



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

**MANUAL DE USO DO ENERGY MANAGEMENT
SYSTEM (EMS) NO PROGRAMA ENERGYPLUS –
*Versão 9.1***

**Rodolfo Kirch Veiga
Letícia Gabriela Eli
Marcelo Salles Olinger
Rayner Maurício e Silva
Leonardo Mazzaferro
Ana Paula Melo
Roberto Lamberts**

Florianópolis, outubro de 2019.

INFORMAÇÕES GERAIS

Este manual foi elaborado com o objetivo de auxiliar o usuário do programa EnergyPlus, versão 9.1, a utilizar o objeto Energy Management System (EMS). A elaboração do manual baseou-se nos resultados de simulações computacionais utilizando a ferramenta de alta complexidade *Energy Management System* (EMS), e nos documentos *Input Output Reference* (DOE, 2019a), *Engineering Reference* (DOE, 2019b) e *Application Guide for EMS* (DOE, 2019c), fornecidos pelo programa EnergyPlus. O manual é apresentado de forma clara e objetiva, descrevendo cada parâmetro de entrada necessário para a utilização das estratégias de condicionamento artificial, descrita através da carga integrada anual, e da ventilação natural.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
2. O PROGRAMA COMPUTACIONAL ENERGYPLUS	8
3. ENERGY MANAGEMENT SYSTEM	9
3.1 Schedule:Constant	10
3.1.1 <i>Field: Name</i>	11
3.1.2 <i>Field: Schedule Type Limits Name</i>	11
3.1.3 <i>Field: Hourly Value</i>	11
3.2 EnergyManagementSystem:Sensor	11
3.2.1 <i>Field: Name</i>	11
3.2.2 <i>Field: Output:Variable or Output:Meter Index Key Name</i>	11
3.2.3 <i>Field: Output:Variable or Output:Meter Name</i>	12
3.3 EnergyManagementSystem:ProgramCallingManager	12
3.3.1 <i>Field: Name</i>	12
3.3.2 <i>Field: EnergyPlus Model Calling Point</i>	12
3.3.3 <i>Field: Program Name #n</i>	14
3.4 EnergyManagementSystem:Program	14
3.4.1 <i>Field: Name</i>	14
3.4.2 <i>Field: Program Line #n</i>	14
3.5 EnergyManagementSystem:Actuator	14
3.5.1 <i>Field: Name</i>	15
3.5.2 <i>Field: Actuated Component Unique Name</i>	15
3.5.3 <i>Field: Actuated Component Type</i>	15
3.5.4 <i>Field: Actuated Component Control Type</i>	15
4. EXEMPLO	16
4.1 Schedule:Constant	16
4.2 Output:Variable	16
4.3 EnergyManagementSystem:Sensor	18
4.4 EnergyManagementSystem:Actuator	19
4.5 EnergyManagementSystem:Program	20
4.6 EnergyManagementSystem:ProgramCallingManager	22
4.7 Avaliação do funcionamento do EMS	22
4.7.1 <i>Avaliação: Dormitório 1</i>	23
4.7.2 <i>Avaliação: Dormitório 2</i>	24

4.7.3 Avaliação: Sala	24
4.7.4 Conclusão da Avaliação	26
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27



1. INTRODUÇÃO

O sistema de climatização híbrido consiste em um sistema que se comporta alternando entre o uso da ventilação natural e do condicionamento artificial do ar. Esse comportamento é amplamente encontrado em regiões de climas quentes, especialmente onde a faixa de temperatura apresenta grande amplitude e diferentes estratégias de climatização são utilizadas para atingir o conforto térmico dos usuários das edificações.

O sistema de condicionamento artificial do ar mantém o ambiente interno em temperaturas constantes, definidas pelo usuário, portanto, é necessário um consumo de energia elétrica elevado, que representa investimentos financeiros significativos e grandes impactos para o meio ambiente. Em contraste, a ventilação natural utiliza a circulação do ar para renovar a qualidade do ar interno e para manter a temperatura dentro dos limites de conforto térmico, sem gastos energéticos adicionais. A ventilação natural também é controlada pelo usuário, que pode abrir ou fechar as aberturas (portas e janelas) para alcançar os benefícios mencionados.

Assim sendo, além de proporcionar conforto térmico aos usuários e possibilitar a renovação do ar, a climatização híbrida também reduz o consumo de energia, pois, em circunstâncias adequadas, evita a utilização dos sistemas de condicionamento artificial do ar, alternando-o para a ventilação natural.

Apesar de não ser aplicado frequentemente em edificações comerciais, que normalmente são climatizadas com condicionamento artificial, o condicionamento híbrido é comum em edificações residenciais. Nessas tipologias, a avaliação do conforto térmico e o controle do sistema de climatização são fragmentados em pequenas zonas térmicas e realizados por poucos usuários, fazendo com que a alternância entre a ventilação natural e o condicionamento artificial do ar seja mais fácil e frequente.

A otimização do sistema de condicionamento híbrido em edificações de países de clima quente e com alta amplitude térmica, como o Brasil, pode contribuir para a redução do consumo, trazendo benefícios que se integram aos três pilares da sustentabilidade (social, econômico e ambiental). Os benefícios provêm da redução de custos com energia elétrica e da redução das penalidades pelo uso da energia (econômico), da redução dos impactos ambientais para a geração de energia elétrica (ambiental) e do aumento do conforto térmico e da renovação do ar (social).



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 depende da aplicação. Segundo o DOE (2019d), o Diretório de Ferramentas de Simulações Computacionais do Departamento de Energia dos Estados Unidos apresenta diversos 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 EnergyPlus trata-se de um *software* de simulação de carga térmica e análise energética internacionalmente conhecido, e possibilita simulações confiáveis de diversas tipologias arquitetônicas, sistemas construtivos e condicionamento de ar.

O uso de programas computacionais tem contribuído consideravelmente 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; no comportamento dos usuários, ou, até mesmo; na análise das contas de energia elétrica das edificações.

2. O PROGRAMA COMPUTACIONAL ENERGYPLUS

Para a elaboração deste manual, adotou-se o programa de simulação computacional EnergyPlus, utilizando a versão 9.1 (ENERGYPLUS, 2019). 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.

