



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

**MANUAL DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE
EDIFÍCIOS NATURALMENTE VENTILADOS
NO PROGRAMA *ENERGYPLUS* – Versão 8.0**

Helena A. da C. Pereira, IC.
Ana Paula Melo, Dr. Eng.
Rogério Versage, M. Eng.
Márcio Sorgato, M. Eng.
Roberto Lamberts, PhD.

Florianópolis, Outubro de 2013.

MANUAL DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE EDIFÍCIOS NATURALMENTE VENTILADOS NO PROGRAMA ENERGYPLUS – Versão 8.0

Elaborado por:

Helena A. da C. Pereira, IC.

helenaaviz@labeee.ufsc.br

Ana Paula Melo, Dr. Eng.

apaula_melo@labeee.ufsc.br

Rogério Versage, M. Eng.

versage@labeee.ufsc.br

Márcio Sorgato, M. Eng.

marciosorgato@labeee.ufsc.br

Roberto Lamberts, PhD.

lamberts@labeee.ufsc.br

INFORMAÇÕES GERAIS

Este manual foi elaborado com o objetivo de auxiliar o usuário do programa *EnergyPlus* a inserir os parâmetros necessários para simular edificações naturalmente ventiladas, utilizando a versão 8.0 do programa. A elaboração do manual 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 manual é apresentado de forma clara e objetiva, descrevendo cada *input* necessário para a utilização da estratégia de ventilação natural nas edificações.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
2. O PROGRAMA COMPUTACIONAL ENERGYPLUS	9
3. AIRFLOW NETWORK	10
3.1 AIRFLOWNETWORK SIMULATION CONTROL	11
3.1.1 Field: Name	11
3.1.2 Field: AirflowNetwork Control.....	11
3.1.3 Field: Wind Pressure Coefficient Type.....	11
3.1.4 Field: AirflowNetwork Wind Pressure Coefficient Array Name.....	14
3.1.5 Field: Height Selection for Local Wind Pressure Calculation.....	14
3.1.6 Field: Building Type	14
3.1.7 Field: Maximum Number of Iterations.....	15
3.1.8 Field: Initialization Type	15
3.1.9 Field: Relative Airflow Convergence Tolerance.....	15
3.1.10 Field: Absolute Airflow Convergence Tolerance.....	15
3.1.11 Field: Convergence Acceleration Limit.....	15
3.1.12 Field: Azimuth Angle of Long Axis of Building	15
3.1.13 Field: Ratio of Building Width Along Short Axis to Width Along Long Axis.....	16
3.2 AIRFLOWNETWORK:MULTIZONE:ZONE	16
3.2.1 Field: Zone Name	16
3.3 AIRFLOWNETWORK:MULTIZONE:SURFACE	16
3.3.1 Field: Surface Name.....	16
3.3.2 Field: Leakage Component Name.....	16
3.3.3 Field: External Node Name	16
3.3.4 Field: Wind/Door Opening Factor, or Crack Factor.....	16
3.3.5 Field: Ventilation Control Mode	17
3.3.6 Field: Ventilation Control Zone Temperature Setpoint Schedule Name.....	18
3.3.7 Field: Minimum Venting Open Factor.....	18
3.3.8 Field: Venting Availability Schedule Name	19
3.4 AIRFLOWNETWORK:MULTIZONE:COMPONENT DETAILED OPENING	20
3.4.1 Field: Name	20
3.4.2 Field: Air Mass Flow Coefficient When Opening is Closed.....	20
3.4.3 Field: Air Mass Flow Exponent When Opening is Closed	26

3.4.4 Field: Type of Rectangular Large Vertical Opening (LVO)	27
3.4.5 Field: Extra Crack Length or Height of Pivoting Axis.....	27
3.4.6 Field: Number of Sets of Opening Factor Data.....	27
3.4.7 Field: Opening Factor #n.....	28
3.4.8 Field: Discharge Coefficient for Opening Factor #n.....	28
3.4.9 Field: Width Factor for Opening Factor #n.....	28
3.4.10 Field: Height Factor for Opening Factor #n	29
3.4.11 Field: Start Height Factor for Opening Factor #n	29
3.5 AIRFLOWNETWORK:MULTIZONE:EXTERNAL NODE.....	29
3.5.1 Field: Name	29
3.5.2 Field: External Node Heigh	29
3.5.3 Field: Wind Pressure Coefficient Values Object Name.....	29
3.6 AIRFLOWNETWORK:MULTIZONE:WIND PRESURE COEFFICIENT ARRAY	29
3.6.1 Field: Name	30
3.6.2 Field: Wind Direction #1 – Wind Direction #n	30
3.7 AIRFLOWNETWORK:MULTIZONE:WIND PRESURE COEFFICIENT VALUES	30
3.7.1 Field: Name	30
3.7.2 Field: AirflowNetwork WindPressureCoefficient Array Name.....	30
3.7.3 Field: Wind Pressure Coefficient Value #1.....	30
4. AIRFLOW NETWORK OUTPUTS.....	31
4.1 ZONE MEAN TEMPERATURE	31
4.2 AFN NODE WIND PRESSURE [Pa]	31
4.3 AFN SURFACE VNETING WINDOW OR DOOR OPENING FACTOR.....	31
4.4 AFN SURFACE VENTING INSIDE SETPOINT TEMPERATURE [C].....	31
4.5 AFN SURFACE VENTING AVAILABILITY STATUTS.....	31
4.6 AFN ZONE INFILTRATION AIR CHANGE RATE.....	31
4.7 AFN SURFACE VENTING WINDOW OR DOOR OPENING MODULATION MULTIPLIER	32
5. EXEMPLO	32
5.1 MODELO RESIDENCIAL.....	32
5.1.1 AirflowNetwork Simulation Control	34
5.1.2 AirflowNetwork:Multizone:Zone.....	34
5.1.3 AirflowNetwork:Multizone:Surface.....	34
5.1.4 AirflowNetwork:Multizone:Component Detailed Opening	35
5.1.5 Análise dos resultados.....	35

5.2 MODELO COMERCIAL	43
5.2.1 <i>AirflowNetwork Simulation Control</i>	44
5.2.2 <i>AirflowNetwork:Multizone:Zone</i>	44
5.2.3 <i>AirflowNetwork:Multizone:Surface</i>	44
5.2.4 <i>AirflowNetwork:Multizone:Component Detailed Opening</i>	45
5.2.5 <i>Análise dos resultados</i>	46
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55

1. INTRODUÇÃO

A ventilação natural quando corretamente utilizada pode representar importante fator de conforto e melhoria das condições ambientais no interior dos edifícios. Trata-se de uma estratégia aplicada desde o início da história da arquitetura, para amenizar as altas temperaturas internas, em regiões de clima quente, sendo até hoje amplamente empregada em edificações residenciais e comerciais.

O uso da ventilação natural nas edificações pode proporcionar conforto térmico aos seus usuários, por diminuir as altas temperaturas internas. Esta estratégia também reduz o consumo de energia, por evitar ou minimizar a utilização dos sistemas de condicionamento de ar. Além disso, a ventilação natural mantém a qualidade interna do ar pela renovação, entre outras funções.

Entretanto, a grande maioria das edificações comerciais é resfriada através de sistemas de condicionamento de ar. Os sistemas de condicionamento de ar são responsáveis por manter o ambiente interno em condições constantes de temperatura, mas como consequência isto representa elevados gastos de consumo de energia elétrica refletindo em um grande impacto para o meio ambiente. Além disso, os usuários têm uma menor oportunidade de ajustar estes sistemas para a sua preferência de conforto térmico. Em contraste, edificações naturalmente ventiladas permitem que os seus ocupantes tenham o controle da abertura ou fechamento das janelas para manter a temperatura do ambiente em condições agradáveis, refletindo em um menor consumo de energia elétrica quando comparadas às edificações condicionadas.

A otimização do sistema de ventilação natural em edificações de países de clima quente, como o Brasil, pode contribuir para a diminuição do consumo dos sistemas de condicionamento de ar, o que traz benefícios ao usuário e à sociedade em geral. Os benefícios podem vir da redução de custos com energia elétrica, da redução das penalidades pelo uso da energia e do aumento do conforto térmico.

Muitos programas computacionais nacionais e internacionais estão sendo desenvolvidos para o cálculo de cargas térmicas, avaliação das condições de conforto térmico e desempenho energético de edificações. Atualmente, existem diversas ferramentas computacionais para analisar o desempenho energético e o consumo de energia das edificações, sendo que a escolha vai depender da aplicação. Segundo o DOE (2013) o Diretório de Ferramentas de Simulações Computacionais do

Departamento de Energia dos Estados Unidos apresenta mais de 408 programas de simulação desenvolvidos em diversos países, como por exemplo: BLAST, Comis, DOE2.1E, EnergyPlus, Sunrel, TRNSYS, Tas, TRACE, eQUEST, ECOTECT, Window, entre outros.

O uso de programas computacionais tem contribuído em muito na busca de soluções para a área energética. Seja na escolha de um sistema de condicionamento de ar eficiente, de lâmpadas e luminárias de alto rendimento; no projeto de proteções solares; na instalação de um sistema de cogeração ou até mesmo na análise das contas de energia elétrica de uma edificação.

O programa EnergyPlus, internacionalmente conhecido, possibilita simulações confiáveis de diversas tipologias arquitetônicas, sistemas construtivos e condicionamento de ar. Trata-se de um software de simulação de carga térmica e análise energética, desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, a partir de dois outros softwares, o BLAST e o DOE-2.

O método da ventilação natural presente no programa *EnergyPlus* foi validado através de medições de dados obtidos pelo Laboratório Nacional de Oak Ridge (ORNL) e pelo Centro de Energia Solar da Flórida (FSEC). Foram adotadas diferentes edificações, onde estas foram inseridas no programa EnergyPlus para validar específicos parâmetros relacionados com o modelo de ventilação natural inserido no programa. Através dos resultados foi possível comparar os resultados das medições com os resultados obtidos através da simulação computacional. Observou-se que estes estavam de acordo com os dados das medições realizadas, podendo afirmar que o método da ventilação natural inserido no programa EnergyPlus está coerente.

O Instituto Internacional de Normalização e Tecnologia (NIST) desenvolveu o programa AIRNET (WALTON, 1989). Em 1990, pesquisadores do Laboratório Nacional de Lawrence Berkeley desenvolveram o programa COMIS. Ambos os programas analisam as trocas de ar do modelo de acordo com as temperaturas de cada nó.

Primeiramente, o programa EnergyPlus utilizava o COMIS para analisar a ventilação uma vez que este permitia mais interações com os modelos. Depois, foi inserido no EnergyPlus um sistema de distribuição de ar o qual utilizava equações derivadas do programa AIRNET. Este sistema analisava a ventilação através do sistema de distribuição de ar e calculava as perdas de energia.

Durante algum tempo, ambos os programas estavam inseridos no EnergyPlus, apesar de o COMIS e o AIRNET possuírem focos diferentes. Entretanto, hoje em dia o

programa AIRNET substituiu o COMIS para que o EnergyPlus ficasse integrado com o sistema de ventilação e distribuição de ar (GU, 2007).

Através deste manual pretende-se detalhar os parâmetros necessários para a modelagem da ventilação natural no programa computacional EnergyPlus, apresentando o porquê da utilização dos dados de entrada em cada item do programa.

2. O PROGRAMA COMPUTACIONAL ENERGYPLUS

Para a elaboração do manual referente a ventilação natural adotou-se o programa de simulação computacional EnergyPlus, utilizando a versão 8.0.0 (DOE, 2013). O programa EnergyPlus foi desenvolvido através da fusão dos programas *DOE-2* e *BLAST* pelo *Lawrence Berkeley National Laboratory* (LBNL), em sociedade com outros laboratórios. Esta foi uma iniciativa do Departamento de Energia Norte-Americano, para estimular o desenvolvimento de um código computacional que fosse capaz de calcular não só a carga térmica da edificação, mas também que pudesse prever o consumo de energia do sistema de climatização.

Além disso, o algoritmo COMIS (FEUSTEL & RAYNOR-HOOSSEN, 1990) foi incorporado ao Energyplus, o que permite a simulação da ventilação natural, juntamente com a simulação térmica da edificação, a partir da sua geometria e das condições climáticas locais. A partir da versão 1.3.0 do programa, o modelo de cálculo do fluxo de ar passou a ser chamado de *AirflowNetwork*. Esse modelo, além de incluir partes da versão mais recente do COMIS, passou a adotar partes da rotina de cálculo do programa AIRNET (WALTON, 1989). O COMIS foi desenvolvido através de um esforço multinacional e multi-institucional sob a supervisão da Agência Internacional de Energia (IEA). O programa AIRNET foi desenvolvido por George Walton do NIST – USA *National Institute of Standards and Technology*.

Para realizar uma simulação no EnergyPlus é necessário, inicialmente, modelar a geometria e os componentes construtivos do modelo. A modelagem da geometria é realizada através de coordenadas cartesianas. E os componentes construtivos são tratados como *layers*, ou seja, é necessário criar cada camada constituinte. A maioria das informações necessárias para o cálculo do fluxo de ar é automaticamente extraída da descrição da edificação para a modelagem térmica. Alguns exemplos são o volume e a altura neutra das zonas, a orientação e localização das superfícies da edificação que contém frestas ou aberturas. O objeto *AirflowNetwork* calcula o fluxo de ar entre

zonas e o exterior, através de frestas e janelas. No módulo relacionado à ventilação natural são determinados os *links* (entradas) do fluxo de ar, as características do entorno da edificação, as condições de abertura das janelas e portas e as condições de ventilação. O algoritmo permite que sejam criadas *schedules* de controle, de disponibilidade de ventilação, entre outras. O programa pode calcular automaticamente os coeficientes de pressão, mas para isso é necessário que o prédio possua uma geometria retangular.

3. AIRFLOW NETWORK

A ventilação no programa EnergyPlus pode ser dividida em dois tipos: natural e forçada. Na ventilação forçada, força-se a renovação de ar através de equipamentos e outros métodos. Já na ventilação natural, a qual será abordada neste manual, é baseada na movimentação do ar por forças naturais, particularmente através da movimentação do ar pelo interior da edificação. A ventilação natural depende da diferença de temperatura entre o ar dentro e fora da edificação; da diferença da altura entre a entrada de ar e as aberturas de exaustão; convecção do calor ascendente e da velocidade e direção do vento.

