



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**

**CENTRO TECNOLÓGICO**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Campus Universitário – Trindade

Florianópolis – SC – CEP 88040-900

Caixa Postal 476

lab**EEE** | LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA  
ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES

**MANUAL DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE EDIFÍCIOS  
COM O USO DO OBJETO *GROUND DOMAIN* NO PROGRAMA  
*ENERGYPLUS* – Versão 9.0.1**

Letícia Gabriela Eli

Amanda Fraga Krelling

Lorrany Silva Mendes

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 a inserir os parâmetros necessários para simular edificações em contato com o solo. A elaboração do manual baseou-se nos resultados de simulações computacionais e nos documentos *Engineering Reference*, *Auxiliary Programs* e *Input/Output Reference*, fornecidos pelo programa EnergyPlus. O manual descreve os dados de entrada necessários, de forma clara e objetiva, para considerar a influência do contato com o solo em simulações de edificações, utilizando como método o objeto *Ground Domain*.

## SUMÁRIO

1	O PROGRAMA COMPUTACIONAL ENERGYPLUS .....	5
2	CLASSE DE OBJETOS GROUND TEMPERATURE .....	6
2.1	<i>SITE:GROUNDDOMAIN:SLAB</i> .....	6
2.1.1	Name.....	6
2.1.2	Ground Domain Depth .....	6
2.1.3	Aspect Ratio .....	6
2.1.4	Perimeter Offset.....	6
2.1.5	Soil Thermal Conductivity .....	6
2.1.6	Soil Density.....	6
2.1.7	Soil Specific Heat .....	7
2.1.8	Soil Moisture Content Volume Fraction .....	7
2.1.9	Soil Moisture Content Volume Fraction at Saturation.....	7
2.1.10	Undisturbed Ground Temperature Model Type .....	7
2.1.11	Undisturbed Ground Temperature Model Name.....	8
2.1.12	Evapotranspiration Ground Cover Parameter .....	8
2.1.13	Slab Boundary Condition Model Name .....	8
2.1.14	Slab Location.....	8
2.1.15	Slab Material Name.....	9
2.1.16	Horizontal Insulation.....	9
2.1.17	Horizontal Insulation Material Name.....	9
2.1.18	Horizontal Insulation Extents .....	9
2.1.19	Perimeter Insulation Width .....	9
2.1.20	Vertical Insulation.....	9
2.1.21	Vertical Insulation Material Name .....	9

---

2.1.22	Vertical Insulation Depth .....	10
2.1.23	Simulation Timestep .....	10
2.1.24	Geometric Mesh Coefficient .....	10
2.1.25	Mesh Density Parameter .....	10
3	EXEMPLO.....	11
3.1	A MODELAGEM DO SOLO .....	13
3.2	MODELO DE CÁLCULO: FINITE DIFFERENCE .....	14
3.3	MODELO DE CÁLCULO: <i>KUSUDA ACHENBACH</i> .....	15
3.4	MODELO DE CÁLCULO: <i>XING</i> .....	18
3.5	RESULTADOS .....	19
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	23

## 1 O PROGRAMA COMPUTACIONAL ENERGYPLUS

Para a elaboração deste manual, foi utilizado o programa de simulação computacional *EnergyPlus* versão 9.0. 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. Além da geometria e dos materiais, o programa *EnergyPlus* permite modelar diversos sistemas, como por exemplo: as rotinas de ocupação dos usuários, o sistema de condicionamento de ar, o sistema de iluminação, o sistema de ventilação natural, o contato com o solo, entre outros.

As edificações em contato com o solo, no programa *EnergyPlus*, podem ser simuladas de diferentes maneiras: inserindo as temperaturas médias mensais do solo no objeto *Site:GroundTemperature:BuildingSurface*; utilizando o objeto *Detailed Ground Heat Transfer* que engloba dois pré-processadores: *Slab* e *Basement*; ou ainda através do objeto *Ground Domain*. O objeto *Ground Domain* também é dividido em *Slab* e *Basement*, sendo destinados a modelagem do contato do piso com o solo e das paredes com o solo, respectivamente.

Neste manual serão detalhados especificamente os parâmetros e os procedimentos necessários para simular o contato com o solo através do objeto *Ground Domain*. Este objeto é capaz de lidar com diferentes configurações de placas de isolamento térmico, utilizando um modelo de diferenças finitas implícito para obter as temperaturas do solo. O resultado da simulação pode ser obtido para diferentes valores de *timesteps* e tamanhos de laje.

Superfícies horizontais múltiplas (lajes pertencentes a diferentes zonas térmicas) podem ser acopladas em um mesmo domínio de solo. O domínio consiste no conjunto dos elementos que estão englobados na simulação de superfícies em contato com o solo. São utilizadas iterações para alcançar a convergência das temperaturas no domínio. O modelo estabelecido determina uma superfície de área superficial equivalente dentro do domínio, representando as superfícies horizontais acopladas ao domínio do solo. Esta superfície interage com o solo, fornecendo temperaturas atualizadas para o objeto *OtherSideConditionsModel* que são utilizadas nos cálculos de balanço de calor da superfície.

Este manual documenta o objeto de entrada *Ground Domain*, utilizado para simular transferência de calor em superfícies horizontais em contato com o solo, através do objeto *Site:GroundDomain:Slab* presente no programa computacional *EnergyPlus*.

