



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



Laboratório de Eficiência Energética em Edificações

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

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

MANUAL DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE EDIFÍCIOS COM O USO DO OBJETO GROUND DOMAIN NO PROGRAMA ENERGYPLUS

Leonardo Mazzaferro, Msc.

Ana Paula Melo, Dra.

Roberto Lamberts, PhD.

Florianópolis, novembro de 2015.

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.

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1. O programa computacional <i>EnergyPlus</i> | 5 |
| 2. Site:GroundTemperature | 7 |
| 2.1. Site:GroundDomain:Slab..... | 7 |
| 2.1.1. Name | 7 |
| 2.1.2. Ground Domain Depth | 7 |
| 2.1.3. Aspect Ratio | 7 |
| 2.1.4. Perimeter Offset..... | 7 |
| 2.1.5. Soil Thermal Conductivity | 7 |
| 2.1.6. Soil Density..... | 8 |
| 2.1.7. Soil Specific Heat..... | 8 |
| 2.1.8. Soil Moisture Content Volume Fraction | 8 |
| 2.1.9. Soil Moisture Content Volume Fraction at Saturation | 8 |
| 2.1.10. Type of Undisturbed Ground Temperature Object..... | 8 |
| 2.1.11. Name of Undisturbed Ground Temperature Object | 9 |
| 2.1.12. Evapotranspiration Ground Cover Parameter..... | 9 |
| 2.1.13. Slab Boundary Condition Model Name | 9 |
| 2.1.14. Slab Location | 10 |
| 2.1.15. Slab Material Name | 10 |
| 2.1.16. Horizontal Insulation | 10 |
| 2.1.17. Horizontal Insulation Material Name | 10 |
| 2.1.18. Horizontal Insulation Extents | 10 |
| 2.1.19. Perimeter Insulation Width..... | 10 |
| 2.1.20. Vertical Insulation | 10 |
| 2.1.21. Vertical Insulation Name | 11 |
| 2.1.22. Vertical Insulation Depth..... | 11 |

| | |
|--|----|
| 2.1.23. Simulation Timestep | 11 |
| 3. Exemplo..... | 11 |
| 3.1. GroundTemperature:Slab..... | 12 |
| 3.1. GroundTemperature:Shallow | 13 |
| 3.3. Site:GroundTemperature:Undisturbed | 14 |
| 3.4. SurfaceProperty:OtherSideConditionsModel..... | 15 |
| 3.5. Output:Variable | 15 |
| 3.6 Análises dos resultados | 16 |
| 4. Considerações finais..... | 21 |
| 5. Referências..... | 22 |

1. O programa computacional *EnergyPlus*

Para a elaboração deste manual, foi utilizado o programa de simulação computacional *EnergyPlus* versão 8.4 (DOE, 2015). 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*.

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 são considerados 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 programa computacional *EnergyPlus*.

2. Site:GroundTemperature

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 a laje 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.

2.1.3. Aspect Ratio

Este campo estabelece a razão entre a maior dimensão e a menor dimensão 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.

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 $W/(m^2.K)$.

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/m³.

2.1.7. Soil Specific Heat

Este campo estabelece o calor específico do solo. 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. Type of Undisturbed Ground Temperature Object

Para calcular a transferência de calor de superfícies horizontais da edificação em contato com o solo, o *EnergyPlus* adota 3 modelos 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. Os modelos de temperaturas do solo não perturbadas são:

- *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 alcance um comportamento periódico constante. Uma vez que, o comportamento de equilíbrio é atingido, as temperaturas do solo são armazenadas para serem utilizadas durante o resto da simulação.

- *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 com 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 mais complexo.

2.1.11. Name of Undisturbed Ground Temperature Object

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 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).

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.

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).

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 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.

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 são atualizadas a cada *timestep* (definido no IDF) ou em intervalos horários.