Para realizar uma simulação com sistema de climatização híbrido no programa EnergyPlus é necessário, inicialmente, modelar a geometria e os componentes construtivos do modelo, as cargas internas, os sistemas de ventilação natural (*Airflow Network*) e de condicionamento artificial do ar (*HVAC Template*) e as *schedules* de comportamento dos usuários. Posteriormente, é necessário relacionar as interações dos usuários com os sistemas de ventilação natural e de condicionamento artificial do



ar para atingir o conforto térmico. Essas interações são realizadas através do grupo de objetos *Energy Management System* (EMS), que lê diversos dados de saída, como temperatura operativa e ocupação das zonas térmicas, e ordena a alteração das *schedules* de comportamento dos usuários através de códigos de programação em Erl (linguagem nativa do programa EnergyPlus).

O EMS é uma ferramenta avançada que exige alto conhecimento técnico, tanto para utilizar o *software* EnergyPlus quanto para desenvolver os códigos de programação, pois o simulador deverá descrever o comportamento exato do seu modelo através de códigos de programação em uma nova linguagem (Erl).

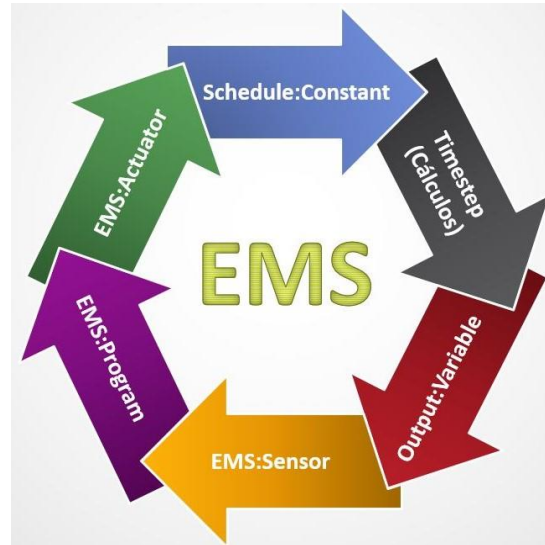
Tendo em vista o nível de complexidade e necessidade que a ferramenta representa para a aplicação da climatização híbrida em edificações, este manual pretende detalhar os parâmetros necessários para a modelagem do condicionamento híbrido no programa computacional EnergyPlus, através do grupo de objetos *Energy Management System* (EMS), apresentando a utilização dos dados de entrada em cada objeto do programa EnergyPlus.

3. ENERGY MANAGEMENT SYSTEM

O *Energy Management System* (EMS) é um sistema de controle energético de alta complexidade que permite acessar em tempo real uma variedade de dados de saída gerados na simulação, através de sensores, e executar ações pré-determinadas. Dentre a vasta gama de ações que o EMS é capaz de executar estão: o acionamento de sistemas de condicionamento de ar, de equipamentos elétricos, de geradores locais de energia e dos sistemas de iluminação, o controle de abertura de portas e janelas para a ventilação natural, a alteração de *setpoints* de termostatos e até mesmo a troca de materiais construtivos.

A ferramenta faz uso da linguagem de programação *EnergyPlus Runtime Language* (Erl) para determinar as circunstâncias a partir das quais as ações devem ser realizadas. Essas circunstâncias são determinadas através da análise de sensores (do objeto *EnergyManagementSystem:Sensor*), que leem os dados de saída, e as ações são comandadas por atuadores (do objeto *EnergyManagementSystem:Actuator*), que mudam o comportamento de certos aspectos da simulação. O esquema presente na Figura 1 ilustra o ciclo de funcionamento do EMS a cada *timestep*.

Figura 1 - Ciclo de funcionamento do EMS.



Para simular um sistema de climatização híbrido através do objeto EMS do programa EnergyPlus é necessário inserir os seguintes objetos:

- *Schedule:Constant*;
- *EnergyManagementSystem:Sensor*;
- *EnergyManagementSystem:ProgramCallingManager*;
- *EnergyManagementSystem:Program*;
- *EnergyManagementSystem:Actuator*.

Cada objeto de entrada listado acima e seus respectivos campos de preenchimento serão detalhados nas próximas seções.

3.1 Schedule:Constant

Essa variável não é do grupo *Energy Management System*, entretanto, é utilizada para controlar os sistemas de condicionamento de ar e de ventilação natural das edificações.

Esse objeto de entrada é utilizado para atribuir valores constantes em um determinado período (*timestep*) de interesse, logo, é capaz de definir se os sistemas de climatização (condicionamento artificial de ar ou ventilação natural) podem ser habilitados ou não.



3.1.1 *Field: Name*

Esse parâmetro está relacionado com o nome que o usuário irá fornecer para a *schedule*.

3.1.2 *Field: Schedule Type Limits Name*

Esse campo se refere ao nome definido em *ScheduleTypeLimits*, o qual define os valores disponíveis para essa variável.

3.1.3 *Field: Hourly Value*

Esse campo contém um valor real que será constante no período de interesse.

3.2 **EnergyManagementSystem:Sensor**

Esse objeto de entrada é utilizado para informar o valor de determinado *output* ao *EnergyManagementSystem:Program*. Para tanto, os objetos de *EnergyManagementSystem:Sensor* recolhem informações dos dados de saída do modelo, através dos objetos de *Output:Variable* e *Output:Meter*, logo, essas informações serão processadas e enviadas aos objetos do *EnergyManagementSystem:Actuator*. Os arquivos *eplusout.rdd* e *eplusout.mdd* gerados em cada simulação oferecem uma lista de dados de saída que podem ser utilizados como sensores.

3.2.1 *Field: Name*

Esse parâmetro está relacionado com o nome que o usuário irá fornecer para o sensor, e servirá como uma variável na programação em Erl. Esse campo não deve conter espaços.

3.2.2 *Field: Output:Variable or Output:Meter Index Key Name*

Esse campo deve ser preenchido com o valor do campo *Key Value* em *Output:Variable* ou *Output:Meter*. O *Key Value* é o primeiro campo que deve ser preenchido nos objetos *Output:Variable* e *Output:Meter*. Por exemplo, se o dado de saída é *Zone Operative Temperature*, o nome da zona será o *Key Value*.



3.2.3 *Field: Output:Variable or Output:Meter Name*

Esse campo deve ser preenchido com o nome do campo *Variable Name* em *Output:Variable* ou *Output:Meter*.