## 2 CLASSE DE OBJETOS GROUND TEMPERATURE

A classe de objetos *Site:GroundTemperature* no programa *EnergyPlus* contém parâmetros que podem ser utilizados para a simulação de uma edificação em contato com o solo. Um dos objetos desta classe é o *Site:GroundDomain:Slab*, utilizado para edificações que possuem o piso em contato com o solo.

### 2.1 *SITE:GROUNDDOMAIN:SLAB*

As informações sobre os dados de entrada do objeto *Site:GroundDomain:Slab* são detalhados abaixo.

#### 2.1.1 *Name*

Define-se um nome para o objeto. Inserir somente letras.

#### 2.1.2 *Ground Domain Depth*

Este campo define a profundidade adotada entre a superfície do solo e o limite do domínio considerado. Deve ser inserido um valor maior que zero.

#### 2.1.3 *Aspect Ratio*

Este campo estabelece a razão entre a altura e a largura da laje.

#### 2.1.4 *Perimeter Offset*

Este campo define a distância entre a parede externa da edificação, que está em contato com o solo, e o limite do domínio de solo. Deve ser inserido um valor maior que zero.

#### 2.1.5 *Soil Thermal Conductivity*

Este campo estabelece a condutividade térmica do solo. Deve ser inserido um valor maior que zero. A unidade utilizada é  $W/(m.K)$ .

#### 2.1.6 *Soil Density*

Este campo define a densidade do solo. Deve ser inserido um valor maior que zero. A unidade utilizada é  $kg/m^3$ .

### 2.1.7 Soil Specific Heat

Este campo estabelece o calor específico do solo seco. Deve ser um valor maior que zero. A unidade utilizada é J/(kg.K).

### 2.1.8 Soil Moisture Content Volume Fraction

Este campo define um valor nominal de umidade para o solo, usado para avaliar as propriedades térmicas do solo. A unidade utilizada é porcentagem.

### 2.1.9 Soil Moisture Content Volume Fraction at Saturation

Este campo estabelece um valor nominal de umidade para o solo, quando o solo está saturado. A unidade utilizada é porcentagem.

### 2.1.10 Undisturbed Ground Temperature Model Type

Para calcular a transferência de calor de superfícies horizontais da edificação em contato com o solo, o EnergyPlus adota os seguintes modelos de temperaturas do solo não perturbadas: *FiniteDifference*, *KusudaAchenbach* e *Xing*. Neste campo deve-se escolher o modelo de temperaturas do solo não perturbadas. As temperaturas não perturbadas equivalem às temperaturas que o solo apresentaria caso não estivesse sendo "perturbado" por algo, como por exemplo, uma edificação.

- **FiniteDifference:** O objeto utiliza modelo de diferenças finitas para transferência de calor que utiliza o arquivo climático para obter as condições de contorno da superfície. No começo, é executada a simulação anual do modelo, até que o perfil de temperatura do solo anual atinja um comportamento periódico constante. Uma vez que o comportamento de equilíbrio é atingido, as temperaturas do solo são armazenadas em cache para serem utilizadas durante o resto da simulação. Para o desenvolvimento deste modelo de cálculo foi utilizado como base o modelo desenvolvido por Xing (2014), juntamente com contribuições dos trabalhos de Lee (2013), Herb (2008) e Allen et al. (1998).
- **KusudaAchenbach:** fornece temperaturas do solo não perturbado com base na correlação desenvolvida por Kusuda e Achenbach (1965). A correlação utiliza três parâmetros para a temperatura do solo na superfície para definir uma correlação para as temperaturas do solo não perturbadas como uma função da profundidade e do tempo.

- **Xing**: fornece uma temperatura do solo não perturbada baseada na correlação desenvolvida por Xing (2014). A correlação é composta por cinco parâmetros e dois modelos harmônicos. O conjunto de dados necessários para realizar a simulação é maior e mais complexo.

#### *2.1.11 Undisturbed Ground Temperature Model Name*

Neste campo deve-se inserir o nome do modelo de temperaturas do solo não perturbadas. O nome é referente ao objeto criado a partir do modelo escolhido de temperaturas do solo não perturbadas.

#### *2.1.12 Evapotranspiration Ground Cover Parameter*

Este campo especifica os efeitos de cobertura do solo utilizados no modelo de evapotranspiração no balanço de calor da superfície do solo. Os valores podem variar de 0 (superfície do solo sólida/impermeável) a 1.5 (superfície do solo altamente permeável).

#### *2.1.13 Slab Boundary Condition Model Name*

Neste campo deve-se escolher o nome do modelo de condição de contorno. O EnergyPlus define quatro possíveis condições de contorno no objeto *SurfaceProperty:OtherSideConditionsModel*, que também deve ser criado. O tipo de modelagem a ser definido neste objeto e no objeto *SurfaceProperty:OtherSideConditionsModel* é a *GroundCoupledSurface*.

#### *2.1.14 Slab Location*

Este campo possibilita definir a laje *InGrade* (superfície superior da laje no mesmo nível da superfície do solo) ou *OnGrade* (superfície inferior da laje no mesmo nível da superfície do solo). Definir *InGrade* ou *OnGrade* irá indicar também como será a modelagem do piso em contato com o solo. Quando definido *InGrade* a descrição da superfície e o isolamento, se existente, deve ser realizada no próprio objeto *Site:GroundDomain:Slab*, nos campos descritos nos itens 2.1.15 a 2.1.17.