3. Exemplo

Para a aplicação do objeto *Ground Domain* no programa *EnergyPlus*, foi utilizada uma edificação residencial unifamiliar (Figura 01), de um pavimento tipo, com as seguintes características:

- 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)
- Ventilação: ventilada de acordo com a temperatura de *setpoint*
- Temperatura de *setpoint* da ventilação: 20°C
- 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 3mm
- 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

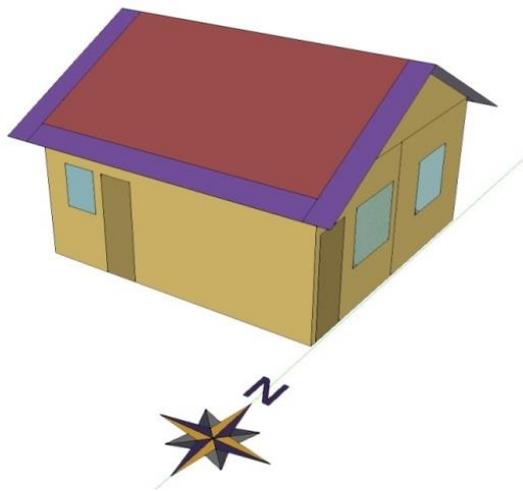


Figura 01. Modelo 3D da edificação unifamiliar adotada.

No estudo de caso, duas simulações foram realizadas para analisar a influência da temperatura do solo na edificação, de acordo com o objeto *Ground Domain*. Na primeira simulação, foi utilizado o método de *FiniteDifference*. Na segunda simulação, foi adotado o método de *KusudaAchenbach*. O método de *Xing* não foi utilizado neste exemplo pois necessita de um maior detalhamento nas propriedades do solo e modelagem.

3.1. GroundTemperature:Slab

Este objeto engloba os parâmetros detalhados acima (Figura 02). Primeiramente, define-se um nome para o objeto. Em seguida, devem ser inseridas as características geométricas da laje e as propriedades referentes

ao solo. Nos campos destacados em azul, deve-se definir o modelo de temperaturas não perturbadas do solo e as condições de contorno da laje em contato com o solo.

| Field | Units | Obj1 |
|---|-------------------|---|
| Name | | GroundDomain |
| Ground Domain Depth | m | 10 |
| Aspect Ratio | | 1 |
| Perimeter Offset | m | 5 |
| Soil Thermal Conductivity | W/m-K | 1.5 |
| Soil Density | kg/m ³ | 2800 |
| Soil Specific Heat | J/kg-K | 850 |
| 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 | | GroundCoupledDSCM |
| 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 |

Figura 02. *Site:GroundTemperature:Slab*

3.1. GroundTemperature:Shallow

Os dados de entrada referentes às temperaturas do solo foram inseridos de acordo com os valores de temperaturas mensais do solo a 0,5 metros de profundidade (selecionados a partir do arquivo climático de Florianópolis), no objeto *Site:GroundTemperature:Shallow*. Estas temperaturas são utilizadas pelos modelos de temperaturas não perturbadas para a realização dos cálculos de transferência de calor entre a laje e solo. A Figura 03 abaixo apresenta os valores de temperatura do solo utilizados no exemplo.

| Field | Units | Obj1 |
|--------------------------------------|-------|-------|
| January Surface Ground Temperature | C | 22.75 |
| February Surface Ground Temperature | C | 23.92 |
| March Surface Ground Temperature | C | 24.21 |
| April Surface Ground Temperature | C | 23.89 |
| May Surface Ground Temperature | C | 22.22 |
| June Surface Ground Temperature | C | 20.39 |
| July Surface Ground Temperature | C | 18.68 |
| August Surface Ground Temperature | C | 17.48 |
| September Surface Ground Temperature | C | 17.16 |
| October Surface Ground Temperature | C | 17.79 |
| November Surface Ground Temperature | C | 19.23 |
| December Surface Ground Temperature | C | 21.01 |

Figura 03. *Site:GroundTemperature:Shallow.*

3.3. Site:GroundTemperature:Undisturbed

Neste objeto é definido o modelo de temperaturas não perturbadas do solo para a simulação. As principais propriedades termo físicas (densidade, calor específico e condutividade) do solo são definidas neste objeto. Foram adotados os valores *default* sugeridos pelo programa *EnergyPlus* para caracterizar o solo. Pode-se escolher entre três modelos: *FiniteDifference*, *KusudaAchenbach* e *Xing*. Neste exemplo, são abordados os dois primeiros modelos, de acordo com a Figura 04 e a Figura 05 abaixo.