3.3 EnergyManagementSystem:ProgramCallingManager

Esse objeto é utilizado para gerenciar os códigos de programação, desenvolvidos através do objeto *EnergyManagementSystem:Program*.

3.3.1 *Field: Name*

Esse parâmetro está relacionado com o nome que o usuário irá fornecer para o gerente de inicialização dos códigos de programação.

3.3.2 *Field: EnergyPlus Model Calling Point*

Esse campo define quando os códigos de programação em Erl serão iniciados. Os códigos podem ser iniciados das seguintes maneiras:

- *BeginNewEnvironment*: a leitura do código acontece próxima do início de cada período definido (*design days and run periods*, por exemplo);
- *AfterNewEnvironmentWarmUpIsComplete*: a leitura do código acontece no início de cada período definido, porém, após a conclusão dos *warm up days*;
- *BeginTimestepBeforePredictor*: a leitura do código acontece próxima do início de cada *timestep*, mas antes dos cálculos das predições;
- *AfterPredictorBeforeHVACManagers*: a leitura do código acontece em cada *timestep* logo após o cálculo das predições, porém, antes do início dos modelos de controle tradicionais *SetpointManager* e *AvailabilityManager* – quando há conflitos, as ações tradicionais sobrepõem as ações do EMS;
- *AfterPredictorAfterHVACManager*: a leitura do código acontece em cada *timestep* após o cálculo das predições e o início do objeto *SetpointManager* e do *AvailabilityManager* – quando há conflitos, as ações do EMS sobrepõem as ações tradicionais;



- *InsideHVACSystemIterationLoop*: a leitura do código acontece em cada *loop* de interação de convergência do sistema de condicionamento artificial do ar, o qual se repete diversas vezes dentro de um mesmo *timestep* – esse processo pode tornar a simulação consideravelmente mais lenta;
- *EndOfZoneTimestepBeforeZoneReporting*: a leitura do código acontece em cada *timestep* da zona logo antes da atualização dos relatórios de *Output:Variable* e *Output:Meter* relativos às zonas;
- *EndOfZoneTimestepAfterZoneReporting*: a leitura do código acontece em cada *timestep* da zona logo depois da atualização dos relatórios de *Output:Variable* e *Output:Meter* relativos às zonas;
- *EndOfSystemTimestepBeforeHVACReporting*: a leitura do código acontece em cada *timestep* do sistema logo antes de os relatórios de *Output:Variable* e *Output:Meter* relativos aos sistemas de condicionamento artificial de ar serem atualizados;
- *EndOfSystemTimestepAfterHVACReporting*: a leitura do código acontece em cada *timestep* do sistema logo após a atualização de os relatórios de *Output:Variable* e *Output:Meter* relativos aos sistemas de condicionamento artificial de ar;
- *EndOfZoneSizing*: a leitura do código acontece uma única vez durante toda a simulação, logo depois de os cálculos de dimensionamento das zonas serem completados, mas antes da finalização dos resultados do dimensionamento – esse código é interpretado pela simulação apenas se o campo *Do Zone Sizing Calculation*, no objeto *SimulationControl*, estiver definido como *Yes*;
- *EndOfSystemSizing*: a leitura do código acontece uma única vez durante toda a simulação, logo após os cálculos de dimensionamento do sistema de ar, mas antes da finalização dos resultados de dimensionamento – esse código é interpretado pela simulação apenas se o campo *Do System Sizing Calculation*, no objeto *SimulationControl*, estiver definido como *Yes*;
- *AfterComponentInputReadIn*: a leitura do código acontece após o processamento dos dados de entrada do sistema de



condicionamento artificial de ar, mas antes de qualquer cálculo de dimensionamento automático;

- *UserDefinedComponentModel*: a leitura do código acontece quando o grupo de objetos *User Defined HVAC and Plant Component Models*, é ordenado para ser simulado;
- *UnitarySystemSizing*: a leitura do código acontece com o início dos cálculos dos sistemas unitários para determinar os valores dos campos de entrada de auto dimensionamento.

3.3.3 Field: Program Name #n

Esse parâmetro se refere ao nome dos códigos de programação, que serão gerenciados pelo objeto *EnergyManagementSystem:Program*.

3.4 EnergyManagementSystem:Program

Esse objeto é o processador central do EMS, contendo linguagens de programação em Erl. Cada linha de programação apresentada nesse objeto é iniciada na ordem em que foram dispostas e de acordo com as características definidas no campo *EnergyPlus Model Calling Point* do objeto *EnergyManagementSystem:ProgramCallingManager*. Informações adicionais sobre a linguagem Erl podem ser obtidas no *Application Guide for EMS* (DOE, 2019c), documento do EnergyPlus.

3.4.1 Field: Name

Esse parâmetro define o nome do código de programação em Erl. Não é permitido o uso de espaço ou caracteres especiais.

3.4.2 Field: Program Line #n

Cada linha desse campo contém uma linha singular de código em Erl. As vírgulas separando cada campo podem ser identificadas como o fim da linha de código.

3.5 EnergyManagementSystem:Actuator

Este objeto de entrada identifica os valores das variáveis através do *EnergyManagementSystem:Program* e atua sobre determinado objeto. O arquivo *eplusout.edd*, gerado em cada simulação, apresenta uma lista dos objetos que podem



ser modificados através dos atuadores para a simulação em questão. O *Application Guide for EMS* do EnergyPlus (DOE, 2019c) contém informações detalhadas sobre os atuadores EMS.

3.5.1 *Field: Name*

Esse parâmetro está relacionado com o nome que o usuário irá fornecer para o atuador e servirá como uma variável na programação em Erl. Esse campo não deve conter espaços.

3.5.2 *Field: Actuated Component Unique Name*

Esse campo define o nome da entidade que será controlada pelo atuador, como o nome de uma *Schedule:Constant*, por exemplo. Sendo assim, o usuário deve procurar a *Schedule:Constant* que será controlada e copiar a informação no campo *Name* desse objeto.

3.5.3 *Field: Actuated Component Type*

Esse campo define o tipo da entidade que será controlada pelo atuador. Caso a entidade seja uma *Schedule:Constant*, por exemplo, esse campo deve ser preenchido, exatamente, como "*Schedule:Constant*". Caso a entidade a ser controlada seja uma superfície (*Surface*), esse objeto deve ser preenchido, exatamente, como "*Surface*".