### 2.1.15 Slab Material Name

Inserir o nome do material utilizado para a construção da laje. Aplicável somente em situações *InGrade*.

### 2.1.16 Horizontal Insulation

Este campo determina a presença ou não de isolamento térmico horizontal na laje. Inserir *Yes* neste campo caso haja presença de isolamento térmico horizontal na laje ou inserir *No* em caso contrário. Aplicável somente em situações *InGrade*.

### 2.1.17 Horizontal Insulation Material Name

Inserir o nome do material utilizado para representar o isolamento térmico horizontal da laje.

### 2.1.18 Horizontal Insulation Extents

Este campo indica se o isolamento térmico horizontal da laje cobre a totalidade da área da laje (*Full*) ou somente seu perímetro (*Perimeter*). Aplicável somente em casa de isolamento horizontal.

### 2.1.19 Perimeter Insulation Width

Este campo indica a largura do isolante térmico presente no perímetro da laje, medido a partir da borda da laje. O intervalo de valores válido é de zero até a metade da menor dimensão da laje.

### 2.1.20 Vertical Insulation

Este campo determina a presença ou não de isolamento térmico vertical na laje. Inserir *Yes* neste campo caso haja presença de isolamento térmico vertical na laje ou inserir *No* em caso contrário.

### 2.1.21 Vertical Insulation Material Name

Inserir o nome do material utilizado para representar o isolamento térmico vertical da laje. Este campo só é necessário em caso de isolamento térmico vertical.

### 2.1.22 Vertical Insulation Depth

Este campo indica a profundidade do isolamento térmico vertical, medida em metros, a partir da superfície do solo. Este valor deve ser superior à espessura da laje e inferior à profundidade do domínio considerado. Este campo só é necessário em caso de isolamento térmico vertical.

### 2.1.23 Simulation Timestep

Este campo define o *timestep* da simulação referente ao contato com o solo, ou seja, indica se as temperaturas do domínio serão atualizadas a cada *timestep* (definido no .idf) ou em intervalos horários.

### 2.1.24 Geometric Mesh Coefficient

Este campo define a distribuição celular do solo. O valor pode variar de 1 (distribuição uniforme) a 2 (distribuição altamente enviesada). Caso o valor desse campo seja omitido, o valor de default (1,6) é assumido.

### 2.1.25 Mesh Density Parameter

Este campo o número de células dispostas no domínio. O valor mínimo que pode ser adotado é 4, sendo que, caso o valor desse campo seja omitido, o valor 6, de default, é assumido. Quanto maior o valor utilizado neste campo, maior o tempo de processamento da simulação computacional.

### 3 EXEMPLO

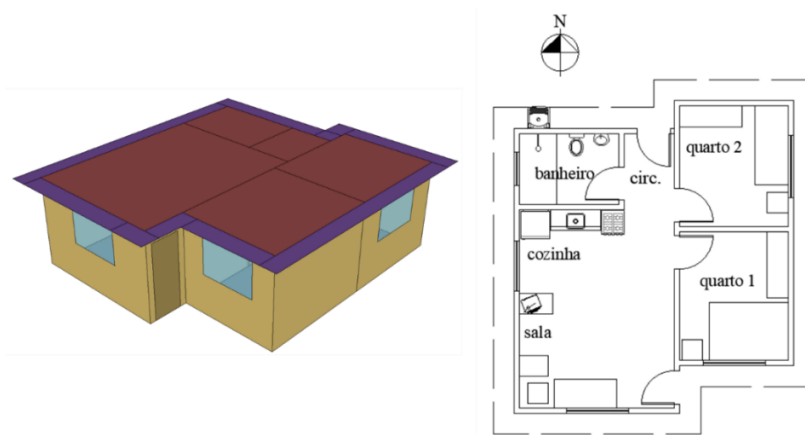
Para a aplicação do objeto *Ground Domain* no programa EnergyPlus, foi utilizada uma edificação residencial unifamiliar (Figura 1), de um pavimento tipo, com as seguintes características:

- Área útil dos ambientes:
  - Quarto 1: 8,85 m<sup>2</sup>;
  - Quarto 2: 8,30 m<sup>2</sup>;
  - Sala e cozinha: 21,43 m<sup>2</sup>;
  - Banheiro: 4,70 m<sup>2</sup>.
- Pé-direito: 2,50 m<sup>2</sup>;
- Sombreamento através de beiral: 0,50 m;
- Parede de concreto 10,00 cm:
  - Transmitância térmica: 4,40 W/m<sup>2</sup>.K;
  - Capacidade térmica: 240,00 kJ/m<sup>2</sup>.K;
  - Absortância: 0,50.
- Cobertura de telha de fibrocimento, câmara de ar (e > 5,00 cm) com forro PVC.
  - Transmitância térmica: 1,76 W/m<sup>2</sup>.K;
  - Capacidade térmica: 16,00 kJ/m<sup>2</sup>.K;
  - Absortância: 0,50.
- Piso com camada de concreto 7,00 cm e revestimento cerâmico:
  - Transmitância térmica: 4,60 W/m<sup>2</sup>.K;
  - Capacidade térmica: 181,80 kJ/m<sup>2</sup>.K;
  - Absortância: 0,70.
- Ocupação sala:
  - 2 pessoas entre 14h00 e 17h59;
  - pessoas entre 18h00 e 21h59.
- Iluminação sala:
  - 5,00 W/m<sup>2</sup> entre 16h00 e 21h59.
- Equipamentos sala:
  - 120,00 W entre 14h00 e 21h59.
- Atividade metabólica quartos:

- 108,00 W/pessoa
- Ocupação quartos:
  - 2 pessoas entre 22h00 e 07h59.
- Iluminação quartos:
  - 5,00 W/m<sup>2</sup> entre 06h00 e 07h59 - 22h00 e 23h59.
- Atividade metabólica quartos:
  - 81,00 W/pessoa.