| Field | Units | Obj1 |
|---|---------------|------------|
| Name | | FiniteDiff |
| Soil Thermal Conductivity | W/m-K | 1 |
| Soil Density | kg/m3 | 1200 |
| 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 |

Figura 04. *Site:GroundTemperature:Undisturbed:FiniteDifference*

| Field | Units | Obj1 |
|--|--------|--------|
| Name | | KATemp |
| Soil Thermal Conductivity | W/m-K | 1 |
| Soil Density | kg/m3 | 1200 |
| 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 | |

Figura 05. *Site:GroundTemperature:Undisturbed:KusudaAchenbach*

3.4. SurfaceProperty:OtherSideConditionsModel

Neste objeto é definida a modelagem das condições de contorno válidas para a superfície de contato entre a laje e o solo (Figura 6).

| Field | Units | Obj1 |
|------------------|-------|----------------------|
| Name | | GroundCoupledOSCM |
| Type of Modeling | | GroundCoupledSurface |

Figura 06. *SurfaceProperty:OtherSideConditionsModel*

É importante destacar que os dados de entrada de cada superfície (objeto *BuildingSurface:Detailed*) estejam vinculados com o método de modelagem adotado, conforme demonstrado na Figura 07.

| Field | Units | Obj21 |
|-----------------------------------|-------|--------------------------|
| Name | | Piso Sala |
| Surface Type | | Floor |
| Construction Name | | Exterior Floor |
| Zone Name | | Sala |
| Outside Boundary Condition | | OtherSideConditionsModel |
| Outside Boundary Condition Object | | GroundCoupledOSCM |
| Sun Exposure | | NoSun |
| Wind Exposure | | NoWind |

Figura 07. *BuildingSurface:Detailed*

3.5. Output:Variable

Para a análise dos resultados, foram solicitadas quatro variáveis (Figura 8). As variáveis escolhidas no exemplo foram: *Site Outdoor Air Drybulb Temperature* (temperatura de bulbo seco do ar externo), *Zone Operative Temperature* (temperatura operativa da zona analisada), *Zone Coupled Surface Temperature* (temperatura da superfície acoplada a zona) e *Zone Coupled Surface Heat Flux* (fluxo de calor da superfície acoplada a zona).

| Field | Units | Obj1 | Obj2 | Obj3 | Obj4 |
|---------------------|-------|--------------------------------------|----------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| Key Value | | * | * | * | * |
| Variable Name | | Site Outdoor Air Drybulb Temperature | Zone Operative Temperature | Zone Coupled Surface Temperature | Zone Coupled Surface Heat Flux |
| Reporting Frequency | | Hourly | Hourly | Hourly | Hourly |
| Schedule Name | | | | | |

Figura 08. *Output:Variable*

3.6 Análises dos resultados

A simulação foi realizada para o ano inteiro e depois foram analisados especificamente três dias no verão (07/02 a 09/02), e três dias no inverno (15/06 a 17/06). Estes períodos foram selecionados, pois apresentam os maiores e menores valores de temperatura da superfície de contato entre a laje e o solo. As simulações foram executadas através de dois métodos: *FiniteDifference* e *KusudaAchenbach*.

Para cada método, estão expostos os resultados obtidos através da adoção de dados de entrada *default* do objeto *GroundDomain* ou através da utilização de dados de entrada recomendados para o solo (inclusive utilizados como *default* pelo pré-processador *Slab* do *EnergyPlus*). Os resultados do método *FiniteDifference* serão apresentados abaixo, seguidos dos resultados referentes ao método *KusudaAchenbach*. Primeiramente, foram obtidas as temperaturas externas de bulbo seco e as temperaturas operativas da sala.