3.5.4 *Field: Actuated Component Control Type*

Esse campo define o tipo de controle que será realizado para a entidade específica que está sendo controlada. Os tipos de controle disponíveis para uma determinada simulação são listados no arquivo *eplusout.edd*, gerado pela própria simulação.



4. EXEMPLO

Este exemplo é referente ao uso do EMS para o sistema de climatização onde é possível habilitar o uso da ventilação natural ou do sistema de condicionamento artificial. Os objetos necessários para o funcionamento da ferramenta de controle foram detalhados, assim como as considerações referente as linhas de comando dos códigos do *EnergyManagementSystem:Program*, que descrevem as circunstâncias nas quais os sistemas devem ser alternados.

4.1 *Schedule:Constant*

Cada componente dos sistemas de climatização híbrido que precisa ser alterado pelo EMS (ventilação natural [VN] e carga térmica integrada anual [HVAC]) deve possuir uma *schedule*, que, eventualmente, será variada pelo *EnergyManagementSystem:Actuator*. Os limites dessas *schedules* foram definidos no objeto *ScheduleTypeLimits* com valores discretos entre 0 e 1, ou seja, 0 indica que o sistema está desligado e 1 indica que o sistema está ligado. A Figura 2 descreve o objeto *ScheduleTypeLimits* e a Figura 3 descreve o objeto *Schedule:Constant*.

Figura 2 – Objeto de *ScheduleTypeLimits*, do grupo *Schedules*.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4
Name		fracao	atividade	On_Off	TEMPERATURE
Lower Limit Value	varies	0	0	0	0
Upper Limit Value	varies	1	1000	1	50
Numeric Type		Continuous	Continuous	Discrete	Continuous
Unit Type		Percent	ActivityLevel	Control	Temperature

Figura 3 – Objeto de *Schedule:Constant*, do grupo *Schedules*.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4
Name		HVAC_Sala	VN_Sala	HVAC_Dorm1	VN_Dorm1
Schedule Type Limits Name		On_Off	On_Off	On_Off	On_Off
Hourly Value	varies	0	1	0	1

Obj5	Obj6
HVAC_Dorm2	VN_Dorm2
On_Off	On_Off
0	1

4.2 *Output:Variable*

A simulação deve ser realizada anteriormente ao desenvolvimento completo do EMS, pois é necessário que sejam definidos os dados de saída em *Output:Variable*. Para tanto, devem ser configurados os sistemas de condicionamento artificial de ar, no grupo *HVAC Templates*, e do sistema de ventilação natural, no grupo *Natural*



Ventilation and Duct Leakage (AirflowNetwork), além dos componentes construtivos, *schedules*, cargas internas, entre outros.

A Figura 4 expõe os objetos de *Output:Variable* que precisaram ser criados para o funcionamento adequado do EMS nesse exercício. Os sensores do objeto *EMS:Sensor* leem esses *outputs* a cada *timestep*, enviam para o código de programação do *EMS:Program*, que identifica quais ações devem ser realizadas e as envia para os objetos atuadores do *EMS:Actuator*, que modificam o comportamento do sistema de condicionamento de ar da edificação. Por exemplo, os objetos 16 e 21 da Figura 4 definem que, a cada *timestep*, será gerada uma informação que descreve se os sistemas de ventilação natural e de condicionamento artificial do ar, respectivamente, estão ligados (valor da *schedule* igual a 1) ou não (valor da *schedule* igual a 0). A partir dos valores desses *outputs* e dos demais, o código do *EMS:Program* decidirá quais ações deverão ser realizadas pelos atuadores.

A simulação desenvolvida gera os arquivos *eplusout.rdd* e *eplusout.mdd*, que apresentam as variáveis de saída, para *Output:Variable* e *Output:Meter*, respectivamente, disponíveis para essa simulação.

Nessa etapa é preciso selecionar todos os relatórios que serão utilizados como fonte de informações para os sensores que serão estabelecidos em *EnergyManagementSystem:Sensor*.

Figura 4 – Objeto de *Output:Variable*, do grupo *Output Reporting*.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4
Key Value		*	Dorm1	Dorm2	Sala
Variable Name		Site Outdoor Air Dry	Zone Operative Ter	Zone Operative Ter	Zone Operative Ter
Reporting Frequency		Timestep	Timestep	Timestep	Timestep
Schedule Name					

Obj5	Obj6	Obj7	Obj8	Obj9	Obj10	Obj11
Sala1	Dormitorio1	Dormitorio2	*	*	*	*
People Occupant C	People Occupant C	People Occupant C	Zone Ideal Loads Z	Zone Ideal Loads Z	AFN Surface Ventin	Zone Mean Air Tem
Timestep	Timestep	Timestep	Timestep	Timestep	Timestep	Timestep

Obj12	Obj13	Obj14	Obj15	Obj16	Obj17	Obj18
*	Dorm1	Dorm2	Sala	VN_Dorm1	VN_Dorm2	VN_Sala
AFN Zone Infiltrator	Zone Mean Air Tem	Zone Mean Air Tem	Zone Mean Air Tem	Schedule Value	Schedule Value	Schedule Value
Timestep	Timestep	Timestep	Timestep	Timestep	Timestep	Timestep

Obj18	Obj19	Obj20	Obj21	Obj22
VN_Sala	HVAC_Dorm1	HVAC_Dorm2	HVAC_Sala	*
Schedule Value	Schedule Value	Schedule Value	Schedule Value	Zone Ideal Loads Z
Timestep	Timestep	Timestep	Timestep	Timestep

4.3 EnergyManagementSystem:Sensor

Sensores serão estabelecidos para cada variável que for declarada nos objetos do *EnergyManagementSystem:Program*. Nesse exercício foram respeitadas as condições de conforto estabelecidas na Instrução Normativa do Inmetro para Edificações Residenciais - INI-R (CB3E, 2018), como apresentam as Figura 5 e Figura 6. Destaca-se a importância de analisar a temperatura operativa no ambiente, a temperatura do ar no ambiente, a temperatura do ar externo, a ocupação do ambiente e o *status on/off* do sistema de condicionamento artificial de ar do ambiente. A Figura 7 apresenta os dados de entrada do objeto para o exercício em questão, cujos campos estão explicados no item 3.2 desse texto. A simulação foi realizada utilizando arquivo climático TMY da cidade de Florianópolis.

Figura 5 – Condições para alternar os sistemas de ventilação de dormitórios.