O arquivo climático utilizado nas simulações foi o INMET de São Paulo.

Figura 1: Modelo 3D da edificação unifamiliar adotada.



Fonte: Adaptado de Triana, Lamberts e Sassi (2015).

No estudo de caso, o indicador utilizado para analisar a influência da modelagem do solo foi a carga térmica de refrigeração da residência. Dessa maneira, a edificação foi simulada considerando ventilação híbrida, ventilação natural e cálculo de carga térmica, através do uso do objeto *Energy Management System* do EnergyPlus. Os seguintes critérios para ventilação natural e cálculo da carga térmica foram adotados:

- Ventilação Natural:
  - Ter ocupação;
  - Temperatura do ar interno  $\geq$  Temperatura do ar externo;
  - Temperatura do ar externo  $\geq 19^{\circ}\text{C}$ ;
  - A janela do banheiro está constantemente aberta;
  - As portas estão sempre fechadas;
  - Há infiltração por frestas.
- Cálculo da Carga térmica:

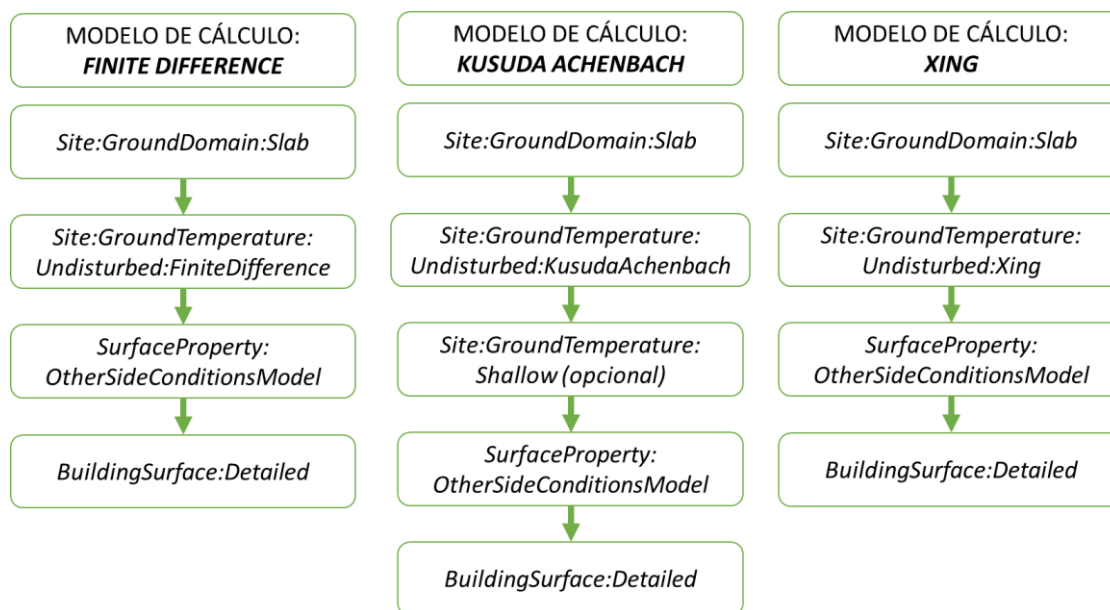
- Ter ocupação;
- Temperatura operativa do ambiente  $\geq 26^{\circ}\text{C}$  (refrigeração), com cálculo da carga térmica para manter a temperatura do ar no ambiente igual a  $23^{\circ}\text{C}$ ;
- A partir do momento que o cálculo da carga térmica é iniciado, este só encerra quando o ambiente é desocupado.

No Manual do uso do EMS, elaborado pelo LabEEE (Veiga et al., 2019), pode-se obter maiores informações sobre o uso da classe de objetos *Energy Management System* do EnergyPlus.

### 3.1 A MODELAGEM DO SOLO

A modelagem do contato do piso da edificação com o solo inclui o preenchimento de mais de um objeto no EnergyPlus, conforme pode ser observado na Figura 2.

Figura 2: Fluxograma modelagem do solo pelo *Ground Domain*.



Cabe ressaltar que, neste exemplo, buscou-se utilizar valores para as propriedades do solo diferentes do default sugerido pelo EnergyPlus.

Os itens 3.2 a 3.3 trazem o preenchimento dos campos referentes à cada modelo de cálculo utilizado neste exemplo.

### 3.2 MODELO DE CÁLCULO: FINITE DIFFERENCE

Inicialmente é preenchido o objeto *Site:GroundDomain:Slab* com os parâmetros referentes ao solo e condições de contorno do piso, Figura 3.