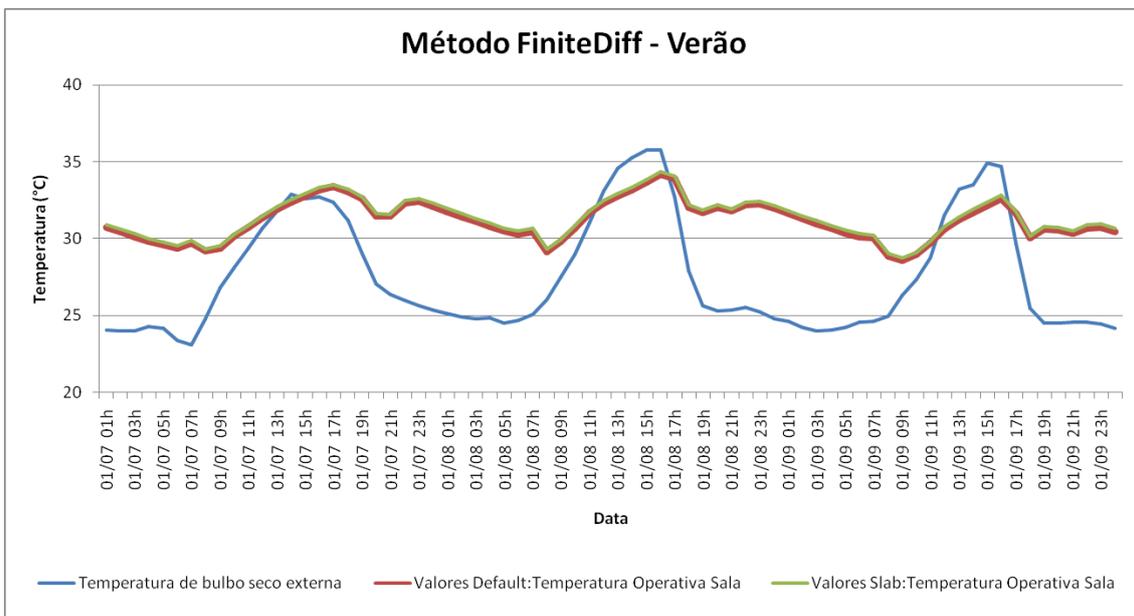


Figura 09. Temperatura externa de bulbo seco e temperatura operativa interna da sala - Verão - Método *FiniteDifference*.