Para inserir a estratégia da ventilação natural no programa EnergyPlus são necessários inserir os seguintes objetos:

- *AirflowNetwork:SimulationControl* (define os parâmetros básicos para a simulação da ventilação);
- *AirflowNetwork:MultiZone:Zone* (controla a ventilação natural através das aberturas externas e internas da zona térmica);
- *AirflowNetwork:Multizone:Surface* (propriedades das superfícies para a ventilação natural);
- *AirflowNetwork:MultiZone:Component:DetailedOpening* (características da ventilação natural através das portas e janelas);
- *AirflowNetwork:MultiZone:ExternalNode* (define as condições externas da edificação);
- *AirflowNetwork:Multizone:WindPressureCoefficientArray* (características do vento);
- *AirflowNetwork:Multizone:WindPressureCoefficientValues* (definidos de acordo com a direção adotada para cada fachada).

A seguir, cada objeto de entrada e seus respectivos itens serão listados acima, apresentando o seu real significado para o funcionamento da ventilação natural em edificações.

3.1 AIRFLOWNETWORK SIMULATION CONTROL

Este objeto de entrada define os parâmetros básicos para o cálculo da ventilação e define se os coeficientes de pressão do vento são inseridos pelo usuário ou calculados pelo programa. As especificações de cada parâmetro de entrada relacionado com este objeto são:

3.1.1 Field: Name

Este parâmetro está relacionado com o nome que o usuário irá fornecer para o sistema de ventilação.

3.1.2 Field: AirflowNetwork Control

Este parâmetro está relacionado com o controle da ventilação. O programa fornece quatro tipos de controle:

- *Multizone with distribution*: o cálculo de ventilação das zonas acontece durante toda a simulação, incluindo o impacto do sistema de distribuição de ar;
- *Multizone without distribution*: o cálculo de ventilação das zonas acontece durante toda a simulação, mas o sistema de distribuição do ar não é modelado mesmo que este seja inserido no programa;
- *Multizone with distribution only during fan operation*: o cálculo de ventilação das zonas e o impacto do sistema de distribuição de ar somente ocorrem quando o ventilador do sistema de condicionamento de ar está funcionando.
- *No multizone or distribution*: Não ocorre o cálculo de ventilação das zonas e do sistema de distribuição do ar.

3.1.3 Field: Wind Pressure Coefficient Type

Determina se os coeficientes de pressão do vento são inseridos pelo usuário ou calculados pelo programa. As opções são:

- INPUT: o usuário deve inserir os coeficientes de pressão do vento nos seguintes objetos *AirflowNetwork:Multizone:Wind Pressure Coefficient Array*,

AirflowNetwork:Multizone:External Node e *AirflowNetwork:Multizone:Wind Pressure Coefficient Values*;

- SURFACE-AVERAGE CALCULATION: os coeficientes de pressão do vento são calculados pelo programa. Ressalta-se que esta opção somente pode ser utilizada se a edificação em estudo for retangular.

Caso o usuário opte em calcular os coeficientes de pressão do vento, pode-se utilizar a equação de Swami e Chandra (1988) localizada na ASHRAE 2001 – Fundamentals Handbook (ASHRAE, 2001).

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 (www.cpgen.bouw.tno.nl/cp/). Este programa é um aplicativo online, possuindo os arquivos de entrada em formato de texto.

Este programa dimensiona os coeficientes de pressão nas fachadas e cobertura da edificação, levando em consideração as obstruções externas. Os dados de entrada são inseridos de forma simples, determinando quais são as coordenadas da edificação, da sua orientação e de seus obstáculos. Deve-se também inserir as coordenadas do posicionamento dos coeficientes de pressão. O CP Generator é geralmente utilizado para calcular os coeficientes de pressão de edificações não complexas.

Outra opção é a base de dados do cálculo dos coeficientes de pressão realizado no Japão (*Wind Effects on Buildings and Urban Environment*). Nesta base de dados pode-se escolher a geometria da edificação e as proporções desta para analisar os resultados encontrados dos coeficientes de pressão (www.wind.arch.t-kougei.ac.jp/eng/w_it.html)

Esta base de dados fornece coeficientes de pressão em diferentes coordenadas das fachadas da edificação e cobertura. Mas para isso, foi necessário analisar a velocidade do vento, as características da influência deste nas edificações, estabelecer um método para analisar a sua influência, construir um modelo para monitorar a influência nas edificações e desenvolver um método para determinar as aberturas para a utilização da ventilação natural.

Caso o usuário opte em não calcular os coeficientes de pressão do vento, o programa EnergyPlus utiliza a equação de Swami e Chandra (1988) para edificações de pequeno porte, apresentada na Figura 1.

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 for 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]

α = Angle between wind direction and outward normal of wall under consideration [deg]

G = Natural log of the ratio of the width of the wall under consideration to the width of the adjacent wall [dimensionless]

n = Index of incident angle at 30-degree increments

Figura 1 - Fórmula de Swami e Chandra (1988).

Já para edificações de grande porte, o programa baseia-se nos coeficientes de pressão do vento apresentados na ASHRAE 2001 – Fundamentals Handbook (ASHRAE, 2001): "Surface Averaged Wall Pressure Coefficient for Tall Buildings", apresentada na Figura 2.

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

where

$C_p(1)$ = pressure coefficient when wind is at 0°

$C_p(2)$ = pressure coefficient when wind is at 180°

$C_p(3)$ = pressure coefficient when wind is at 90°

$C_p(4)$ = pressure coefficient when wind is at 270°

ϕ = wind angle measured clockwise from the normal to Wall 1

Figura 2 - Fórmula de Walker e Wilson (1994).

3.1.4 Field: *AirflowNetwork Wind Pressure Coefficient Array Name*

Este parâmetro está relacionado com o nome fornecido pelo usuário para o objeto *AirflowNetwork:Multizone:Wind Pressure Coefficient Values*. Este parâmetro só será utilizado caso o usuário escolher em inserir valores dos coeficientes de pressão do vento (INPUT) no objeto acima.

3.1.5 Field: *Height Selection for Local Wind Pressure Calculation*

Determina se a pressão do vento local é calculada com base na altura de qualquer nó externo ou da altura da abertura. As opções são *ExternalNode* ou *OpeningHeight*, sendo o padrão *OpeningHeight*. O procedimento de cálculo da velocidade do vento local ao ar livre pode ser observada na seção "*Local Wind Speed Calculation*" no manual *Engineering Reference* do EnrgyPlus.

- EXTERNAL NODE: As alturas dadas no *AirflowNetwork:Multizone:ExternalNode* são usadas para calcular as pressões do vento local com base na velocidade do vento desta dada altura. Usado somente se *Wind Pressure Coefficient Type = INPUT* (ver descrição de campo anterior).
- OPENING HEIGHT: O número no objeto *AirflowNetwork:MultiZone:ExternalNode* deve ser igual ao número de superfícies externos definidos no objeto *AirflowNetwork:MultiZone:Surface*. O dado de entrada é necessário se *WindPressureCoefficientType = INPUT* (ver descrição do campo anterior). Se *WindPressureCoefficientType = SurfaceAverageCalculation*, um valor neste campo não é necessário e um espaço em branco pode ser inserida. A opção padrão é usado internamente para gerar o objeto *AirflowNetwork:MultiZone:ExternalNode*.

3.1.6 Field: *Building Type*

Deve ser somente utilizado se o usuário utilizou o parâmetro *SURFACE-AVERAGE CALCULATION*. Este objeto permite que o usuário opte pelo tipo da edificação:

- *LOWRISE*: corresponde a uma edificação retangular onde a altura é 3 (três) vezes menor que a largura da área do piso e três vezes menor que o comprimento da área do piso;

- *HIGHRISE*: corresponde a uma edificação retangular onde a altura é 3 (três) vezes maior que a largura da área do piso ou três vezes maior que o comprimento da área do piso.

3.1.7 Field: Maximum Number of Iterations

Relacionado com o número máximo de interações permitidas para solucionar algum item relacionado com o uso da ventilação. O valor de default utilizado é 500.

3.1.8 Field: Initialization Type

Define qual o método utilizado para inicializar o cálculo da ventilação. As opções são: *Linear Initialization Method* e *Zero Node Pressures*. O método de default utilizado é o *Zero Node Pressures*.

3.1.9 Field: Relative Airflow Convergence Tolerance

O valor de default é 1.0×10^{-4} .

3.1.10 Field: Absolute Airflow Convergence Tolerance

Assume-se que houve convergência quando a soma do valor absoluto de todos os sistemas de ventilação é menor que o valor especificado neste objeto. O valor de default é 1.0×10^{-6} .

3.1.11 Field: Convergence Acceleration Limit

Caso a razão das correções das pressões resultarem em valores menores que o limite, deve-se utilizar o algoritmo de aceleração de Steffensen (*EnergyPlus Engineering Reference*). O valor pode variar entre -1 e +1, sendo o valor de *default* de -0.5.

3.1.12 Field: Azimuth Angle of Long Axis of Building

Orientação da edificação retangular para calcular o coeficiente de pressão do vento. Utilizar este objeto somente se o usuário optou pelo *SURFACE-AVERAGE CALCULATION*.

3.1.13 Field: Ratio of Building Width Along Short Axis to Width Along Long Axis

É a razão da área do piso retangular. Utilizar este objeto somente se o usuário optou pelo *SURFACE-AVERAGE CALCULATION*.

3.2 AIRFLOWNETWORK:MULTIZONE:ZONE

Este objeto de entrada permite controlar a ventilação natural através das aberturas externas e internas presentes em cada zona térmica. Para o cálculo da ventilação natural, somente o primeiro parâmetro deste objeto deve ser inserido. As especificações de cada parâmetro de entrada relacionado com este objeto são:

3.2.1 Field: Zone Name

Neste objeto deve-se inserir o nome correspondente à zona térmica que será inserida a ventilação natural.

3.3 AIRFLOWNETWORK:MULTIZONE:SURFACE

Este objeto especifica as propriedades das superfícies que possuem a ventilação natural.

3.3.1 Field: Surface Name

Nome fornecido pelo usuário correspondente às superfícies que serão utilizadas para ventilar as zonas térmicas.

3.3.2 Field: Leakage Component Name

Nome fornecido pelo usuário, no objeto *AirflowNetwork:Multizone:Component Detailed Opening*, para especificar a abertura e fechamento das portas e janelas.

3.3.3 Field: External Node Name

Nome fornecido pelo usuário, no objeto *AirflowNetwork:Multizone:External Node*, para nomear o coeficiente de pressão do vento na superfície.

3.3.4 Field: Wind/Door Opening Factor, or Crack Factor

Especifica que a porta ou janelas são operáveis, apresentando o valor da abertura. O programa EnergyPlus utiliza uma combinação de fatores para determinar a área de abertura das portas e janelas.

3.3.5 Field: Ventilation Control Mode

Especifica qual será o tipo de controle da ventilação natural de cada abertura das zonas térmicas. Os tipos de controle que o objeto permite adotar são:

- *NOVENT*: as portas e janelas estão fechadas durante todo o tempo, independente das condições internas e externas. A *schedule Venting Availability Schedule* não é utilizada neste caso.
- *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.
- *ENTHALPY*: as portas e janelas serão abertas se:
 - * a entalpia da zona for maior que a entalpia 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.
- *CONSTANT*: as portas e janelas serão abertas de acordo com a *schedule de Venting Availability Schedule*, independente das condições internas e externas.
- *ZONELEVEL*: a ventilação através das portas e janelas não é controlada individualmente, e sim através da zona térmica. A ventilação será determinada através do objeto *AirflowNetwork:Multizone:Zone*.
- *ADJACENT TEMPERATURE*: esta opção é somente utilizada para as superfícies internas. As portas e janelas serão abertas se:
 - * a temperatura da zona for maior que a temperatura da zona adjacente;
 - * 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.
- *ADJACENT ENTHALPY*: esta opção é somente utilizada para as superfícies internas. As portas e janelas serão abertas se:

- * a entalpia da zona for maior que a entalpia da zona adjacente;
- * 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.

- *ASHRAE55Adaptive*: A janela ou porta que se pode abrir relacionado com esta superfície é aberta quando a temperatura operativa é maior do que a temperatura de conforto (linha central) calculado pelo modelo de conforto adaptativo da ASHRAE Standard 55 (2010) e a schedule de *Venting Availability* que permitir a ventilação.

- *CEN15251Adaptive*: A janela ou porta que se pode abrir relacionado com esta superfície é aberta quando a temperatura operativa é maior do que a temperatura de conforto (linha central) calculado pelo modelo de conforto adaptativo CEN15251 e a schedule de *Venting Availability* que permitir a ventilação.

3.3.6 Field: *Ventilation Control Zone Temperature Setpoint Schedule Name*

Nome da *schedule* de temperatura de *set-point* da zona que controla a abertura das portas e janelas para permitir a ventilação natural. Esta temperatura de *set-point* está relacionada com a abertura das portas e janelas, referente as condições estabelecidas no objeto *Ventilation Control Mode*.

3.3.7 Field: *Minimum Venting Open Factor*

Este parâmetro deve ser utilizado somente se o *Ventilation Control Mode* adotado para *TEMPERATURE* ou *ENTHALPIC*. O valor a ser inserido pode variar de 0 a +1, sendo o valor de default igual a 0. A Figura 3 deve ser utilizada para *TEMPERATURE* e a Figura 4 deve ser utilizada para *ENTHALPIC*.

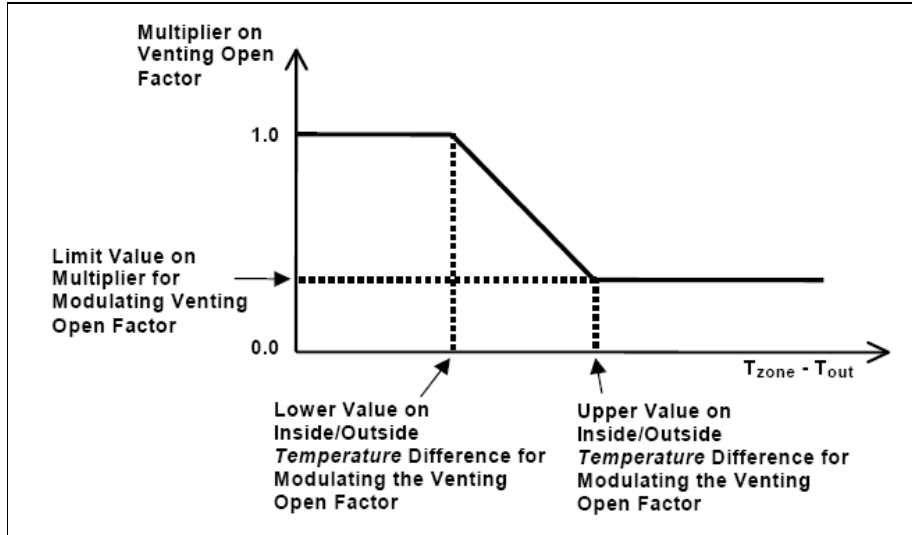


Figura 3 - *Ventilation Control Mode* adotado para TEMPERATURE.