Figura 3: Preenchimento objeto *Site:GroundDomain:Slab* – modelo *Finite Difference*.

Field	Units	Obj1
<b>Name</b>		<b>GroundDomain</b>
Ground Domain Depth	m	10
Aspect Ratio		1
Perimeter Offset	m	5
Soil Thermal Conductivity	W/m-K	1
Soil Density	kg/m <sup>3</sup>	1250
Soil Specific Heat	J/kg-K	1200
Soil Moisture Content Volume Fraction	percent	30
Soil Moisture Content Volume Fraction at Saturation	percent	50
Undisturbed Ground Temperature Model Type		Site:GroundTemperature:Undisturbed:FiniteDifference
Undisturbed Ground Temperature Model Name		FiniteDiff
Evapotranspiration Ground Cover Parameter		0.4
Slab Boundary Condition Model Name		GroundCoupledOSCM
Slab Location		OnGrade
Slab Material Name		
Horizontal Insulation		No
Horizontal Insulation Material Name		
Horizontal Insulation Extents		Full
Perimeter Insulation Width	m	
Vertical Insulation		No
Vertical Insulation Material Name		
Vertical Insulation Depth	m	
Simulation Timestep		Timestep
Geometric Mesh Coefficient		1.6
Mesh Density Parameter		6

O campo *Undisturbed Ground Temperature Model Name* é preenchido conforme o nome definido no objeto *Site:GroundTemperature:Undisturbed:FiniteDifference* (Figura 4). Por questão de correspondência, os valores preenchidos nesse objeto devem ser iguais ao preenchido no *Site:GroundDomain:Slab*.

Figura 4: Preenchimento objeto *Site:GroundTemperature:Undisturbed:FiniteDifference*.

Field	Units	Obj1
<b>Name</b>		<b>FiniteDiff</b>
Soil Thermal Conductivity	W/m-K	1
Soil Density	kg/m <sup>3</sup>	1250
Soil Specific Heat	J/kg-K	1200
Soil Moisture Content Volume Fraction	percent	30
Soil Moisture Content Volume Fraction at Saturation	percent	50
Evapotranspiration Ground Cover Parameter	dimensionless	0.4

O campo *Slab Boundary Condition Model Name*, presente no objeto *Site:GroundDomain:Slab*, indica o nome da condição de contorno criada para relacionar a modelagem do solo a superfície do piso. A condição de contorno deve ser criada no objeto *SurfaceProperty:OtherSideConditionsModel*, Figura 5.

Figura 5: Preenchimento objeto *SurfaceProperty:OtherSideConditionsModel*.

Field	Units	Obj1
Name		GroundCoupledOSCM
Type of Modeling		GroundCoupledSurface

Com os campos preenchidos, a relação entre modelagem do solo e superfície do piso é realizada através do preenchimento dos campos *Outside Boundary Condition* e *Outside Boundary Condition Object*, que indicam a condição de contorno externa da superfície, no objeto *BuildingSurface:Detailed*, Figura 6.

Figura 6: Preenchimento objeto *BuildingSurface:Detailed*.

Field	Units	Obj1
Name		PISO_QUARTO1
Surface Type		Floor
Construction Name		Piso_concreto
Zone Name		Dorm1
Outside Boundary Condition		OtherSideConditionsModel
Outside Boundary Condition Object		GroundCoupledOSCM
Sun Exposure		NoSun
Wind Exposure		NoWind
View Factor to Ground		autocalculate
Number of Vertices		autocalculate
Vertex 1 X-coordinate	m	0
Vertex 1 Y-coordinate	m	3.23
Vertex 1 Z-coordinate	m	0
Vertex 2 X-coordinate	m	2.74
Vertex 2 Y-coordinate	m	3.23
Vertex 2 Z-coordinate	m	0
Vertex 3 X-coordinate	m	2.74
Vertex 3 Y-coordinate	m	0
Vertex 3 Z-coordinate	m	0
Vertex 4 X-coordinate	m	0
Vertex 4 Y-coordinate	m	0
Vertex 4 Z-coordinate	m	0
Vertex 5 X-coordinate	m	
Vertex 5 Y-coordinate	m	

### 3.3 MODELO DE CÁLCULO: KUSUDA ACHENBACH

Inicialmente é preenchido o objeto *Site:GroundDomain:Slab* com os parâmetros referentes ao solo e condições de contorno do piso, Figura 7.

Figura 7: Preenchimento objeto *Site:GroundDomain:Slab* – modelo *Kusuda Achenbach*.

Field	Units	Obj1
Name		GroundDomain
Ground Domain Depth	m	10
Aspect Ratio		1
Perimeter Offset	m	5
Soil Thermal Conductivity	W/m-K	1
Soil Density	kg/m3	1250
Soil Specific Heat	J/kg-K	1200
Soil Moisture Content Volume Fraction	percent	30
Soil Moisture Content Volume Fraction at Saturation	percent	50
Undisturbed Ground Temperature Model Type		Site:GroundTemperature:Undisturbed:KusudaAchenbach
Undisturbed Ground Temperature Model Name		Kusuda
Evapotranspiration Ground Cover Parameter		0.4
Slab Boundary Condition Model Name		GroundCoupledOSCM
Slab Location		OnGrade
Slab Material Name		
Horizontal Insulation		No
Horizontal Insulation Material Name		
Horizontal Insulation Extents		Full
Perimeter Insulation Width	m	
Vertical Insulation		No
Vertical Insulation Material Name		
Vertical Insulation Depth	m	
Simulation Timestep		Timestep
Geometric Mesh Coefficient		1.6
Mesh Density Parameter		6

O campo *Undisturbed Ground Temperature Model Name* é preenchido conforme o nome definido no objeto *Site:GroundTemperature:Undisturbed:KusudaAchenbach* (Figura 8). Por questão de correspondência, os valores preenchidos nesse objeto devem ser iguais ao preenchido no *Site:GroundDomain:Slab*.