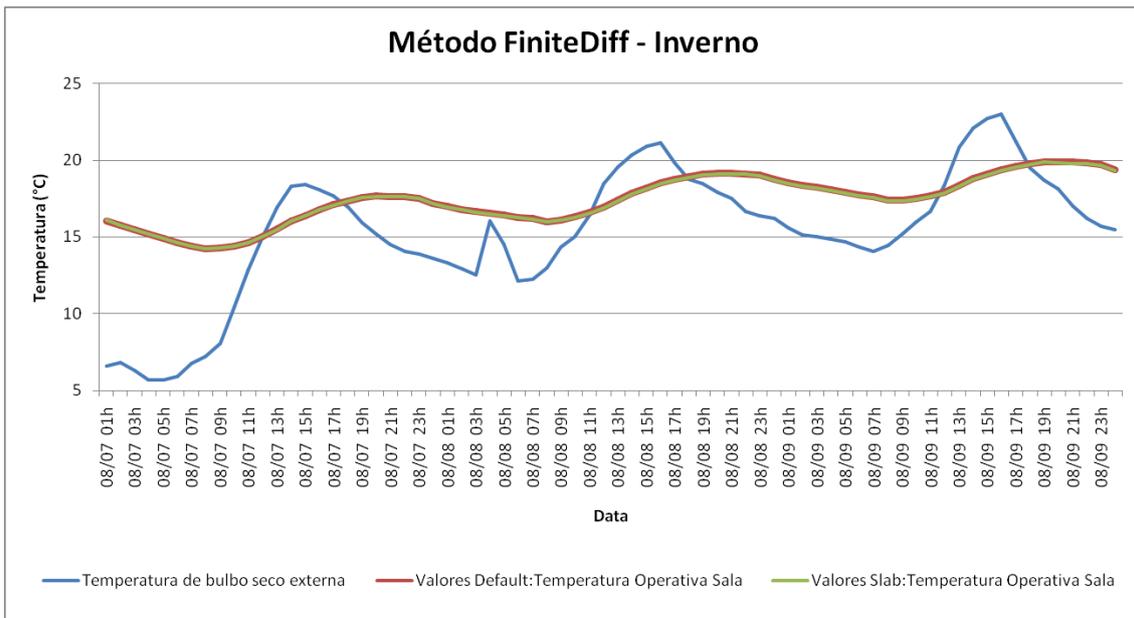


Figura 10. Temperatura externa de bulbo seco e temperatura operativa interna da sala - Inverno - Método *FiniteDifference*.

Pode-se observar que, através da utilização dos valores *default*, são obtidos resultados de temperatura ligeiramente inferiores no verão e praticamente equivalentes no inverno, quando comparados aos resultados obtidos com a utilização de valores recomendados (*Slab*). A mesma tendência é encontrada na Figura 11 e na Figura 12.

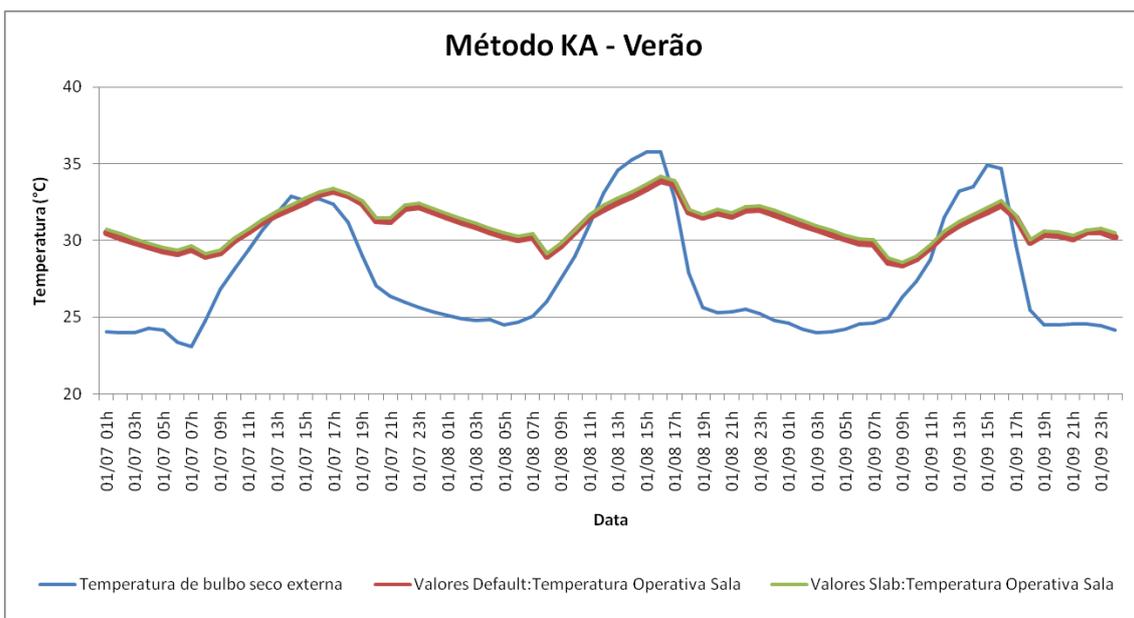


Figura 11. Temperatura externa de bulbo seco e temperatura operativa interna da sala - Verão - Método *KusudaAchenbach*.