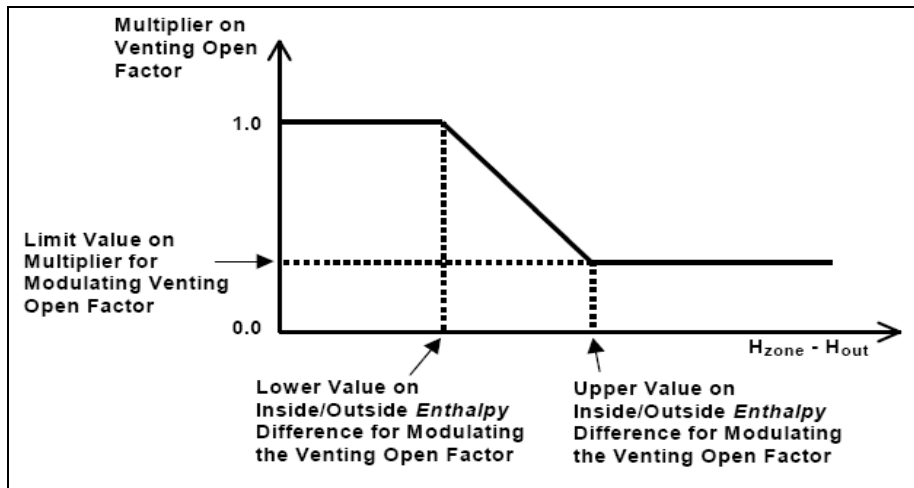


Figura 4 - *Ventilation Control Mode* adotado para ENTHALPIC.

3.3.8 Field: *Venting Availability Schedule Name*

Este objeto está relacionado com a *schedule* criada pelo usuário para especificar quando ocorre a ventilação natural durante o ano. Uma *schedule* com valor negativo ou igual a zero significa que não é permitida a ventilação natural. Um valor maior que zero significa que a ventilação pode ocorrer caso as outras condições de

controle permitam. Ressalta-se para ter o cuidado de não confundir está *schedule* com a *Vent Temperature Schedule Name*.

3.4 AIRFLOWNETWORK:MULTIZONE:COMPONENT DETAILED OPENING

Este objeto especifica as propriedades da ventilação natural através das portas e janelas quando estes estão fechados ou abertos. As especificações de cada parâmetro de entrada relacionado com este objeto são:

3.4.1 Field: Name

Nome fornecido pelo usuário para especificar a superfície de abertura. Este nome está relacionado com o objeto *AirflowNetwork:Multizone:Surface*.

3.4.2 Field: Air Mass Flow Coefficient When Opening is Closed

Este parâmetro está relacionado com as frestas através das portas e janelas quando estes elementos estiverem fechados. Não existe um valor de default para este objeto, entretanto o valor inserido deve ser maior que zero. O programa EnergyPlus irá automaticamente criar quatro frestas em volta do perímetro da porta ou da janela.

Através do livro "*Air Infiltration Calculation Techniques – An Applications Guide*" (LIDDAMENT, 1986) encontrou-se dados de infiltração prontos para projetistas selecionarem valores apropriados aos seus modelos de infiltração de ar. Os dados estão disponíveis em uma tabela com as características de infiltração de cada componente (*flow coefficient* e *exponent*). A Tabela 1 representa a descrição de portas e a Tabela 3 à descrição de janelas comuns.

Ressalta-se que a unidade do *flow coefficient* no livro é em ($\text{dm}^3/\text{s.m}$). No programa EnergyPlus, deve-se inserir os valores na seguinte unidade: ($\text{kg}/\text{s.m}$). Os valores convertidos segunda a unidade no programa EnergyPlus para portas e janelas podem ser observados na Tabela 3 e Tabela 4.

Tabela 1 - Coeficientes e expoentes de fluxo de ar para portas - Liddament, 1986.

				Flow Exponent (n)			Flow Coefficient (C)		
				Max.	Med.	Min.	Max.	Med.	Min.
Porta de madeira	1 folha Pivotante	Com vedação	Interna	0.700	0.600	0.500	2.570	1.450	0.810
			Externa		0.640		1.240	0.960	0.70
			Corta-fogo						
		Sem vedação	Interna	0.790	0.590	0.510	3.380	1.580	0.490
			Externa	0.710	0.590	0.500	3.520	1.320	0.790
			Corta-fogo		0.580			1.710	
	2 folhas Pivotantes	Com vedação	Interna						
			Externa						
			Corta-fogo						
		Sem vedação	Interna		0.660			4.170	
			Externa		0.600			1.950	
			Corta-fogo						
	1 folha de correr	Com vedação	Interna						
			Externa						
			Corta-fogo						
		Sem vedação	Interna						
			Externa		0.660			0.200	
			Corta-fogo						
Porta de metal	1 folha Pivotante	com vedação	Interna						
			Externa						
			Corta-fogo						
	Sem vedação	Interna		0.660			0.038		
		Externa		0.660			0.038		
		Corta-fogo							
Porta de enrolar	m ² de porta		Interna						
			Externa		0.660			14.0	
			Corta-fogo						

Tabela 2 – Coeficientes e expoentes de fluxo de ar para janelas - Liddament, 1986.

			Flow Exponent (n)			Flow Coefficient (C)		
			Max.	Med.	Min.	Max.	Med.	Min.
Pivotante – eixo vertical lateral	Com vedação	Madeira		0.66		0.10	0.03	0.01
		Madeira + Metal		0.66			0.17	
		Metal		0.66		0.29	0.27	0.14
		Plástico						
	Sem vedação	Madeira	0.85	0.66	0.50	1.19	0.23	0.04
		Madeira + Metal						
		Metal						
		Plástico						
Pivotante - eixo horizontal superior	Com vedação	Madeira	0.69	0.57	0.50	1.22	0.42	0.11
		Madeira + Metal						
		Metal	0.64	0.60	0.52	0.55	0.32	0.18
		Plástico						
	Sem vedação	Madeira	0.61	0.56	0.60	1.38	1.08	0.88
		Madeira + Metal						
		Metal						
		Plástico						
Pivotante – eixo vertical central	Com vedação	Madeira		0.78			0.03	
		Madeira + Metal						
		Metal	0.7	0.66	0.63	0.12	0.07	0.02
		Plástico						
	Sem vedação	Madeira						
		Madeira + Metal						
		Metal						
		Plástico						

1 folha - Deslizamento vertical	Com vedação	Madeira						
		Madeira + Metal						
		Metal		0.66			0.09	
		Plástico						
	Sem vedação	Madeira		0.66			0.16	
		Madeira + Metal						
		Metal						
		Plástico						
2 folhas - Deslizamento vertical	Com vedação	Madeira		0.66				
		Madeira + Metal		0.66				
		Metal	0.79	0.66	0.56	0.28	0.18	0.04
		Plástico						
	Sem vedação	Madeira		0.66			0.17	
		Madeira + Metal						
		Metal	0.69	0.58	0.45	1.20	0.45	0.20
		Plástico						
Clarabóia	Sem vedação	Metal	0.59	0.55	0.50	3.07	0.18	0.16

Tabela 3 – Coeficientes e expoentes de fluxo de ar para portas – EnergyPlus.

				Flow Coefficient (C)		
				(kg/s.m)		
				Max.	Med.	Min.
Porta de madeira	1 folha Pivotante	Com vedação	Interna	0.00332	0.00187	0.00105
			Externa	0.00160	0.00124	0.00090
			Corta-fogo			
		Sem vedação	Interna	0.00437	0.0024	0.00063
			Externa	0.00455	0.00171	0.00102
			Corta-fogo		0.00221	
	2 folhas Pivotantes	Com vedação	Interna			
			Externa			
			Corta-fogo			
		Sem vedação	Interna		0.00539	
			Externa		0.00252	
			Corta-fogo			
	1 folha de correr	Com vedação	Interna			
			Externa			
			Corta-fogo			
		Sem vedação	Interna			
			Externa		0.00026	
			Corta-fogo			
Porta de Metal	1 folha Pivotante	Com vedação	Interna			
			Externa			
			Corta-fogo			
	Sem vedação	Interna		0.00005		
		Externa		0.00005		
		Corta-fogo				

Tabela 4 – Coeficientes e expoentes de fluxo de ar para janelas – EnergyPlus

			Flow Coefficient (C)		
			Max.	Med.	Min.
Pivotante – eixo vertical lateral	Com vedação	Madeira	0.00013	0.00004	0.0001
		Madeira + Metal			
		Metal	0.00037	0.00035	0.00018
		Plástico			
	Sem vedação	Madeira	0.0154	0.00030	0.00005
		Madeira + Metal			
		Metal			
		Plástico			
Pivotante - eixo horizontal superior	Com vedação	Madeira	0.00158	0.00054	0.00014
		Madeira + Metal			
		Metal	0.00071	0.00041	0.00023
		Plástico			
	Sem vedação	Madeira	0.00178	0.00140	0.00114
		Madeira + Metal			
		Metal			
		Plástico			
Pivotante – eixo vertical central	Com vedação	Madeira		0.00004	
		Madeira + Metal			
		Metal	0.00016	0.00009	0.00003
		Plástico			
	Sem vedação	Madeira			
		Madeira + Metal			
		Metal			
		Plástico			

1 folha - Deslizamento vertical	Com vedação	Madeira			
		Madeira + Metal			
		Metal		0.00012	
		Plástico			
	Sem vedação	Madeira		0.00021	
		Madeira + Metal			
		Metal			
		Plástico			
2 folhas - Deslizamento vertical	Com vedação	Madeira			
		Madeira + Metal			
		Metal	0.00036	0.00023	0.00005
		Plástico			
	Sem vedação	Madeira		0.00022	
		Madeira + Metal			
		Metal	0.00155	0.00058	0.00026
		Plástico			
Clarábóia	Sem vedação	Metal	0.00397	0.0023	0.00021

3.4.3 Field: Air Mass Flow Exponent When Opening is Closed

Este parâmetro está relacionado com as frestas através das portas e janelas quando estes elementos estiverem fechados. O valor a ser inserido é o valor utilizado como expoente na equação da ventilação pelas frestas. O valor do expoente pode variar de 0.5 a 1.0, sendo o valor de default igual a 0.65.

No livro "*Air Infiltration Calculation Techniques – An Applications Guide*" (LIDDAMENT, 1986), encontrou-se uma tabela a qual determina o valor do fluxo de ar através das frestas de acordo com a sua característica. Pode-se observar através da

Tabela 5 que este valor pode variar de 0.50 a 1.00, sendo o valor de 0.50 adotado para o fluxo de ar turbulento e 1.00 para o fluxo de ar laminar.

Tabela 5 – Fluxo de ar através das frestas.

Tipo de abertura	n
Aberturas grandes	0.50
Frestas - cracks (portas e janelas)	0.66
Materiais porosos com juntas	0.75
Materiais porosos	1.00

3.4.4 Field: Type of Rectangular Large Vertical Opening (LVO)

Este parâmetro especifica o tipo de portas e janelas retangulares. As opções são:

- NON-PIVOTED: representa uma porta ou janela normal;
- HORIZONTALLY PIVOTED: representa uma janela com a dimensão maior na horizontal, podendo também ser utilizada como uma porta.

3.4.5 Field: Extra Crack Length or Height of Pivoting Axis

Especifica as características das janelas e portas dependendo do tipo da abertura vertical. Para o tipo *Non-pivoted* este valor deve ser o comprimento das frestas. Já para o tipo *Horizontally pivoted* o valor inserido deve ser a altura do pé-direito medida a partir da parte inferior do vidro da janela.

3.4.6 Field: Number of Sets of Opening Factor Data

Este parâmetro define a quantidade de frações de aberturas que as portas e janelas possuem (Figura 5). O valor do primeiro fator de abertura deve ser 0, referente à mínima fração de abertura considerada para a janela ou porta e o último valor para o fator de abertura deve ser 1. No caso de haver três níveis de abertura para uma janela, o primeiro fator de abertura deve ser 0 (mínima fração de abertura), o segundo 0.5 (para uma fração de abertura intermediária) e o último 1 (máxima fração de abertura).

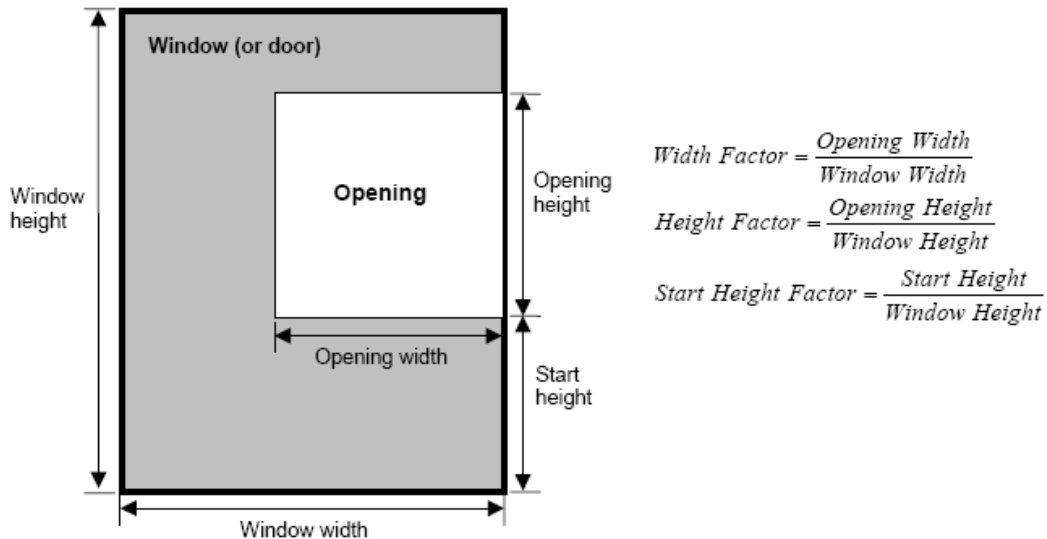


Figura 5 - Frações de aberturas de portas e janelas.