Fonte: INI-R (CB3E, 2018).

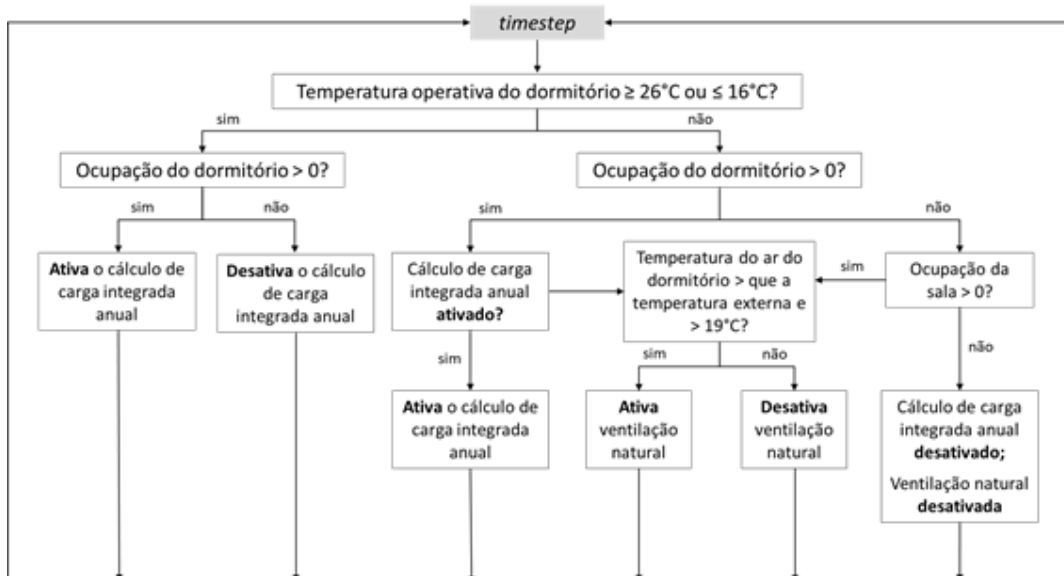


Figura 6 – Condições para alternar os sistemas de ventilação salas.

Fonte: INI-R (CB3E, 2018).

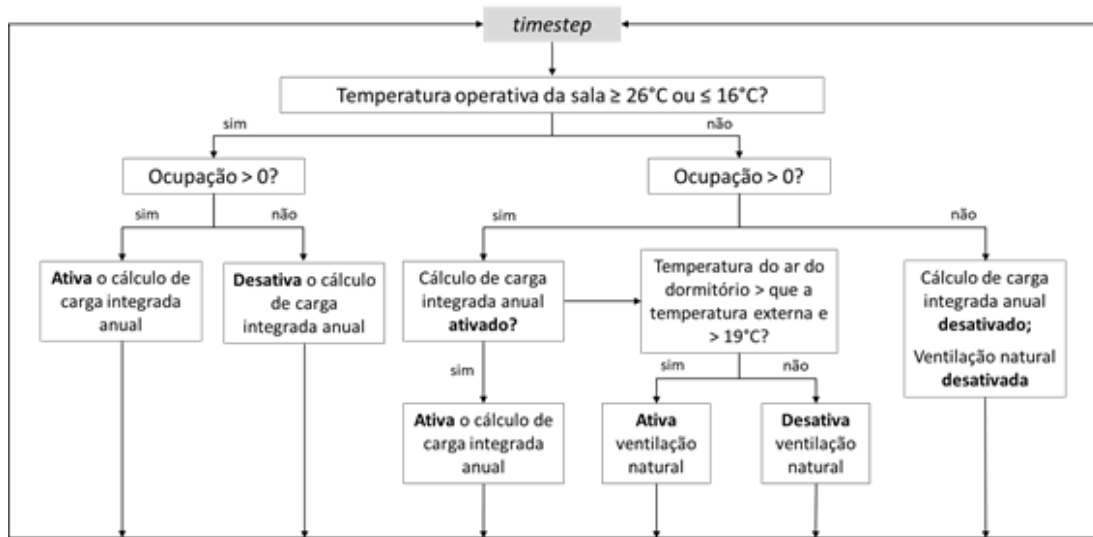


Figura 7 – Objeto de *EnergyManagementSystem:Sensor*, do grupo *Energy Management System (EMS)*.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4
Name		Temp_Dorm1	Temp_Sala	Ocup_Dorm1	Ocup_Sala
Output:Variable or Output:Meter Index Key Name		Dorm1	Sala	Dormitorio1	Sala1
Output:Variable or Output:Meter Name		Zone Operative Ter	Zone Operative Ter	People Occupant C	People Occupant C

Obj5	Obj6	Obj7	Obj8	Obj9
Temp_Ext	Tar_D1	Tar_Sala	Sensor_HVACD1	Sensor_HVAC_SALA
Environment	Dorm1	Sala	HVAC_Dorm1	HVAC_Sala
Site Outdoor Air Dry	Zone Mean Air Tem	Zone Mean Air Tem	Schedule Value	Schedule Value

Obj10	Obj11	Obj12	Obj13
Temp_Dorm2	Ocup_Dorm2	Tar_D2	Sensor_HVACD2
Dorm2	Dormitorio2	Dorm2	HVAC_Dorm2
Zone Operative Ter	People Occupant C	Zone Mean Air Tem	Schedule Value

4.4 *EnergyManagementSystem:Actuator*

Serão estabelecidos atuadores que alternam o uso do sistema de ventilação natural e do condicionamento artificial. Portanto, é preciso criar um objeto para o condicionamento artificial do ar (HVAC) e um objeto para a ventilação natural (VN) para cada um dos ambientes de permanência prolongada (dormitório 1 e 2 e sala). A Figura 8 apresenta os dados de entrada do objeto para o exercício em questão, cujos campos estão explicados no item 3.5 desse texto.