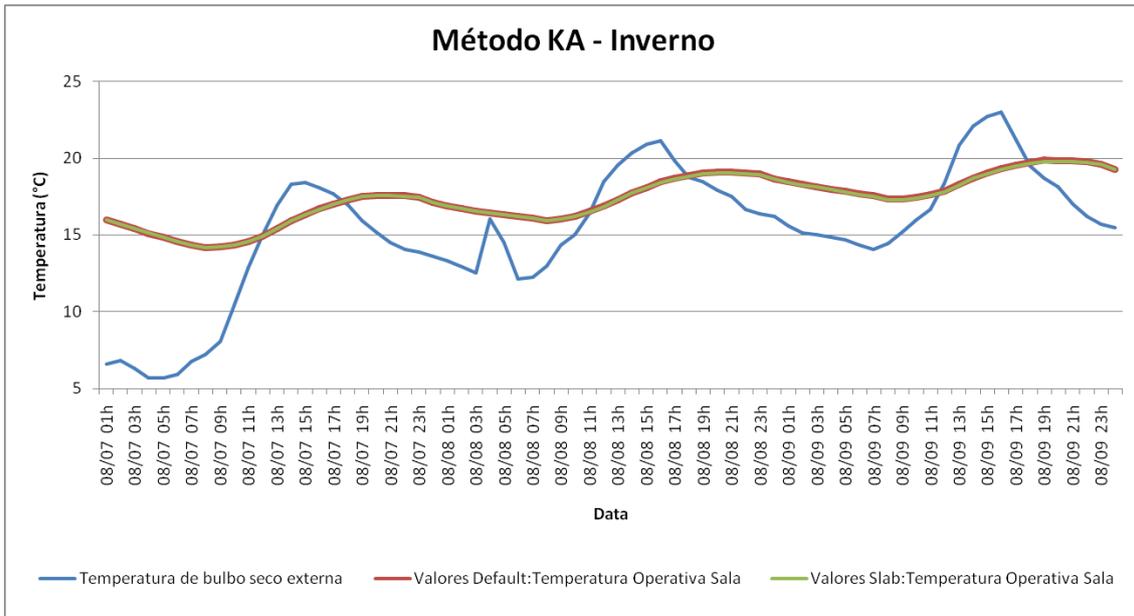


Figura 12. Temperatura externa de bulbo seco e temperatura operativa interna da sala - Inverno - Método *KusudaAchenbach*.

O fluxo de calor através do piso e as temperaturas da superfície de contato entre o solo e laje também foram analisados para o período de verão e para o período de inverno. Os resultados podem ser observados na Figura 13 e na Figura 14, respectivamente.