3.4.7 Field: *Opening Factor #n*

Representa o fator de abertura da porta ou da janela. O valor inicial deve ser 0, sendo que os próximos valores podem variar até o valor 1. Este fator de abertura pode variar n vezes, para representar o quanto a janela/porta está aberta. Para o Non-pivoted o fator de abertura corresponde a fração de abertura das portas e janelas. Para o Horizontally pivoted o fator de abertura é determinado pelo ângulo de abertura das portas e janelas.

3.4.8 Field: *Discharge Coefficient for Opening Factor #n*

Corresponde a fração eficaz da ventilação natural das portas e janelas com relação ao fator de abertura #1. O valor a ser inserido pode variar de 0.0 a 1.0, sendo o valor de default igual a 0.001.

3.4.9 Field: *Width Factor for Opening Factor #n*

O fator de largura das aberturas é a razão da largura da abertura pela largura da janela ou da porta. O valor pode variar de 0.0 a 1.0, sendo o valor de default igual a 0.0. O valor deste fator de largura das aberturas corresponde ao *Opening Factor #1*.

3.4.10 Field: Height Factor for Opening Factor #n

O fator de altura das aberturas é a razão da altura da abertura pela altura da janela ou da porta. O valor pode variar de 0.0 a 1.0, sendo o valor de default igual a 0.0. O valor deste fator de altura das aberturas corresponde ao *Opening Factor #1*.

3.4.11 Field: Start Height Factor for Opening Factor #n

Este fator corresponde à razão da altura do piso até a parte inferior da janela pela altura da janela ou da porta. O valor pode variar de 0.0 a 1.0, sendo o valor de default igual a 0.0. O valor deste fator de altura das aberturas corresponde ao *Opening Factor #1*.

3.5 AIRFLOWNETWORK:MULTIZONE:EXTERNAL NODE

Define as condições externas da edificação, incluindo coeficiente de pressão do vento o qual varia de fachada a fachada e pode ser consideravelmente dependente da geometria da edificação. Este objeto não precisa ser utilizado se o usuário optou pelo *SURFACE-AVERAGE CALCULATION*. As especificações de cada parâmetro de entrada relacionado com este objeto são:

3.5.1 Field: Name

Nome fornecido pelo usuário para um nó externo da edificação associado com uma fachada da edificação. Podem ser determinados diversos pontos na fachada, desde que se tenha o conhecimento dos valores de coeficientes de pressão destes nós.

3.5.2 Field: External Node Height

Referente à altura utilizada para o cálculo da pressão do vento. O programa EnergyPlus aceita somente um nó por fachada.

3.5.3 Field: Wind Pressure Coefficient Values Object Name

Relacionado com o nome de um determinado *AirflowNetwork:MultiZone:WindPressureCoefficientValues*.

3.6 AIRFLOWNETWORK:MULTIZONE:WIND PRESURE COEFFICIENT ARRAY

Este parâmetro refere-se à altura e direção do vento. Ressalta-se que este objeto é somente utilizado se o usuário optou em utilizar o *INPUT* como opção de

cálculo do coeficiente de pressão do vento. As especificações de cada parâmetro de entrada relacionado com este objeto são:

3.6.1 Field: Name

Nome fornecido pelo usuário para referente à ventilação natural.

3.6.2 Field: Wind Direction #1 – Wind Direction #n

Correspondem às orientações que serão utilizadas para a realização do cálculo do coeficiente de pressão do vento.

3.7 AIRFLOWNETWORK:MULTIZONE:WIND PRESURE COEFFICIENT VALUES

Estes parâmetros são definidos de acordo com cada direção inserida no objeto *AirflowNetwork:Multizone:Wind Pressure Coefficient Array*. Ressalta-se que este objeto é somente utilizado se o usuário optou em utilizar o *INPUT* como opção de cálculo do coeficiente de pressão do vento. As especificações de cada parâmetro de entrada relacionado com este objeto são:

3.7.1 Field: Name

O nome do objeto *WindPressureCoefficientValues*. Este nome pode estar relacionado à múltiplos objetos do *AirflowNetwork:MultiZone:ExternalNode objects*.

3.7.2 Field: AirflowNetwork WindPressureCoefficient Array Name

Nome fornecido pelo usuário no objeto *AirflowNetwork:Multizone:Wind Pressure Coefficient Array*, o qual relaciona as direções do vento correspondente aos valores do cálculo dos coeficientes de pressão do vento.

3.7.3 Field: Wind Pressure Coefficient Value #1

Valor do coeficiente de pressão do vento de acordo com a fachada da edificação adotada. O valor pode ser positivo, negativo ou zero.

4. AIRFLOW NETWORK OUTPUTS

O sistema de ventilação natural do programa EnergyPlus possui diversas variáveis de saída, permitindo o usuário analisar cada variável inserida no programa. A grande maioria das variáveis de saída está relacionada com a utilização do sistema de ventilação juntamente com um sistema de condicionamento de ar (*mixed-mode*). Abaixo estão relacionadas algumas das variáveis de saída mais utilizadas, relacionadas com a utilização da ventilação natural.

4.1 ZONE MEAN TEMPERATURE

Esta variável determina a temperatura interna da zona. É utilizada para o sistema de ventilação natural, permitindo analisar o funcionamento da ventilação natural de acordo com os tipos de controle.

4.2 AFN NODE WIND PRESSURE [Pa]

Esta variável fornece a pressão do vento para todos os nós externos que foram adotados.

4.3 AFN SURFACE VNETING WINDOW OR DOOR OPENING FACTOR

Esta variável fornece o fator de abertura relacionado com uma janela/porta presente na edificação.

4.4 AFN SURFACE VENTING INSIDE SETPOINT TEMPERATURE [C]

Esta variável fornece o valor por *time-step* da temperatura de ventilação da zona.

4.5 AFN SURFACE VENTING AVAILABILITY STATUTS

Esta variável fornece os valores da schedule de abertura das janelas/portas presentes na edificação, adotadas pelo simulador.

4.6 AFN ZONE INFILTRATION AIR CHANGE RATE

Esta variável fornece o número de trocas por hora realizada pela ventilação do ar externo para dentro da zona através das aberturas das janelas/portas.

4.7 AFN SURFACE VENTING WINDOW OR DOOR OPENING MODULATION MULTIPLIER

Através desta variável é possível analisar o funcionamento das *schedules* inseridas no arquivo.idf. Os valores de saída variam de 0.0 a -1.0. A Figura 6 determina os valores para diferentes condições de ventilação.

Is surface in a Zone?	Ventilation Control Mode	Is surface venting?	Value of opening factor multiplier
Yes	TEMPERATURE	Yes	0.0 to 1.0
		No	-1.0
	ENTHALPIC	Yes	0.0 to 1.0
		No	-1.0
CONSTANT	Yes	1.0	
NOVENT	No	-1.0	

Figura 6 - Valores de funcionamento das *schedules* de ventilação.

5. EXEMPLO

5.1 MODELO RESIDENCIAL

Como exemplo, foi utilizada uma edificação residencial unifamiliar (Figura 7) de um pavimento tipo, com as seguintes características:

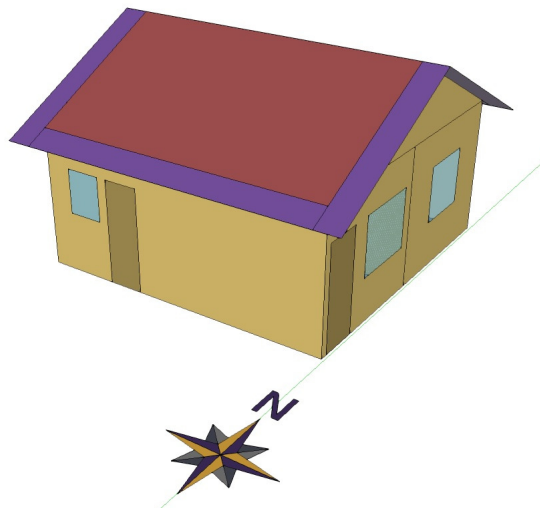


Figura 7- Edificação adotada.

- Dimensões: 6 m x 6 m x 4,32 m (pé direito de 2,80 m);
- Cinco zonas térmicas: sala, banheiro, quarto 01, quarto 02, ático;
- Clima: arquivo climático de Florianópolis (TRY 1963);
- Piso: laje maciça de concreto 100 mm e piso cerâmico;
- Parede externa e interna: argamassa 25 mm, tijolo 8 furos cerâmico 100 mm, argamassa 25 mm;
- Cobertura: telha cerâmica 10 mm;
- Vidro: simples 3 mm;
- Orientação: quartos com orientação norte e sala com orientação sul;
- Sombreamento: beiral de 50 cm;
- Ocupação: 4 pessoas, 2 em cada quarto;
- Atividade metabólica: no quarto 80 Watts/pessoa; na sala 110 Watts/pessoa);
- *Schedules* de ocupação quartos:
 - Dias de semana: 23h00 às 7h00
 - Finais de semana: 24h00 às 8h00
- *Schedules* de ocupação sala:
 - Dias de semana: 08h00 às 12h00
 - Finais de semana: 09h00 às 23h00
- Iluminação: 44 Watts nos quartos e 29 Watts na sala;
- Equipamentos: 161 Watts nos quartos e 90 Watts na sala.
- *Schedules* de ventilação dos quartos:
 - Até dia 30/04: 7h00 às 21h00
 - Até dia 30/09: 7h00 às 20h00
 - Até dia 31/12: 7h00 às 21h00
- *Schedules* de ventilação da sala:
 - Até dia 30/04: 8h00 às 18h00
 - Até dia 30/09: 9h00 às 18h00
 - Até dia 31/12: 8h00 às 18h00
- Temperatura de *setpoint* da ventilação: 20°C;
- *Ventilation Control Mode: Temperature* (explicação página 17).

Abaixo estão relacionados os objetos de entrada necessários para a simulação da ventilação natural desta edificação.

5.1.1 AirflowNetwork Simulation Control

Field	Units	Obj1
Name		Ventilacao
AirflowNetwork Control		MultizoneWithoutDistribution
Wind Pressure Coefficient Type		SurfaceAverageCalculation
AirflowNetwork Wind Pressure Coefficient Array Name		
Height Selection for Local Wind Pressure Calculation		OpeningHeight
Building Type		LowRise
Maximum Number of Iterations	dimensionless	500
Initialization Type		ZeroNodePressures
Relative Airflow Convergence Tolerance	dimensionless	0.0001
Absolute Airflow Convergence Tolerance	kg/s	0.000001
Convergence Acceleration Limit	dimensionless	-0.5
Azimuth Angle of Long Axis of Building	deg	0
Ratio of Building Width Along Short Axis to Width Along		1

5.1.2 AirflowNetwork:Multizone:Zone

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4
Zone Name		Quarto1	Quarto2	Sala	Banheiro
Ventilation Control Mode					
Ventilation Control Zone Temperature Setpoint Schedule					
Minimum Venting Open Factor	dimensionless				
Indoor and Outdoor Temperature Difference Lower Limit	deltaC				
Indoor and Outdoor Temperature Difference Upper Limit	deltaC	100	100	100	100
Indoor and Outdoor Enthalpy Difference Lower Limit For	deltaJ/kg				
Indoor and Outdoor Enthalpy Difference Upper Limit for	deltaJ/kg	300000	300000	300000	300000
Venting Availability Schedule Name					

5.1.3 AirflowNetwork:Multizone:Surface

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4
Surface Name		Janela Leste Quarto	Janela Norte Quartc	Janela Leste Sala	Janela Sul Sala
Leakage Component Name		Janela	Janela	Janela	Janela
External Node Name					
Window/Door Opening Factor, or Crack Factor	dimensionless	1	1	1	1
Ventilation Control Mode		Temperature	Temperature	Temperature	Temperature
Ventilation Control Zone Temperature Setpoint Schedule		Temp_setpoint	Temp_setpoint	Temp_setpoint	Temp_setpoint
Minimum Venting Open Factor	dimensionless				
Indoor and Outdoor Temperature Difference Lower Limit	deltaC				
Indoor and Outdoor Temperature Difference Upper Limit	deltaC	100	100	100	100
Indoor and Outdoor Enthalpy Difference Lower Limit For	deltaJ/kg				
Indoor and Outdoor Enthalpy Difference Upper Limit for	deltaJ/kg	300000	300000	300000	300000
Venting Availability Schedule Name		Ventilacao_Quarto	Ventilacao_Quarto	Ventilacao_Sala	Ventilacao_Sala

5.1.4 AirflowNetwork:Multizone:Component Detailed Opening

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		Janela	Porta
Air Mass Flow Coefficient When Opening is Closed	kg/s-m	0.0001	0.00005
Air Mass Flow Exponent When Opening is Closed	dimensionless	0.65	0.65
Type of Rectangular Large Vertical Opening (LVO)		NonPivoted	NonPivoted
Extra Crack Length or Height of Pivoting Axis	m	0	0
Number of Sets of Opening Factor Data		2	2
Opening Factor 1	dimensionless	0	0
Discharge Coefficient for Opening Factor 1	dimensionless	0.001	0.001
Width Factor for Opening Factor 1	dimensionless	0	0
Height Factor for Opening Factor 1	dimensionless	0	0
Start Height Factor for Opening Factor 1	dimensionless	0	0
Opening Factor 2	dimensionless	1	1
Discharge Coefficient for Opening Factor 2	dimensionless	0.6	0.6
Width Factor for Opening Factor 2	dimensionless	1	1
Height Factor for Opening Factor 2	dimensionless	1	1
Start Height Factor for Opening Factor 2	dimensionless	0	0
Opening Factor 3	dimensionless		
Discharge Coefficient for Opening Factor 3	dimensionless		
Width Factor for Opening Factor 3	dimensionless		
Height Factor for Opening Factor 3	dimensionless		
Start Height Factor for Opening Factor 3	dimensionless		
Opening Factor 4	dimensionless		
Discharge Coefficient for Opening Factor 4	dimensionless		
Width Factor for Opening Factor 4	dimensionless		
Height Factor for Opening Factor 4	dimensionless		
Start Height Factor for Opening Factor 4	dimensionless		

5.1.5 Análise dos resultados

A seguir são apresentados alguns resultados da ventilação natural através dos relatórios de saída fornecidos pelo programa EnergyPlus. Todas as análises foram realizadas para o dia 25/01.