Figura 8: Preenchimento objeto *Site:GroundTemperature:Undisturbed:KusudaAchenbach*.

Field	Units	Obj1
Name		Kusuda
Soil Thermal Conductivity	W/m-K	1
Soil Density	kg/m3	1250
Soil Specific Heat	J/kg-K	1200
Average Soil Surface Temperature	C	
Average Amplitude of Surface Temperature	deltaC	
Phase Shift of Minimum Surface Temperature	days	

Conforme pode ser observado na Figura 8, existem alguns campos que o preenchimento ficou em branco. O modelo de cálculo necessita dessas informações, porém existe uma forma alternativa que o *EnergyPlus* utiliza para o cálculo, que é através do preenchimento do objeto *Site:GroundTemperature:Shallow*, Figura 9. Neste objeto devem ser inseridas as temperaturas do solo a 0,50 m, obtidas do arquivo climático.



Figura 9: Preenchimento objeto *Site:GroundTemperature:Shallow*.

Field	Units	Obj1
January Surface Ground Temperature	C	25.9
February Surface Ground Temperature	C	26.12
March Surface Ground Temperature	C	25.62
April Surface Ground Temperature	C	24.86
May Surface Ground Temperature	C	22.92
June Surface Ground Temperature	C	21.44
July Surface Ground Temperature	C	20.47
August Surface Ground Temperature	C	20.2
September Surface Ground Temperature	C	20.76
October Surface Ground Temperature	C	21.94
November Surface Ground Temperature	C	23.49
December Surface Ground Temperature	C	24.91

O campo *Slab Boundary Condition Model Name*, presente no objeto *Site:GroundDomain:Slab*, indica o nome da condição de contorno criada para relacionar a modelagem do solo a superfície do piso. A condição de contorno deve ser criada no objeto *SurfaceProperty:OtherSideConditionsModel*, Figura 10.

Figura 10: Preenchimento objeto *SurfaceProperty:OtherSideConditionsModel*.

Field	Units	Obj1
Name		GroundCoupledOSCM
Type of Modeling		GroundCoupledSurface

Com os campos preenchidos, a relação entre modelagem do solo e superfície do piso é realizada através do preenchimento dos campos *Outside Boundary Condition* e *Outside Boundary Condition Object*, que indicam a condição de contorno externa da superfície, no objeto *BuildingSurface:Detailed*, Figura 11.

Figura 11: Preenchimento objeto *BuildingSurface:Detailed*.

Field	Units	Obj1
Name		PISO_QUARTO1
Surface Type		Floor
Construction Name		Piso_concreto
Zone Name		Dorm1
Outside Boundary Condition		OtherSideConditionsModel
Outside Boundary Condition Object		GroundCoupledOSCM
Sun Exposure		NoSun
Wind Exposure		NoWind
View Factor to Ground		autocalculate
Number of Vertices		autocalculate
Vertex 1 X-coordinate	m	0
Vertex 1 Y-coordinate	m	3.23
Vertex 1 Z-coordinate	m	0
Vertex 2 X-coordinate	m	2.74
Vertex 2 Y-coordinate	m	3.23
Vertex 2 Z-coordinate	m	0
Vertex 3 X-coordinate	m	2.74
Vertex 3 Y-coordinate	m	0
Vertex 3 Z-coordinate	m	0
Vertex 4 X-coordinate	m	0
Vertex 4 Y-coordinate	m	0
Vertex 4 Z-coordinate	m	0
Vertex 5 X-coordinate	m	
Vertex 5 Y-coordinate	m	

### 3.4 MODELO DE CÁLCULO: XING

Inicialmente é preenchido o objeto *Site:GroundDomain:Slab* com os parâmetros referentes ao solo e condições de contorno do piso, Figura 12.

Figura 12: Preenchimento objeto *Site:GroundDomain:Slab* – modelo Xing.

Field	Units	Obj1
Name		GroundDomain
Ground Domain Depth	m	10
Aspect Ratio		1
Perimeter Offset	m	5
Soil Thermal Conductivity	W/m-K	1
Soil Density	kg/m3	1250
Soil Specific Heat	J/kg-K	1200
Soil Moisture Content Volume Fraction	percent	30
Soil Moisture Content Volume Fraction at Saturation	percent	50
Undisturbed Ground Temperature Model Type		Site:GroundTemperature:Undisturbed:Xing
Undisturbed Ground Temperature Model Name		Xing
Evapotranspiration Ground Cover Parameter		0.4
Slab Boundary Condition Model Name		GroundCoupledOSCM
Slab Location		OnGrade
Slab Material Name		
Horizontal Insulation		No
Horizontal Insulation Material Name		
Horizontal Insulation Extents		Full
Perimeter Insulation Width	m	
Vertical Insulation		No
Vertical Insulation Material Name		
Vertical Insulation Depth	m	
Simulation Timestep		Timestep
Geometric Mesh Coefficient		1.6
Mesh Density Parameter		6

O campo *Undisturbed Ground Temperature Model Name* é preenchido conforme o nome definido no objeto *Site:GroundTemperature:Undisturbed:Xing* (Figura 13). Por questão de correspondência, os valores preenchidos nesse objeto devem ser iguais ao preenchido no *Site:GroundDomain:Slab*. Os quatro últimos campos do objeto *Site:GroundTemperature:Undisturbed:Xing*, são extraídos do trabalho de Xing (2014), onde foram estimados parâmetros de referência para diferentes cidades do mundo.