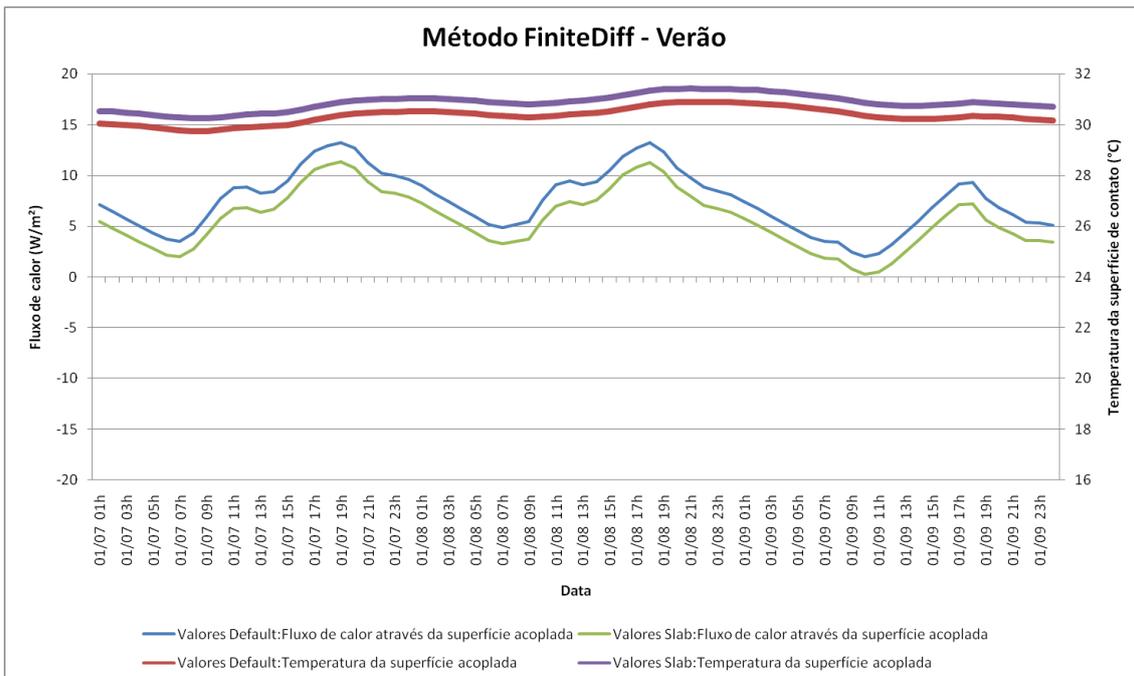


Figura 13. Fluxo de calor e temperatura da superfície de contato - Verão - Método *FiniteDifference*.

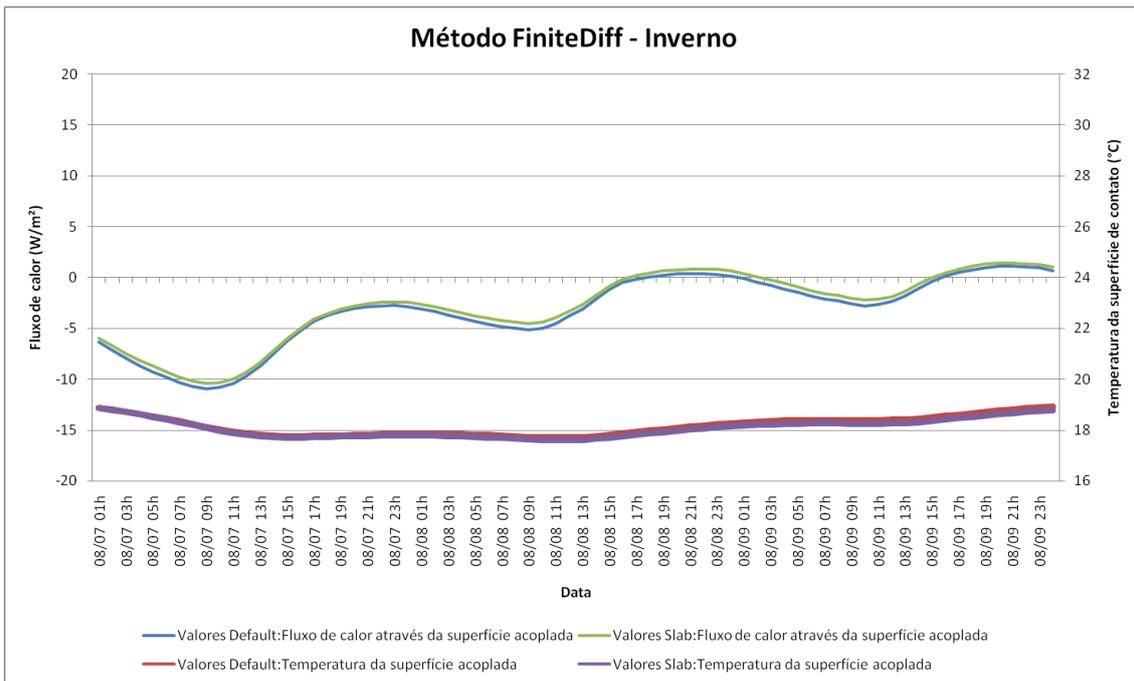


Figura 14. Fluxo de calor e temperatura da superfície de contato - Inverno - Método *FiniteDifference*.

Pode-se observar que, através da adoção dos valores *default*, foram obtidos resultados de temperatura menores para a superfície de contato entre solo e laje no verão, quando comparados aos resultados obtidos com a utilização de valores recomendados (*Slab*), e resultados praticamente equivalentes no inverno. No verão, temperaturas menores da superfície de contato (entre solo e laje) acarretam em uma maior diferença de temperatura entre a edificação e o domínio do solo, resultando em maiores valores de fluxo de calor entre os mesmos.