- 1) *Comparação da temperatura interna e externa do caso base com e 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 8 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 9, 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. Este mesmo comportamento foi observado para o Quarto 2 (Figura 10 e Figura 11) e para a Sala (Figura 12 e Figura 13).

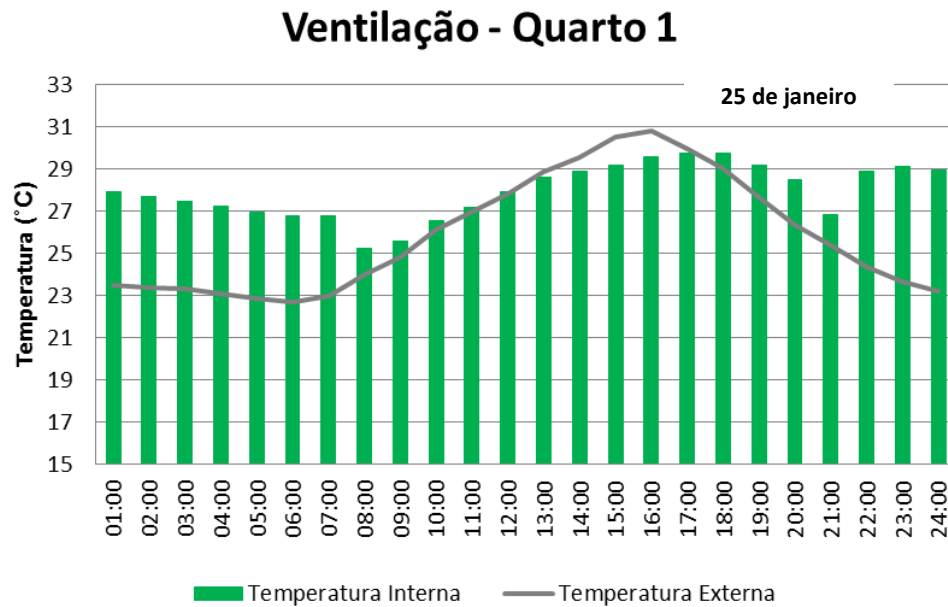


Figura 8 – Temperatura interna do Quarto 1 com o uso da ventilação natural.

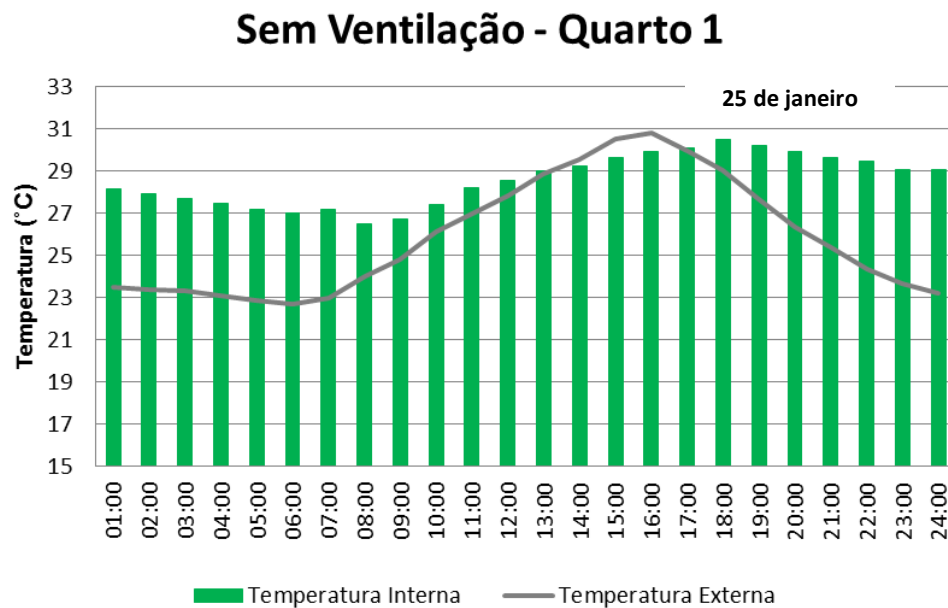


Figura 9 – Temperatura interna do Quarto 1 sem o uso da ventilação natural.

Ventilação - Quarto 2

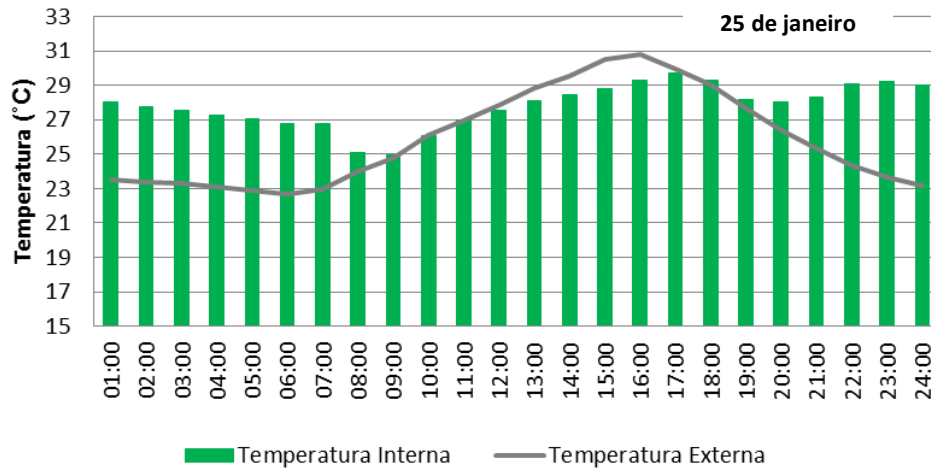


Figura 10 – Temperatura interna do Quarto 2 com o uso da ventilação natural.

Sem Ventilação - Quarto 2

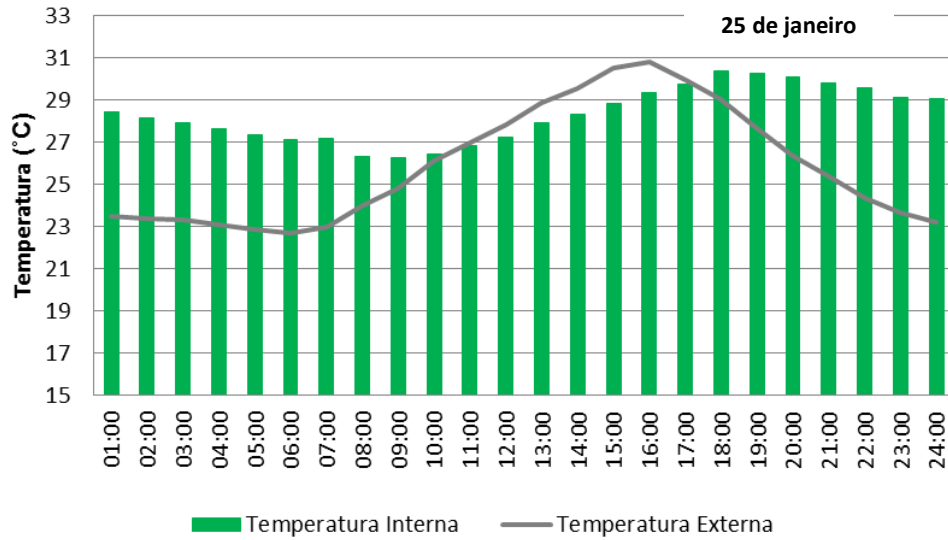


Figura 11 – Temperatura interna do Quarto 2 sem o uso da ventilação natural.

Ventilação - Sala

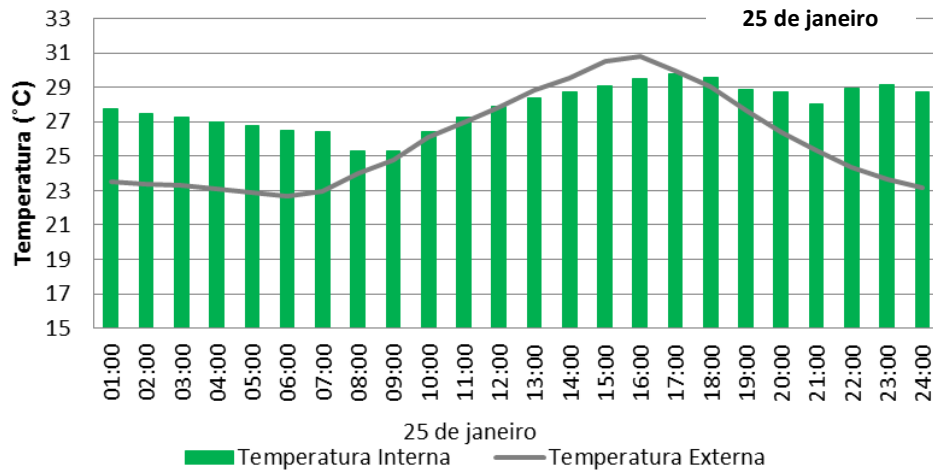


Figura 12 – Temperatura interna da Sala com o uso da ventilação natural.

Sem Ventilação - Sala

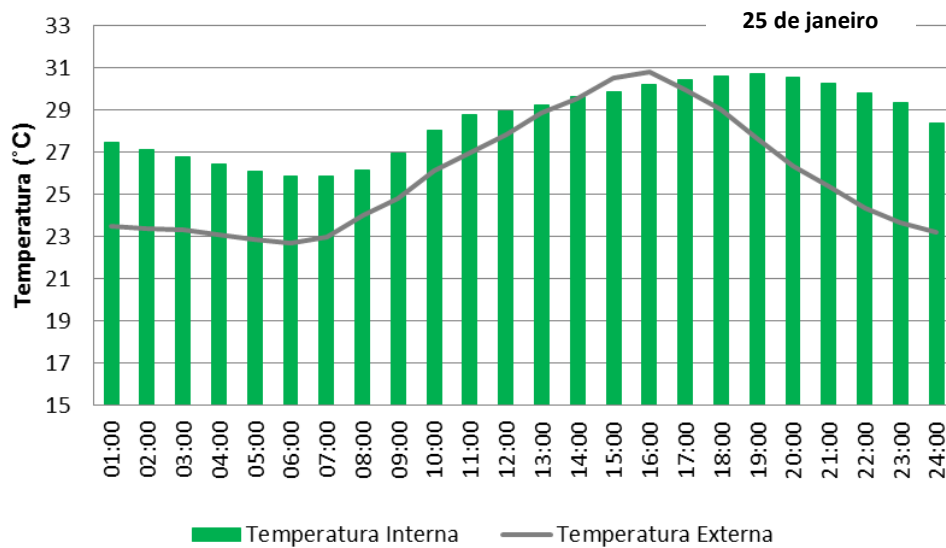


Figura 13 – Temperatura interna da Sala sem o uso da ventilação natural.

2) *Análise das trocas de ar da edificação versus a velocidade do vento:* a análise da troca de ar de cada ambiente foi analisada, observando a frequência de ocorrência das trocas. Nota-se que as trocas de ar em cada ambiente depende das *schedules* de condições de aberturas e temperatura pré-determinadas no objeto *AirflowNetwork*. O controle da ventilação natural é definido no objeto *Ventilation Control Mode*. Neste caso, as aberturas de portas e janelas das zonas térmicas respeitam o controle *Temperature*. Desta forma, conforme explicado anteriormente (página 17), as portas e janelas serão abertas se: - a temperatura da zona for maior que a temperatura externa; - temperatura da zona for maior que a temperatura da *schedule* de temperatura da zona, definida em *Ventilation Control Zone Temperature Setpoint*.

Conforme explicado anteriormente (página 20), na classe *AirflowNetwork:Multizone:Component Detailed Opening* define-se as características das aberturas quando estas encontram-se abertas ou fechadas. Quando o objeto *Opening Factor #n* é nulo para as portas e janelas, ou seja, estas aberturas encontram-se fechadas, o objeto *Discharge Coefficient for Opening Factor #n* demonstra a fração eficaz da ventilação, a qual é igual a 0,001. Desta forma, nos horários em que a *schedule* de ventilação impõe que as aberturas fiquem fechadas, as trocas de ar correspondentes são inferiores à 0,05 ACH.

Através das Figura 14 e Figura 15 pode-se observar que para o Quarto 1 pode-se chegar a 30 trocas de ar por hora. A maior frequência de ocorrência das trocas de ar por hora é superior a 18 trocas. Para o Quarto 2 (Figura 16 e Figura 18), as trocas de ar por hora chegam a ser superior a 60 trocas de ar por hora no período da manhã, e a praticamente 50 trocas de ar por hora no período da tarde. A maior frequência de ocorrência das trocas de ar encontrada para o Quarto 2 é superior a 24 trocas. Para o ambiente da Sala (Figura 18 e Figura 19), nota-se que foram encontradas as menores trocas de ar por hora no dia analisado, de aproximadamente 20 trocas de ar no período da manhã. A frequência de ocorrência das trocas de ar concentrou-se no valor superior a 18 trocas de ar.

Trocas de ar x Velocidade do vento Quarto 1

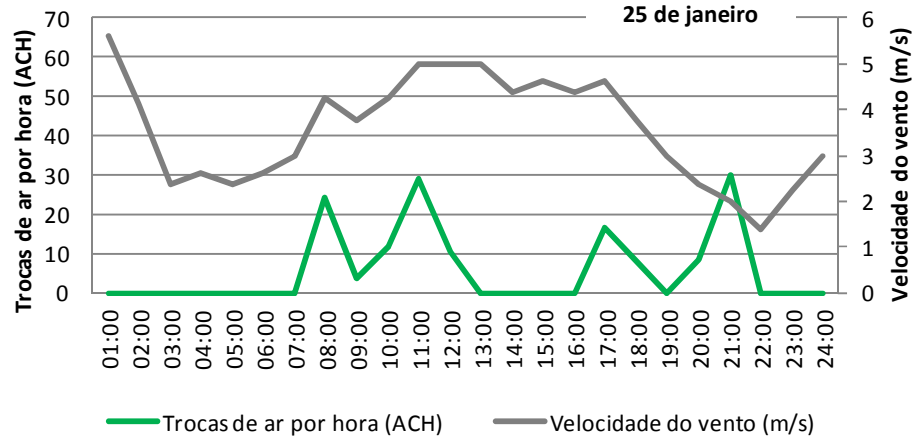


Figura 14 – Análise da velocidade do vento e trocas de ar no Quarto 1.