Figura 13: Preenchimento objeto *Site:GroundTemperature:Undisturbed:Xing*.

Field	Units	Obj1
Name		Xing
Soil Thermal Conductivity	W/m-K	1
Soil Density	kg/m3	1250
Soil Specific Heat	J/kg-K	1200
Average Soil Surface Temperature	C	21.1
Soil Surface Temperature Amplitude 1	deltaC	-3.3
Soil Surface Temperature Amplitude 2	deltaC	0.8
Phase Shift of Temperature Amplitude 1	days	19
Phase Shift of Temperature Amplitude 2	days	-8

O campo *Slab Boundary Condition Model Name*, presente no objeto *Site:GroundDomain:Slab*, indica o nome da condição de contorno criada para relacionar a modelagem do solo a superfície do piso. A condição de contorno deve ser criada no objeto *SurfaceProperty:OtherSideConditionsModel*, Figura 14.

Figura 14: Preenchimento objeto *SurfaceProperty:OtherSideConditionsModel*.

Field	Units	Obj1
Name		GroundCoupledOSCM
Type of Modeling		GroundCoupledSurface

Com os campos preenchidos, a relação entre modelagem do solo e superfície do piso é realizada através do preenchimento dos campos *Outside Boundary Condition* e *Outside Boundary Condition Object*, que indicam a condição de contorno externa da superfície, no objeto *BuildingSurface:Detailed*, Figura 15.

Figura 15: Preenchimento objeto *BuildingSurface:Detailed*.

Field	Units	Obj1
Name		PISO_QUART01
Surface Type		Floor
Construction Name		Piso_concreto
Zone Name		Dorm1
Outside Boundary Condition		OtherSideConditionsModel
Outside Boundary Condition Object		GroundCoupledOSCM
Sun Exposure		NoSun
Wind Exposure		NoWind
View Factor to Ground		autocalculate
Number of Vertices		autocalculate
Vertex 1 X-coordinate	m	0
Vertex 1 Y-coordinate	m	3.23
Vertex 1 Z-coordinate	m	0
Vertex 2 X-coordinate	m	2.74
Vertex 2 Y-coordinate	m	3.23
Vertex 2 Z-coordinate	m	0
Vertex 3 X-coordinate	m	2.74
Vertex 3 Y-coordinate	m	0
Vertex 3 Z-coordinate	m	0
Vertex 4 X-coordinate	m	0
Vertex 4 Y-coordinate	m	0
Vertex 4 Z-coordinate	m	0
Vertex 5 X-coordinate	m	
Vertex 5 Y-coordinate	m	

### 3.5 RESULTADOS

Além das simulações com a modelagem do contato do piso da edificação com o solo pelos modelos de cálculo do *Ground Domain*, foi realizada uma simulação com a modelagem através do objeto *Site:GroundTemperature:BuildingSurface*, onde são inseridos somente as temperaturas do solo a 0,50 m, extraídas do arquivo climático. Essa análise foi incluída neste exemplo, pois, a modelagem por esse objeto pode ser considerada a maneira mais simplificada,

sendo ideal a comparação entre os métodos. A Figura 16 representa os valores considerados neste exemplo.

Figura 16: Preenchimento objeto *Site:GroundTemperature:BuildingSurface*.