Figura 8 - Objeto de *EnergyManagementSystem:Actuator*, do grupo *Energy Management System (EMS)*.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4
Name		Controle_HVAC_Do	Controle_VN_Dorm	Controle_HVAC_Sa	Controle_VN_Sala
Actuated Component Unique Name		HVAC_Dorm1	VN_Dorm1	HVAC_Sala	VN_Sala
Actuated Component Type		Schedule:Constant	Schedule:Constant	Schedule:Constant	Schedule:Constant
Actuated Component Control Type		Schedule Value	Schedule Value	Schedule Value	Schedule Value

Obj5	Obj6
Controle_HVAC_Do	Controle_VN_Dorm
HVAC_Dorm2	VN_Dorm2
Schedule:Constant	Schedule:Constant
Schedule Value	Schedule Value

4.5 *EnergyManagementSystem:Program*

Os códigos para cada um dos ambientes definem uma série de comandos que serão realizados nos objetos de *Schedule:Constant*, pelos objetos do *EnergyManagementSystem:Actuator*, caso o ambiente se enquadre em alguma das circunstâncias nas linhas do código. As circunstâncias se baseiam na análise dos objetos do *EnergyManagementSystem:Sensor*, que colhem informações dos relatórios de saída gerados a cada *timestep* pelos objetos do *Output:Variable*.

A Figura 9 se trata o código de programação utilizado para atender às exigências do INI-R (CB3E, 2018). Fazendo uma comparação entre o fluxograma das Figuras 5 e 6 e o código da Figura 9, é possível entender um pouco sobre a linguagem de programação nativa do EnergyPlus (Erl). Maiores detalhes sobre o *EMS:Program* e a linguagem de programação Erl podem ser encontrados no *Application Guide for EMS* (DOE, 2019c).

Figura 9 – Objeto de *EnergyManagementSystem:Program*, do grupo *Energy Management System (EMS)*.

```
!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: ENERGYMANAGEMENTSYSTEM:PROGRAM =====
EnergyManagementSystem:Program,
  CompDorm1Ativo,          !- Name
  SET Temp_Conf = ((Temp_Dorm1 >= 26) || (Temp_Dorm1 <= 16)), !- Program Line 1
  IF (Ocup_Dorm1 > 0) && (Temp_Conf == 1), !- Program Line 2
  Set Controle_HVAC_Dorm1 = 1, !- A4
  Set Controle_VN_Dorm1 = 0, !- A5
  ELSEIF ((Ocup_Dorm1 > 0) && (Sensor_HVACD1 > 0)), !- A6
  Set Controle_HVAC_Dorm1 = 1, !- A7
  Set Controle_VN_Dorm1 = 0, !- A8
  ELSEIF ((Ocup_Sala > 0) || (Ocup_Dorm1 > 0)), !- A9
  Set Controle_HVAC_Dorm1 = 0, !- A10
  IF ((Temp_Ext<Tar_D1) && (Temp_Ext>19)), !- A11
  Set Controle_VN_Dorm1 = 1, !- A12
  ELSEIF ((Temp_Ext>Tar_D1) && (Temp_Ext>19)), !- A13
  Set Controle_VN_Dorm1 = 0, !- A14
  ELSEIF (Temp_Ext<19), !- A15
  Set Controle_VN_Dorm1 = 0, !- A16
  ENDIF, !- A17
  ELSEIF (Ocup_Dorm1 == 0) && (Ocup_Sala == 0), !- A18
  Set Controle_HVAC_Dorm1 = 0, !- A19
  Set Controle_VN_Dorm1 = 0, !- A20
  ENDIF; !- A21

EnergyManagementSystem:Program,
  CompSalaAtivo,          !- Name
  SET Temp_Conf = ((Temp_Sala >= 26) || (Temp_Sala <= 16)), !- Program Line 1
  IF (Ocup_Sala > 0) && (Temp_Conf == 1), !- Program Line 2
  Set Controle_HVAC_Sala = 1, !- A4
  Set Controle_VN_Sala = 0, !- A5
  ELSEIF ((Ocup_Sala > 0) && (Sensor_HVACSALA > 0)), !- A6
  Set Controle_HVAC_Sala = 1, !- A7
  Set Controle_VN_Sala = 0, !- A8
  ELSEIF (Ocup_Sala > 0), !- A9
  IF ((Temp_Ext<Tar_Sala) && (Temp_Ext>19)), !- A10
  Set Controle_HVAC_Sala = 0, !- A11
  Set Controle_VN_Sala = 1, !- A12
  ELSEIF ((Temp_Ext>Tar_Sala) && (Temp_Ext>19)), !- A13
  Set Controle_HVAC_Sala = 0, !- A14
  Set Controle_VN_Sala = 0, !- A15
  ELSEIF (Temp_Ext<19), !- A16
  Set Controle_HVAC_Sala = 0, !- A17
  Set Controle_VN_Sala = 0, !- A18
  ENDIF, !- A19
  ELSEIF (Ocup_Sala == 0), !- A20
  Set Controle_HVAC_Sala = 0, !- A21
  Set Controle_VN_Sala = 0, !- A22
  ENDIF; !- A23

EnergyManagementSystem:Program,
  CompDorm2Ativo,          !- Name
  SET Temp_Conf = ((Temp_Dorm2 >= 26) || (Temp_Dorm2 <= 16)), !- Program Line 1
  IF (Ocup_Dorm2 > 0) && (Temp_Conf == 1), !- Program Line 2
  Set Controle_HVAC_Dorm2 = 1, !- A4
  Set Controle_VN_Dorm2 = 0, !- A5
  ELSEIF ((Ocup_Dorm2 > 0) && (Sensor_HVACD2 > 0)), !- A6
  Set Controle_HVAC_Dorm2 = 1, !- A7
  Set Controle_VN_Dorm2 = 0, !- A8
  ELSEIF ((Ocup_Sala > 0) || (Ocup_Dorm2 > 0)), !- A9
  Set Controle_HVAC_Dorm2 = 0, !- A10
  IF ((Temp_Ext<Tar_D2) && (Temp_Ext>19)), !- A11
  Set Controle_VN_Dorm2 = 1, !- A12
  ELSEIF ((Temp_Ext>Tar_D2) && (Temp_Ext>19)), !- A13
  Set Controle_VN_Dorm2 = 0, !- A14
  ELSEIF (Temp_Ext<19), !- A15
  Set Controle_VN_Dorm2 = 0, !- A16
  ENDIF, !- A17
  ELSEIF (Ocup_Dorm2 == 0) && (Ocup_Sala == 0), !- A18
  Set Controle_HVAC_Dorm2 = 0, !- A19
  Set Controle_VN_Dorm2 = 0, !- A20
  ENDIF; !- A21
```



4.6 EnergyManagementSystem:ProgramCallingManager

Nessa etapa foi estabelecido um objeto que define o ponto de partida dos ciclos do EMS para os códigos de todos os ambientes. Nesse exemplo, a leitura de todos os códigos em Erl, um para cada ambiente, iniciará próxima do início de cada *timestep*, mas antes do cálculo das predições. A Figura 10 trata do objeto que precisou ser criado nesse exemplo, sendo que a definição de cada campo pode ser encontrada no item 3.3 desse texto.