Frequência das trocas de ar da edificação - Quarto 1

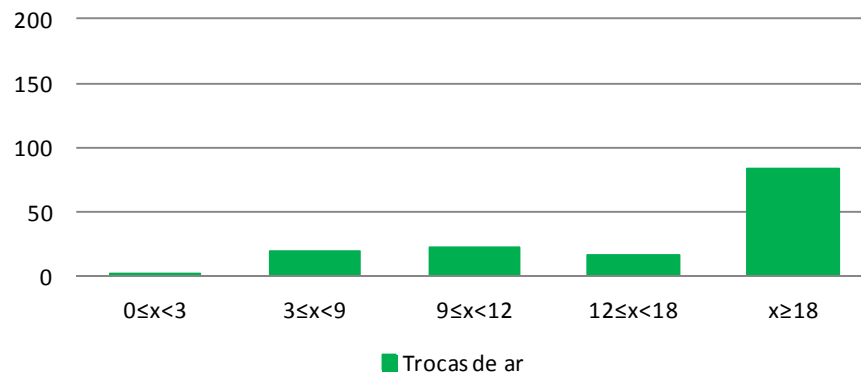


Figura 15 – Frequência de ocorrência das trocas de ar – Quarto 1.

Trocas de ar x Velocidade do vento Quarto 2

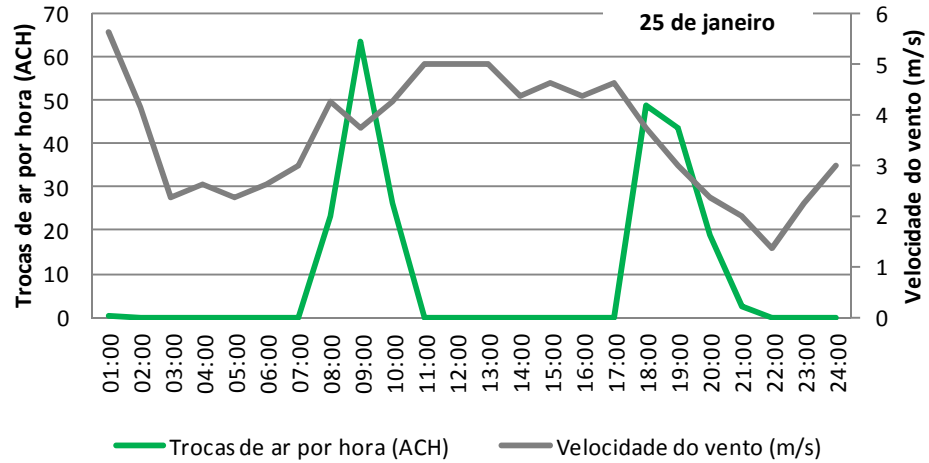


Figura 16 – Análise da velocidade do vento e trocas de ar no Quarto 2.

Frequência das trocas de ar da edificação - Quarto 2

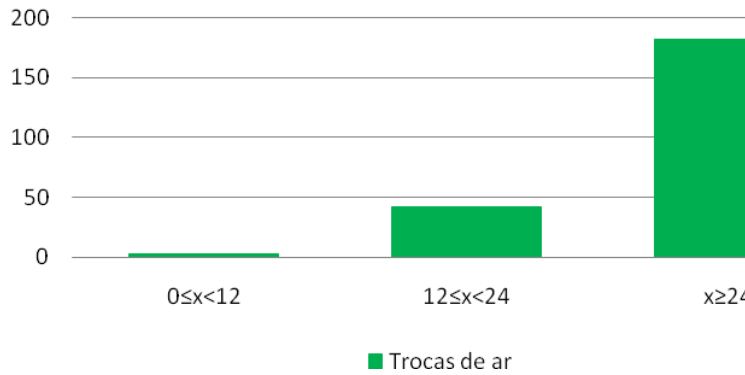


Figura 17 - Frequência de ocorrência das trocas de ar – Quarto 2.

Trocas de ar x Velocidade do vento Sala

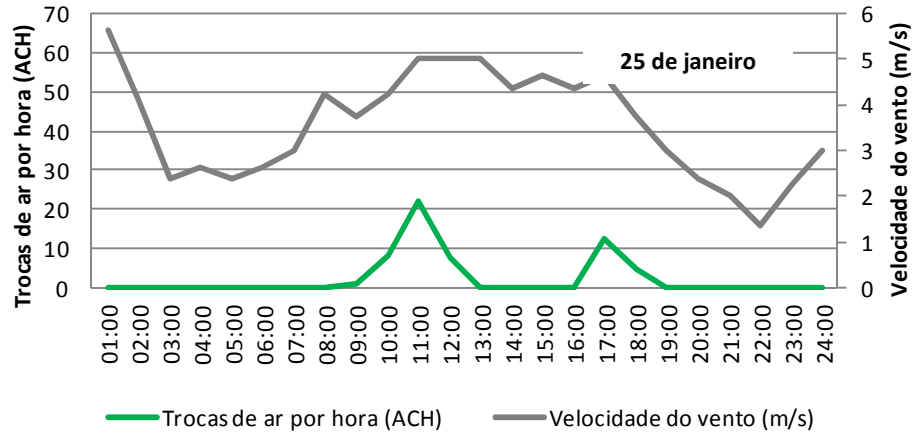


Figura 18 – Análise da velocidade do vento e trocas de ar da Sala.

Frequência das trocas de ar da edificação - Sala

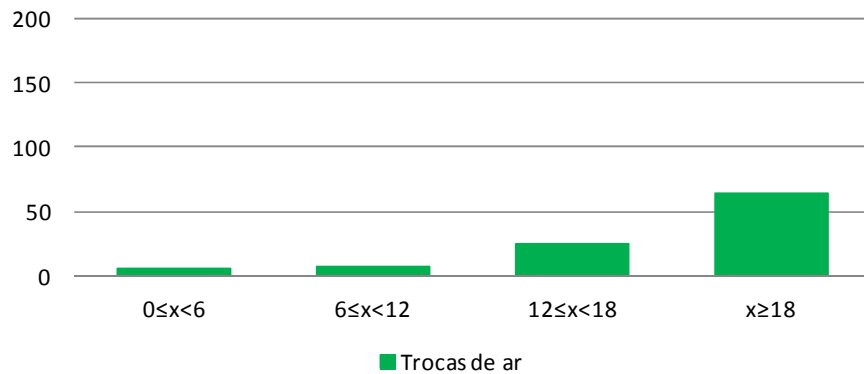


Figura 19 - Frequência de ocorrência das trocas de ar – Sala.

5.2 MODELO COMERCIAL

Como exemplo foi utilizado uma edificação de 5 pavimentos (Figura 20) com as seguintes características:

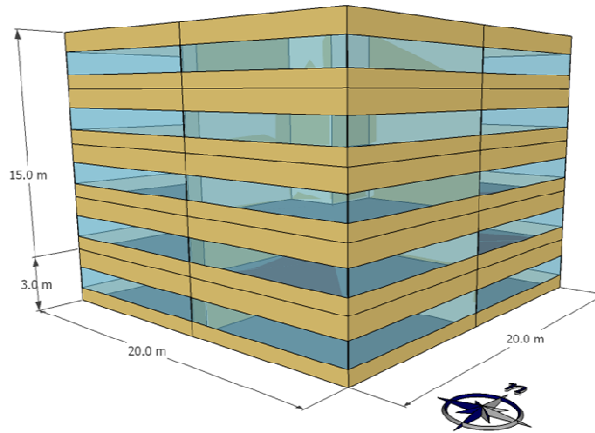


Figura 20 – Modelo comercial com 5 pavimentos.

- Dimensões de 20m x 20m x 15m
- Cinco zonas para cada pavimento
- WWR 40%
- 3 portas em cada pavimento
- Orientação Norte
- Iluminação: 12 W/m²
- Equipamentos: 150 W/pessoa
- Infiltração 0,3 ACH
- Clima: Florianópolis (arquivo climático TRY 1963)
- Ocupação comercial (8h00 – 18h00)
- *Schedules* de ventilação dos ambientes:
 - 8h00 às 18h00
- Temperatura de *setpoint* da ventilação: 20°C;
- *Ventilation Control Mode: Temperature* (explicação página 17).

Abaixo estão relacionados os objetos de entrada necessários para a simulação da ventilação natural desta edificação.

5.2.1 AirflowNetwork Simulation Control

Field	Units	Obj1
Name		Ventilacao
AirflowNetwork Control		MultizoneWithoutDistribution
Wind Pressure Coefficient Type		SurfaceAverageCalculation
AirflowNetwork Wind Pressure Coefficient Array Name		
Height Selection for Local Wind Pressure Calculation		OpeningHeight
Building Type		LowRise
Maximum Number of Iterations	dimensionless	500
Initialization Type		ZeroNodePressures
Relative Airflow Convergence Tolerance	dimensionless	0.0001
Absolute Airflow Convergence Tolerance	kg/s	0.000001
Convergence Acceleration Limit	dimensionless	-0.5
Azimuth Angle of Long Axis of Building	deg	0
Ratio of Building Width Along Short Axis to Width Along		1

5.2.2 AirflowNetwork:Multizone:Zone

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Zone Name		Cob_Zn2	Tipo2_Zn1	Tipo1_Zn3
Ventilation Control Mode				
Ventilation Control Zone Temperature Setpoint Schedul				
Minimum Venting Open Factor	dimensionless			
Indoor and Outdoor Temperature Difference Lower Limi	deltaC			
Indoor and Outdoor Temperature Difference Upper Limi	deltaC	100	100	100
Indoor and Outdoor Enthalpy Difference Lower Limit For	deltaJ/kg			
Indoor and Outdoor Enthalpy Difference Upper Limit for	deltaJ/kg	300000	300000	300000
Venting Availability Schedule Name				

No caso deste exemplo, todas as zonas devem ser especificadas, com exceção da zona central, totalizando em 20 objetos. Neste exemplo, somente 3 zonas estão sendo apresentadas.

5.2.3 AirflowNetwork:Multizone:Surface

Field	Units	Obj1	Obj2
Surface Name		Porta_Terreo_Zn3_Zn4	Porta_Terreo_Zn4_Zn3
Leakage Component Name		Porta	Porta
External Node Name			
Window/Door Opening Factor, or Crack Factor	dimensionless	1	1
Ventilation Control Mode		Temperature	Temperature
Ventilation Control Zone Temperature Setpoint Schedul		Temp_setpoint	Temp_setpoint
Minimum Venting Open Factor	dimensionless		
Indoor and Outdoor Temperature Difference Lower Limi	deltaC		
Indoor and Outdoor Temperature Difference Upper Limi	deltaC	100	100
Indoor and Outdoor Enthalpy Difference Lower Limit For	deltaJ/kg		
Indoor and Outdoor Enthalpy Difference Upper Limit for	deltaJ/kg	300000	300000
Venting Availability Schedule Name		Sch_Ocupacao	Sch_Ocupacao

Field	Units	Obj60	Obj61
Surface Name		JanelaOeste_Tipo3_Zn1	JanelaLeste_Tipo1_Zn3
Leakage Component Name		Janela	Janela
External Node Name			
Window/Door Opening Factor, or Crack Factor	dimensionless	0.5	0.5
Ventilation Control Mode		Temperature	Temperature
Ventilation Control Zone Temperature Setpoint Schedule		Temp_setpoint	Temp_setpoint
Minimum Venting Open Factor	dimensionless		
Indoor and Outdoor Temperature Difference Lower Limit	deltaC		
Indoor and Outdoor Temperature Difference Upper Limit	deltaC	100	100
Indoor and Outdoor Enthalpy Difference Lower Limit for	deltaJ/kg		
Indoor and Outdoor Enthalpy Difference Upper Limit for	deltaJ/kg	300000	300000
Venting Availability Schedule Name		Sch_Ocupacao	Sch_Ocupacao

Neste exemplo, apresenta-se a descrição de duas portas e duas janelas. Porém, ressalta-se que cada porta deve ser inserida no modelo duas vezes (cada uma referente à específica zona). Para descrever as 15 portas existentes na edificação, foi necessário inserir um total de 30 objetos. Com relação às janelas, foram inseridos um total de 40 objetos.

5.2.4 AirflowNetwork:Multizone:Component Detailed Opening

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		Janela	Porta
Air Mass Flow Coefficient When Opening is Closed	kg/s-m	0.0001	0.00005
Air Mass Flow Exponent When Opening is Closed	dimensionless	0.65	0.65
Type of Rectangular Large Vertical Opening (LVO)		NonPivoted	NonPivoted
Extra Crack Length or Height of Pivoting Axis	m	0	0
Number of Sets of Opening Factor Data		2	2
Opening Factor 1	dimensionless	0	0
Discharge Coefficient for Opening Factor 1	dimensionless	0.001	0.001
Width Factor for Opening Factor 1	dimensionless	0	0
Height Factor for Opening Factor 1	dimensionless	0	0
Start Height Factor for Opening Factor 1	dimensionless	0	0
Opening Factor 2	dimensionless	1	1
Discharge Coefficient for Opening Factor 2	dimensionless	0.6	0.6
Width Factor for Opening Factor 2	dimensionless	1	1
Height Factor for Opening Factor 2	dimensionless	1	1
Start Height Factor for Opening Factor 2	dimensionless	0	0

5.2.5 Análise dos resultados

A seguir são apresentados alguns resultados da ventilação natural através dos relatórios de saída fornecidos pelo programa EnergyPlus. Todas as análises foram realizadas para o dia 25/01, considerando todas as zonas do pavimento tipo – exceto a zona central.

- 1) *Comparação da temperatura interna e externa do caso base com e 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. 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 no caso sem a utilização da ventilação natural, nota-se que a temperatura interna do caso base é maior que a temperatura externa. As comparações podem ser observadas nas Figura 21 a Figura 28.

