizados como isolantes térmicos é a condutividade térmica, que juntamente com a espessura da parede deve resultar em uma elevada resistência térmica.

Segundo DOE (2007) a utilização do isolamento térmico pode melhorar a eficiência energética das edificações, da seguinte forma:

- a) Economia no consumo de energia elétrica; pelo fato do isolamento térmico restringir a entrada de calor;
- b) Redução do uso do sistema de condicionamento de ar;
- c) Diminuição da emissão de poluentes para o meio ambiente devido a redução de utilização de sistemas elétricos e mecânicos;
- d) Aumento do período onde a temperatura interna do ambiente fica mais confortável aos usuários;
- e) Redução do ruído procedente de ambientes vizinhos e externos;
- f) Redução da flutuação da temperatura interna.

### **13. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ASHRAE – American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers. **ASHRAE Handbook – Fundamentals**. Atlanta, 2001.

ASHRAE – American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers. **ANSI/ASHRAE Standard 55-2004: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. Atlanta, 2004.

LIDDAMENT, M. Air Infiltration Calculation Techniques – An Applications Guide. Bracknell, Berkshire. 1986.

DOE. United States Department of Energy. Disponível em: <http://www.energy.gov/>  
Acesso em: outubro 2007.

ENERGYPLUS. Programa de simulação computacional. Disponível em: <http://www.eere.energy.gov/buildings/energyplus>

ENGINEERING REFERENCE. Fórmulas e métodos de cálculo adotados pelo programa EnergyPlus. Disponível juntamente com o *download* do programa.

FEUSTEL, H. E.(ed.); RAYNOR-HOOSSEN, A. (ed) Fundamentals of the Multizone Air Flow Model – COMIS. Technical Note 29. Great Britain: AIVC, 1990.

GETTING STARTED. Manual do programa EnergyPlus. Disponível juntamente com o *download* do programa.

INPUT OUTPUT REFERENCE. Dados de entrada e saída do programa EnergyPlus. Disponível juntamente com o *download* do programa.

TNO BUILT ENVIRONMENT AND GEOSCIENCES. Programa para cálculo do coeficiente de pressão do vento. Disponível em: <http://www.cpgen.bouw.tno.nl/cp/>

WINDS EFFECTS ON BUILDINGS AND URBAN ENVIRONMENT. Valores dos coeficientes de pressão. Disponível em: [http://www.wind.arch.t-kougei.ac.jp/eng/w\\_it.html](http://www.wind.arch.t-kougei.ac.jp/eng/w_it.html)