Figura 10 – Objeto de *EnergyManagementSystem:ProgramCallingManager*, do grupo *Energy Management System (EMS)*.

Field	Units	Obj1
Name		Meu Controle HVAC
EnergyPlus Model Calling Point		BeginTimestepBeforePredictor
Program Name 1		CompDorm1Ativo
Program Name 2		CompSalaAtivo
Program Name 3		CompDorm2Ativo

4.7 Avaliação do funcionamento do EMS

Para conferir se o EMS está funcionando corretamente, é necessário analisar os relatórios de saída gerados pelo objeto *Output:Variables*.

Os relatórios de saída utilizados são os seguintes:

- People.Occupant.Count: o *output People Occupant Count* indica, para cada *timestep*, quantos pessoas estão ocupando o ambiente;
- Schedule.Value: o *output Schedule Value* indica, para cada *timestep*, se os sistemas de climatização (ventilação natural e condicionamento artificial) estão ligados (1 [*On*]) ou desligados (0 [*Off*]);
- Zone.Mean.Air.Temperature e Zone.Operative.Temperature: o *output Zone Mean Air Temperature* indica o valor médio da temperatura de cada zona, enquanto *Zone Operative Temperature* indica o valor da temperatura operativa de cada zona;
- AFN.Surface.Venting.Window.or.Door.Opening.Factor: o *output AirflowNetwork Surface Venting Window or Door Opening Factor* indica o valor do fator de ventilação de cada fenestração em cada *timestep*;
- IDEAL.LOADS.AIR.SYSTEM.Zone.Ideal.Loads.Supply.Air.Total.Cooling: o *output Zone Ideal Loads Supply Air Total Cooling Energy*, ou *Heating*



Energy indicam os valores das cargas térmicas de resfriamento e aquecimento, respectivamente.

O *checklist* que segue define todos os critérios que devem ser avaliados para validar o funcionamento da ferramenta de controle para cada um dos ambientes de permanência prolongada.

Para facilitar o entendimento do *checklist*, as seguintes abreviações foram utilizadas:

- Ocup = Ocupação;
- Dorm1 = Dormitório 1;
- Dorm2 = Dormitório 2;
- SchVal = *Schedule Value*;
- TempMean = Temperatura Média;
- TempOp = Temperatura Operativa;
- TempExt = Temperatura Externa;
- HeatingCooling = Carga Térmica de Aquecimento e Resfriamento;
- OpenFacDoorWindow = Fator de Ventilação das Portas e Janelas.

4.7.1 Avaliação: Dormitório 1

As seguintes análises devem ser realizadas para o ambiente Dormitório 1:

- Se: Ocup Dorm1 & OcupSala = 0 → SchVal VN Dorm1 = 0;
- Se: Ocup Dorm1 = 0 → SchVal HVAC Dorm1 = 0;
- Se: SchVal VN Dorm1 = 1 → Sch Val HVAC Dorm1 = 0;
- Se: Sch Val HVAC Dorm1 = 1 → SchVal VN Dorm1 = 0;
- Se: Ocup Dorm1 > 0 → TempOp Dorm1 < 26;
- Se: Ocup Dorm 1 > 0 → TempOp Dorm1 > 16;
- Se: TempExt < 19 → SchVal VN Dorm1 = 0;
- Se: SchVal HVAC Dorm1 = 1 → TempOp Dorm1 < 26;
- Se: SchVal HVAC Dorm1 = 1 → TempOp Dorm1 >18,
Como o HVAC funciona baseado na TempMean, é preciso analisa-la também;
Se: SchVal HVAC Dorm1 = 1 → TempMean Dorm1 >18, ou ainda,
SchVal HVAC Dorm1 = 1 → TempMean Dorm1 >17,999;
- Se: SchVal VN Dorm1 = 0 → OpenFacDoorWindow Dorm1 = 0;
- Se: SchVal HVAC Dorm1 = 0 → HeatingCooling Dorm1 = 0.



4.7.2 Avaliação: Dormitório 2

As seguintes análises devem ser realizadas para o ambiente Dormitório 2:

- Se: Ocup Dorm2 & OcupSala = 0 → SchVal VN Dorm2 = 0;
- Se: Ocup Dorm2 = 0 → SchVal HVAC Dorm2 = 0;
- Se: SchVal VN Dorm2 = 1 → Sch Val HVAC Dorm2 = 0;
- Se: Sch Val HVAC Dorm2 = 1 → SchVal VN Dorm2 = 0;
- Se: Ocup Dorm2 > 0 → TempOp Dorm2 < 26;
- Se: Ocup Dorm 2 > 0 → TempOp Dorm2 > 16;
- Se: TempExt < 19 → SchVal VN Dorm2 = 0;
- Se: SchVal HVAC Dorm2 = 1 → TempOp Dorm2 < 26;
- Se: SchVal HVAC Dorm2 = 1 → TempOp Dorm2 >18,
Como o HVAC funciona baseado na TempMean, é preciso analisa-la também,
Se: SchVal HVAC Dorm2 = 1 → TempMean Dorm2 >18, ou ainda,
SchVal HVAC Dorm2 = 1 → TempMean Dorm2 >17,999;
- Se: SchVal VN Dorm2 = 0 → OpenFacDoorWindow Dorm2 = 0;
- Se: SchVal HVAC Dorm2 = 0 → HeatingCooling Dorm2 = 0.