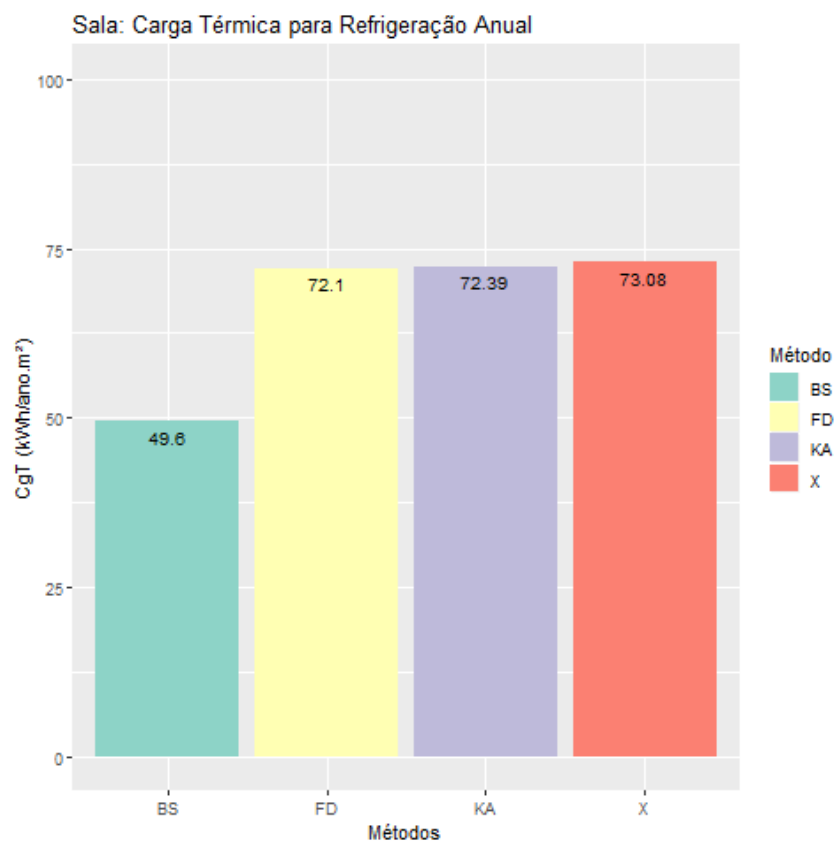
Field	Units	Obj1
January Ground Temperature	C	22.1
February Ground Temperature	C	21.61
March Ground Temperature	C	20.68
April Ground Temperature	C	19.8
May Ground Temperature	C	18.15
June Ground Temperature	C	17.29
July Ground Temperature	C	17.06
August Ground Temperature	C	17.51
September Ground Temperature	C	18.54
October Ground Temperature	C	19.82
November Ground Temperature	C	21.06
December Ground Temperature	C	21.88

Neste manual são apresentados os valores para a carga térmica de refrigeração da sala, pois foi o ambiente de permanência prolongada com valores de carga térmica de refrigeração mais significativos. Nos gráficos a nomenclatura utilizada foi a seguinte:

- CgT: carga térmica anual;
- BS: é a modelagem através do objeto *Site:GroundTemperature:BuildingSurface*;
- FD: é a modelagem pelo objeto *Ground Domain* utilizando o modelo de cálculo *Finite Difference*;
- KA: é a modelagem pelo objeto *Ground Domain* utilizando o modelo de cálculo *Kusuda Achenbach*;
- X: é a modelagem pelo objeto *Ground Domain* utilizando o modelo de cálculo *Xing*.

Conforme o gráfico da Figura 17, a comparação entre as simulações utilizando os modelos de cálculo das temperaturas do solo *Finite Difference*, *Kusuda Achenbach* e *Xing*, presentes no objeto *Ground Domain*, é que os valores de carga térmica para refrigeração entre os modelos são próximos. Já quando comparado com a simulação utilizando as temperaturas do arquivo climático, pelo objeto *Site:GroundTemperature:BuildingSurface*, este subestima a carga térmica para refrigeração.

Figura 17: Comparação entre as modelagens do solo.



#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este manual foi desenvolvido com o objetivo de auxiliar o usuário do programa *EnergyPlus* a inserir parâmetros para simular edificações em contato com o solo através do objeto *GroundDomain:Slab*. Os dados de entrada necessários foram detalhados através da aplicação de um exemplo para uma edificação residencial. A análise dos resultados do exemplo possibilitou verificar a influência de cada modelo de cálculo do objeto *GroundDomain:Slab*, como também a sua comparação com a modelagem simplificada, pela inserção das temperaturas do solo, extraídas do arquivo climático, no objeto *Site:GroundTemperature:BuildingSurface*.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ENERGYPLUS. **Programa de simulação computacional**. Disponível em <https://www.energy.gov/eere/buildings/downloads/energyplus-0>. Acesso em: 19 de Fevereiro de 2019.

ENERGYPLUS. Engineering Reference. **Fórmulas e métodos de cálculo adotados pelo programa EnergyPlus**. Versão 9.0, 2018.

ENERGYPLUS. Input/Output Reference. **Dados de entrada e saída do programa EnergyPlus**. Versão 9.0, 2018.

XING, L. **Estimations of undisturbed ground temperatures using numerical and analytical modeling**. 2014. Tese (Doutorado), Oklahoma State University, Stillwater, 2014.

ALLEN, R.G., L.S. PEREIRA, D. RAES, M. SMITH. **Crop Evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1998.

HERB, W.R.; JANKE, B.; MOHSENI, O.; STEFAN, H.G. Ground Surface Temperature Simulation for Different Land Covers. **Journal of Hydrology**, v. 356: p. 327-343, 2008.

KUSUDA, T.; P.R. ACHENBACH. Earth temperatures and thermal diffusivity at selected stations in the United States. **ASHRAE Transactions**, v. 71, p. 61-74, 1965.

LEE, E.S. **An improved hydronic loop system solution algorithm with a zone-coupled horizontal ground heat exchanger model for whole building energy simulation**. 2013. Tese (Doutorado), Oklahoma State University, Stillwater, 2013.

TRIANA, M. A.; LAMBERTS, R.; SASSI, P. Characterisation of representative building typologies for social housing projects in Brazil and its energy performance. **Energy Policy**, [s. l.], v. 87, n. December 2014, p. 524–541, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2015.08.041>>

VEIGA, Rodolfo Kirch et al. **Manual de simulação computacional edificações com sistema de climatização híbrido no programa EnergyPlus – Versão 9.0.1**. Florianópolis: LabEEE, 2019.