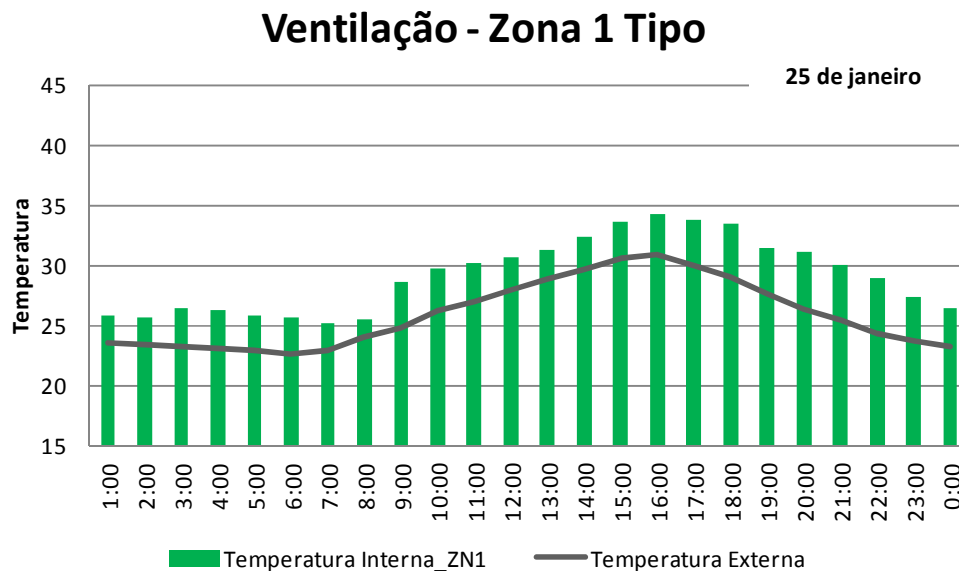


Figura 21 – Temperatura interna da Zona 1 com o uso da ventilação natural.

Sem Ventilação - Zona 1 Tipo

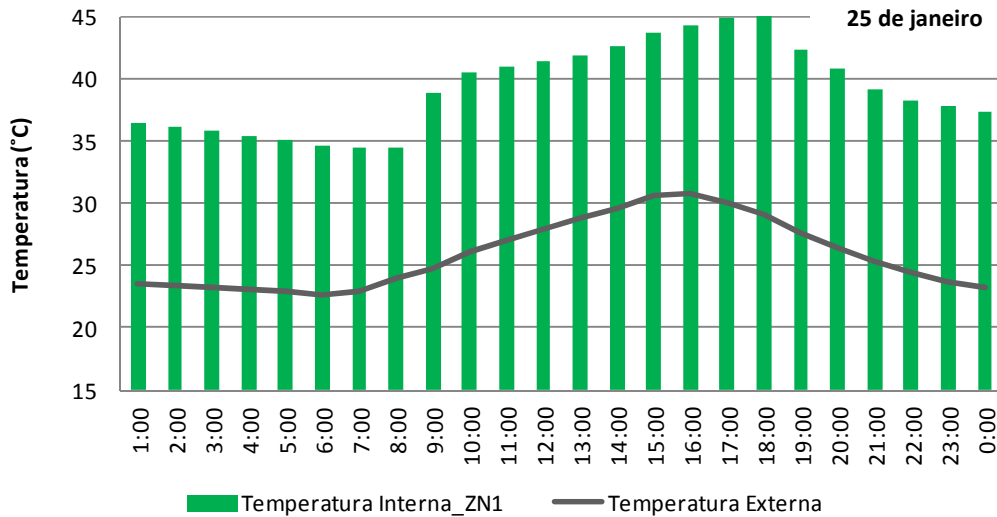


Figura 22 - Temperatura interna da Zona 1 sem o uso da ventilação natural.

Ventilação - Zona 2 Tipo

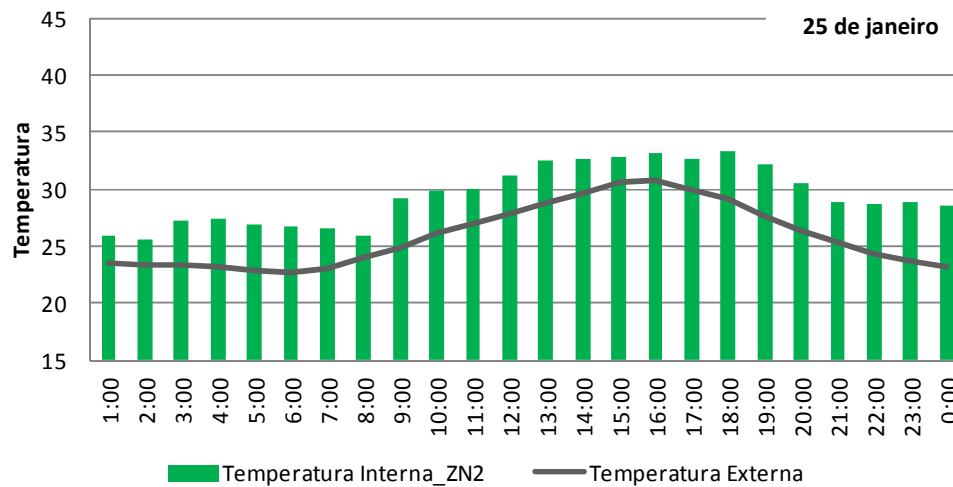


Figura 23 - Temperatura interna da Zona 2 com o uso da ventilação natural.

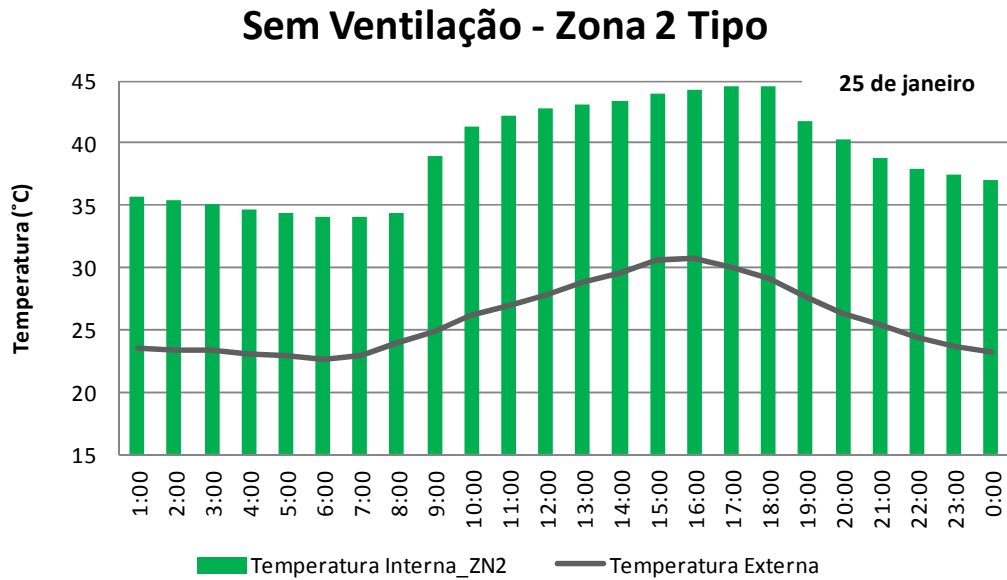


Figura 24 - Temperatura interna da Zona 2 sem o uso da ventilação natural.

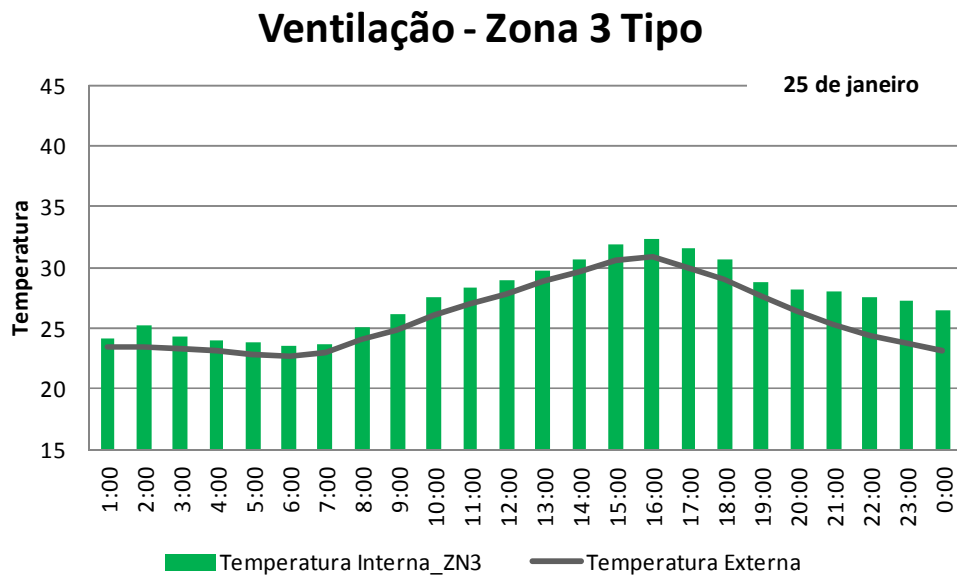


Figura 25 - Temperatura interna da Zona 3 com o uso da ventilação natural.

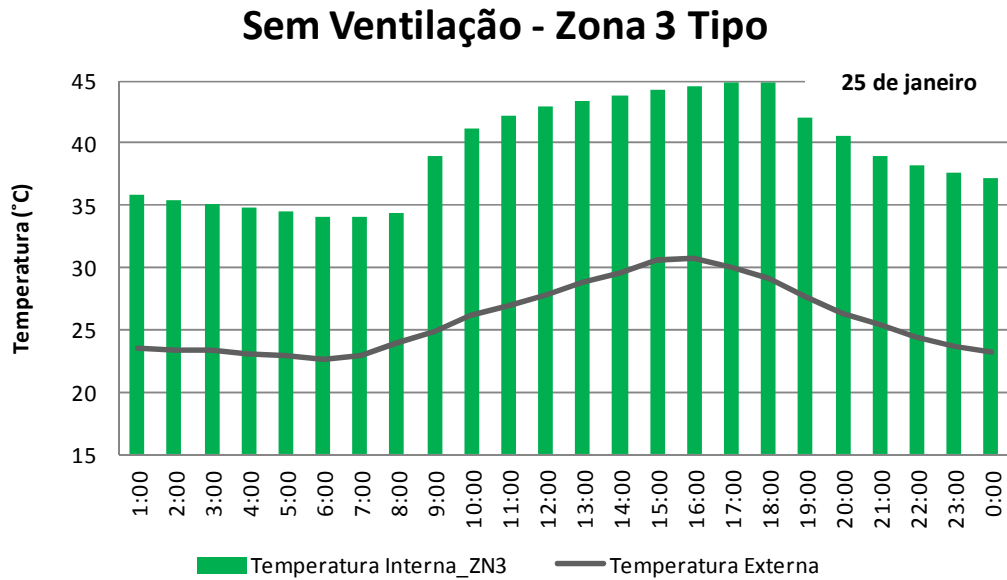


Figura 26 - Temperatura interna da Zona 3 sem o uso da ventilação natural.

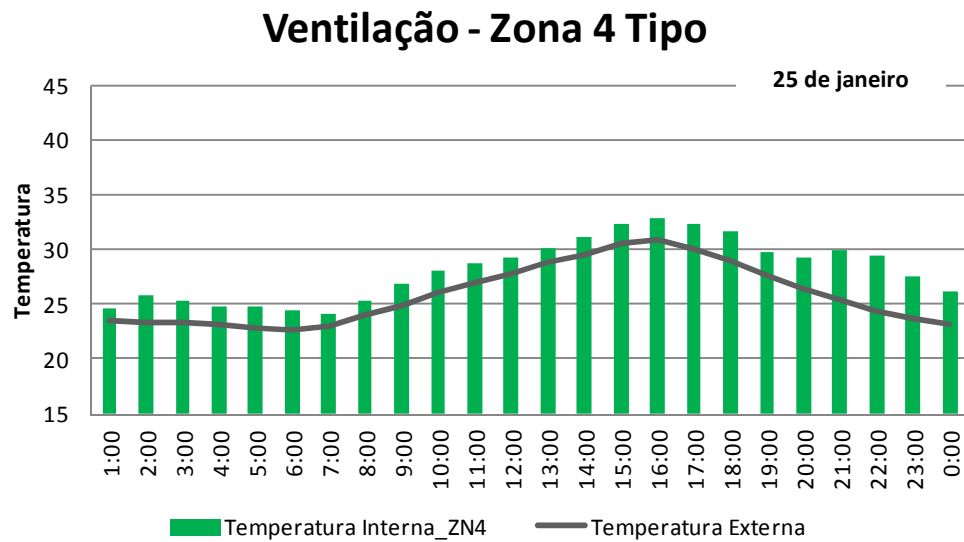


Figura 27 - Temperatura interna da Zona 4 com o uso da ventilação natural.

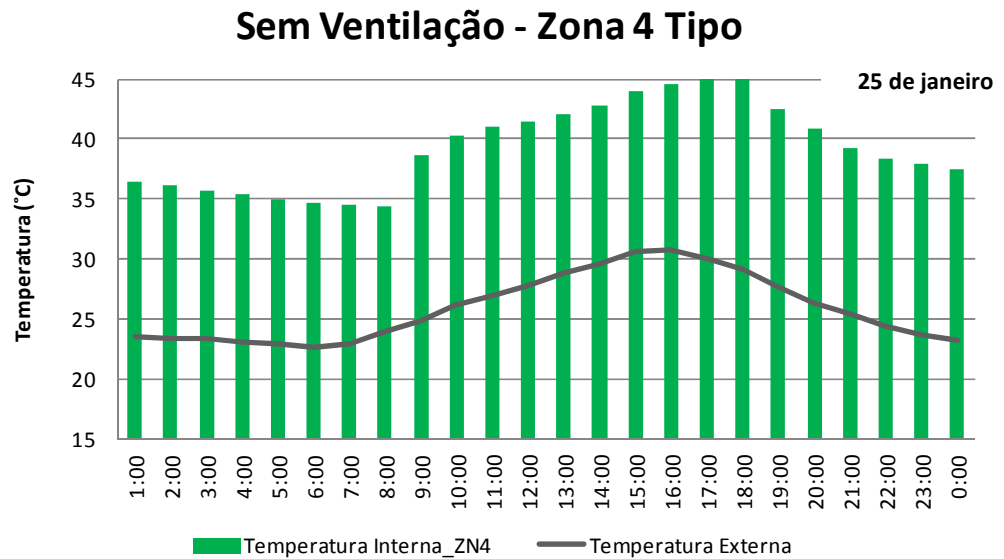


Figura 28 - Temperatura interna da Zona 4 sem o uso da ventilação natural.