4.7.3 Avaliação: Sala

As seguintes análises devem ser realizadas para o ambiente Sala:

- Se: OcupSala = 0 → SchVal VN Sala = 0;
- Se: Ocup Sala = 0 → SchVal HVAC Sala = 0;
- Se: SchVal VN Sala = 1 → Sch Val HVAC Sala = 0;
- Se: Sch Val HVAC Sala = 1 → SchVal VN Sala = 0;
- Se: Ocup Sala > 0 → TempOp Sala < 26;
- Se: Ocup Sala > 0 → TempOp Sala > 16;
- Se: TempExt < 19 → SchVal VN Sala = 0;
- Se: SchVal HVAC Sala = 1 → TempOp Sala < 26;
- Se: SchVal HVAC Sala = 1 → TempOp Sala >18,
Como o HVAC funciona baseado na TempMean, é preciso analisa-la também,
Se: SchVal HVAC Sala = 1 → TempMean Sala >18, ou ainda,
SchVal HVAC Sala = 1 → TempMean Sala >17,999;
- Se: SchVal VN Sala = 0 → OpenFacDoorsWindows Sala = 0;

- Se: SchVal HVAC Sala = 0 → HeatingCooling Sala = 0.

A Figura 11 exemplifica o comportamento do dormitório 1 simulado para os dias 9 e 10 de fevereiro, onde pode-se observar a alternância entre os sistemas de condicionamento artificial do ar e de ventilação natural de acordo com as *schedules*. Nas *schedules* foi definido que 0 equivale ao sistema de condicionamento desligado, para as *schedules* de condicionamento artificial do ar e de ventilação natural, ou sem ocupação, para a *schedule* de ocupação. Valores maiores que 0 significam que o sistema de condicionamento artificial do ar ou a ventilação natural está ligado, ou que o número de pessoas ocupando o ambiente é igual a 2 vezes o valor da *schedule*.

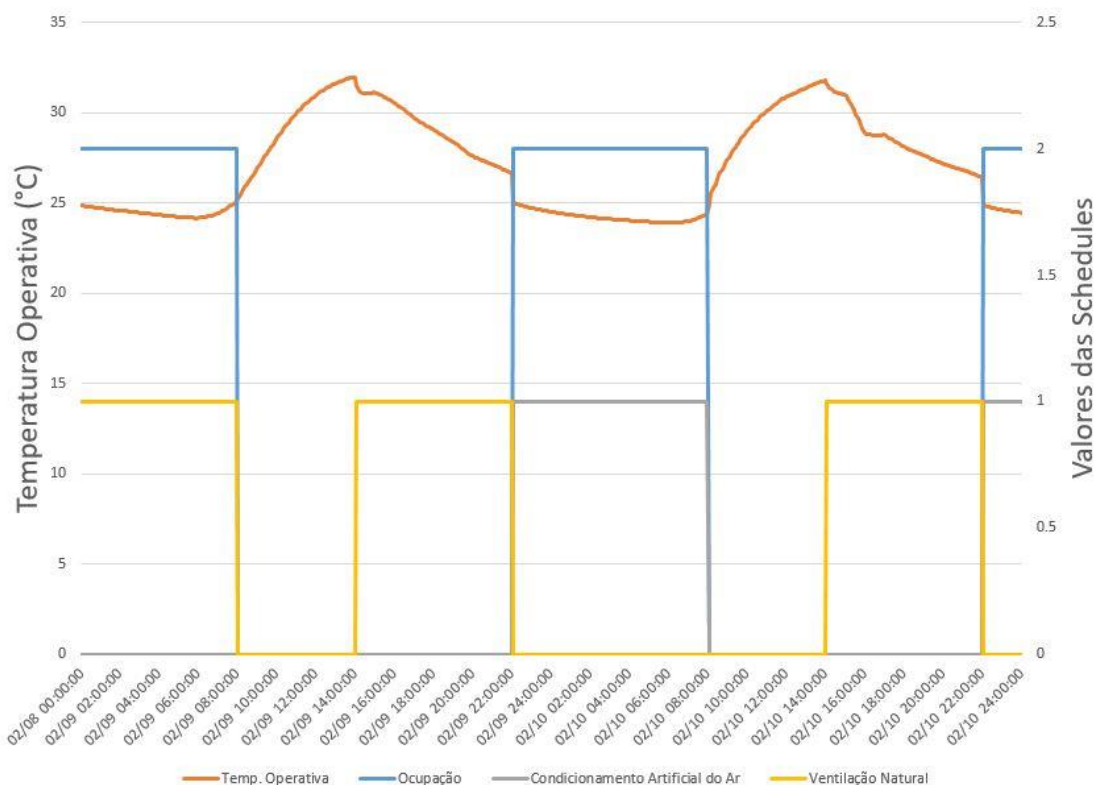


Figura 11 – Comportamento do dormitório 1 nos dias 9 e 10 de fevereiro.

De acordo com a Figura 5 e o código da Figura 9, no período das 00h do dia 8 às 8h do dia 9 o sistema de condicionamento do ar estava desligado (1) e a ventilação natural estava ligada (1), pois a temperatura operativa se manteve menor que 26°C durante todo o período, onde o dormitório estava ocupado. Das 8h às 14h do dia 9 não houve ocupação tanto no dormitório quanto na sala, pois é o período definido pelo INI-



R (CB3E, 2018) como sem ocupação na edificação, portanto, independentemente do valor da temperatura operativa, ambos os sistemas de condicionamento artificial do ar e de ventilação natural estavam desligados (0). Das 14h às 22h do dia 9 a edificação passa a ser ocupada somente na sala, e nesse caso, como define as Figuras 5 e 9, a ventilação natural do dormitório foi ativada (1). Como a temperatura operativa às 22h do dia 9 era maior que 26°C, o sistema de condicionamento de ar foi ligado até 8h, mantendo a temperatura operativa mais baixa nesse período. A partir de então, o comportamento começa a se repetir no dia seguinte.

4.7.4 Conclusão da Avaliação

Foi avaliado o EMS em todos os ambientes e todas condições foram respeitadas. A partir desse ponto o simulador está apto a realizar as análises típicas de simulações comuns, onde não é utilizado o EMS.



5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DOE – U. S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2019a. Input Output Reference. 2019.

DOE – U. S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2019b. Engineering Reference. 2019.

DOE – U. S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2019c. Application Guide for EnergyPlus Energy Management System. 2019.

DOE – U. S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2019d. Disponível em: <<https://www.energy.gov/eere/buildings/downloads/energyplus-0>>. Acessado em: julho de 2019.

DOE – U. S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2019e. Getting started with EnergyPlus. 2018.

ENERGYPLUS, 2019. Disponível em: <<https://energyplus.net/>>. Acessado em: julho de 2019.

CENTRO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES – CB3E.
Proposta de Instrução Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Residenciais. Setembro de 2018.