Análise das trocas de ar da edificação versus a velocidade do vento: com base nos gráficos, nota-se que as trocas de ar variam de acordo com a mudança de velocidade do vento. A análise da troca de ar e velocidade do vento dos pavimentos tipo podem ser observadas nas Figura 29 a Figura 36. Observa-se que para todas as zonas analisadas há a ocorrência de troca de ar durante o período de ocupação. O controle da ventilação natural é definido no objeto *Ventilation Control Mode*. Neste caso, as aberturas de portas e janelas das zonas térmicas respeitam o controle *Temperature*. Desta forma, conforme explicado anteriormente (página 17), as portas e janelas serão abertas se: - a temperatura da zona for maior que a temperatura externa; - temperatura da zona for maior que a temperatura da schedule de temperatura da zona, definida em *Ventilation Control Zone Temperature Setpoint*.

Conforme explicado anteriormente (página 20), na classe *AirflowNetwork:Multizone:Component Detailed Opening* define-se as características das aberturas quando estas encontram-se abertas ou fechadas. Quando o objeto *Opening Factor #n* é nulo para as portas e janelas, ou seja, estas aberturas encontram-se fechadas, o objeto *Discharge*

Coefficient for Opening Factor #n demonstra a fração eficaz da ventilação, a qual é igual a 0,001. Desta forma, nos horários em que a *schedule* de ventilação impõe que as aberturas fiquem fechadas, as trocas de ar correspondentes são inferiores à 0,03 ACH.

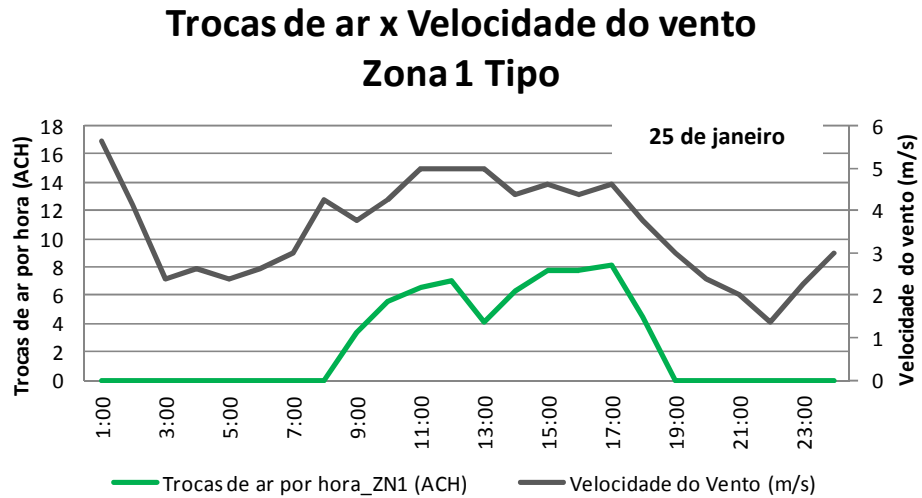


Figura 29 - Análise da velocidade do vento e trocas de ar da Zona 1.

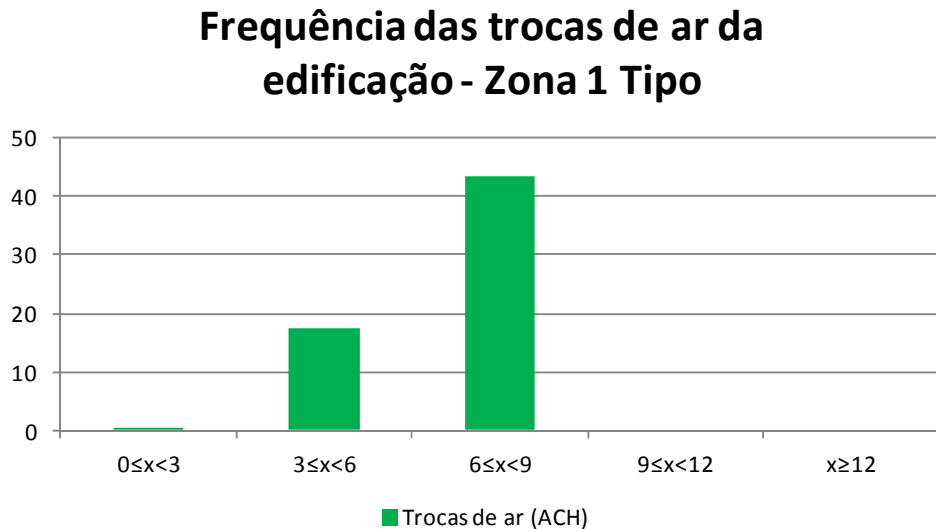


Figura 30 - Frequência de ocorrência das trocas de ar – Zona 1.

Trocas de ar x Velocidade do vento Zona 2 Tipo

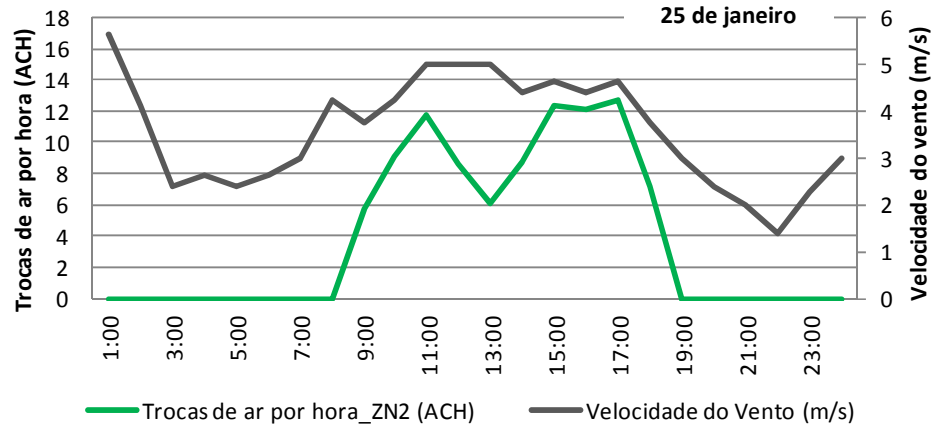


Figura 31 - Análise da velocidade do vento e trocas de ar da Zona 2.

Frequência das trocas de ar da edificação - Zona 2 Tipo

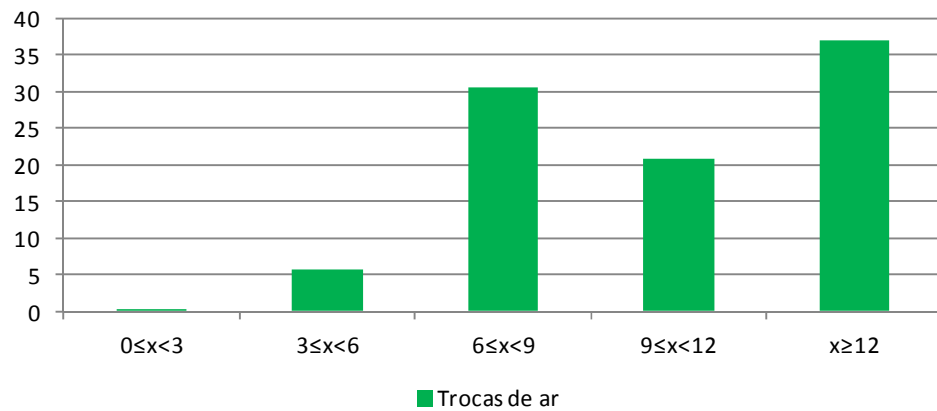


Figura 32 - Análise da velocidade do vento e trocas de ar da Zona 2.

Trocas de ar x Velocidade do vento Zona 3 Tipo

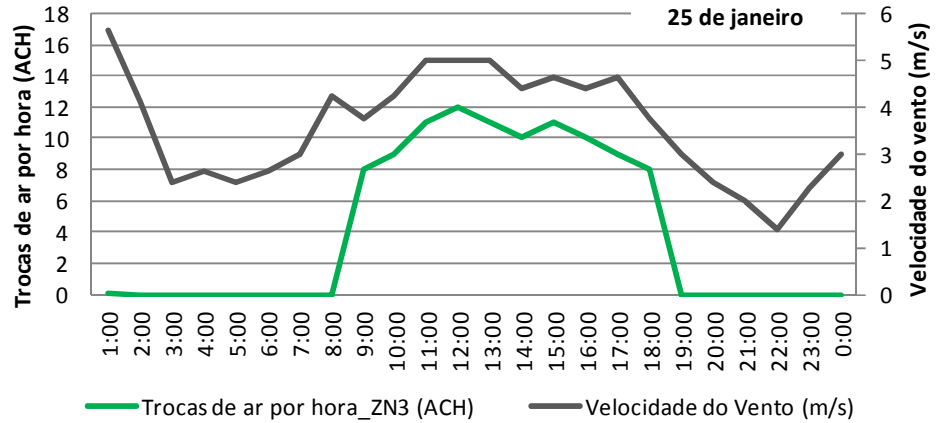


Figura 33 - Análise da velocidade do vento e trocas de ar da Zona 3.

Frequência das trocas de ar da edificação - Zona 3 Tipo

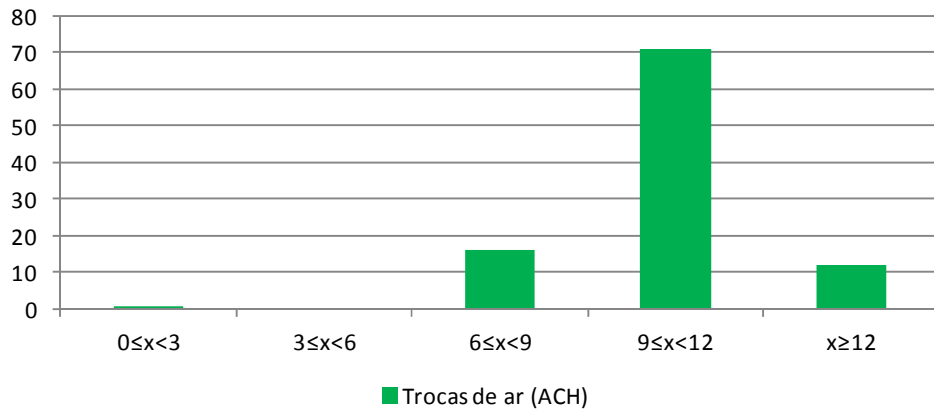


Figura 34 - Análise da velocidade do vento e trocas de ar da Zona 3.

Trocas de ar x Velocidade do vento Zona 4 Tipo

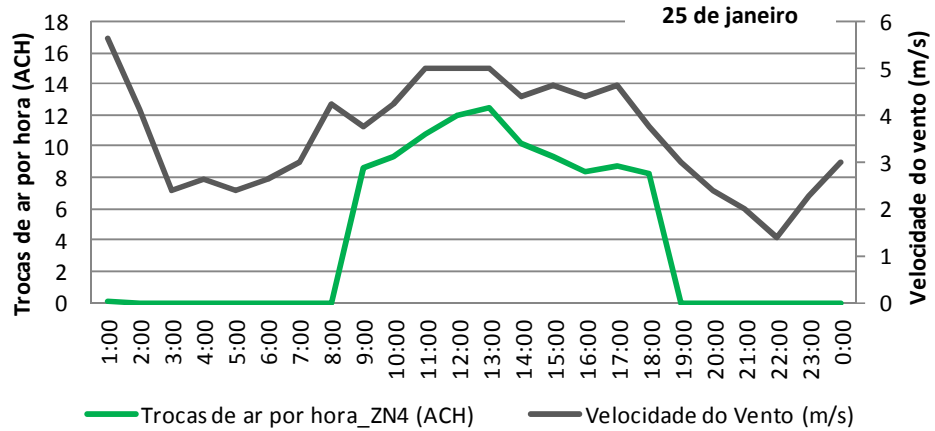


Figura 35 - Análise da velocidade do vento e trocas de ar da Zona 4.

Frequência das trocas de ar da edificação - Zona 4 Tipo

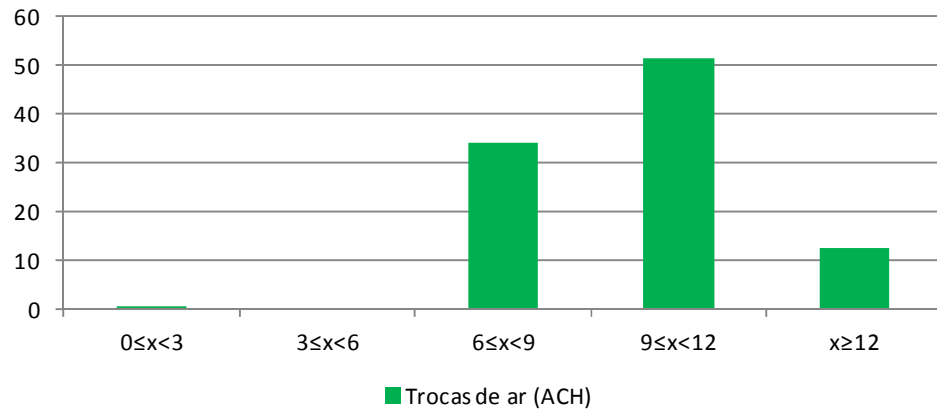


Figura 36 - Análise da velocidade do vento e trocas de ar da Zona 4.

6. 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 55-2010: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta, 2004.

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

Acesso em: maio 2013.

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-HOOPEN, 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.

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

GU, Lixing. Airflow network modeling in EnergyPlus. In: 10th International Building Performance Simulation. **Proceedings...**Beijing,2007.

SWAMI, M. V. and S. CHANDRA. 1988. Correlations for pressure distribution on buildings and calculation of natural-ventilation airflow, ASHRAE Transactions 94 (1988) (Pt 1), pp. 243-266.

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

WALKER, I.S., and WILSON, D.J., (1994), "Practical Methods for Improving Estimates of Natural Ventilation Rates", Proc. 15th AIVC Conference : The Role of Ventilation, Buxton, U.K., September 1994. (Presented by ISW, Best Paper Award).

WALTON, G. N. 1989. "AIRNET – A Computer Program for Building Airflow Network Modeling," NISTIR 89-4072, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland.

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