Os fluxos de calor mais elevados durante o verão justificam as temperaturas operativas ligeiramente inferiores (Figura 09 e Figura 11) encontradas para a sala do modelo que utiliza os valores *default*. Conseqüentemente, devido aos fluxos de calor inferiores entre solo e laje, o modelo que adota os valores recomendados (*Slab*) apresenta temperaturas operativas ligeiramente superiores durante os períodos quentes do ano.

Quando o fluxo de calor apresenta valores positivos, significa que a superfície de contato entre laje e solo está recebendo calor proveniente da edificação. Sendo assim, para o período de verão, ao longo dos três dias analisados, pode-se observar que a edificação perde calor para o solo. Os

valores máximos (picos) de fluxo de calor da edificação para o solo foram encontrados no final da tarde, período em que a edificação ainda apresenta temperaturas internas elevadas. Especialmente no período de verão (Figura 13), percebe-se que a temperatura da superfície de contato, entre a laje e o solo, varia de acordo com o aumento ou diminuição do fluxo de calor encontrado. Ao longo do inverno (Figura 14), a transferência de calor entre a edificação e solo apresenta um comportamento diferente. Analisando os resultados, percebe-se que o fluxo de calor teve seu sentido invertido. Por apresentar fluxo de calor negativo durante o período analisado de inverno, a edificação recebe calor do solo, ou seja, a superfície de contato cede calor para a edificação. Apesar da utilização de métodos diferentes, a mesma tendência explicada neste parágrafo é observada na Figura 15 e na Figura 16.

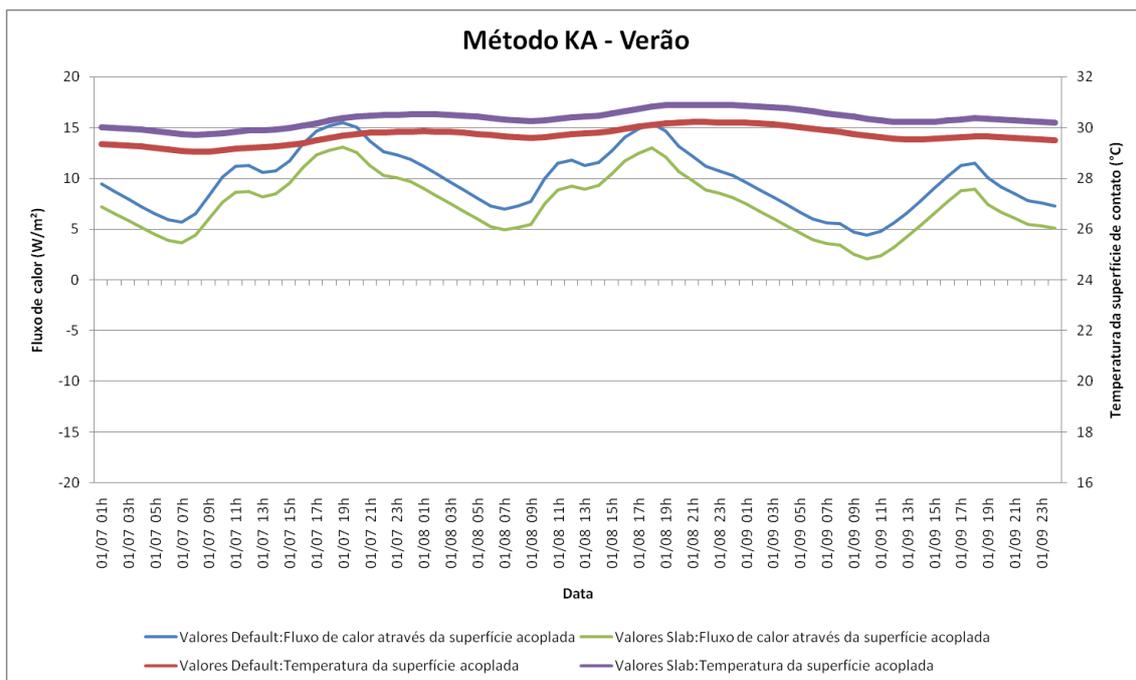


Figura 15. Fluxo de calor e temperatura da superfície de contato - Verão - Método KusudaAchenbach.

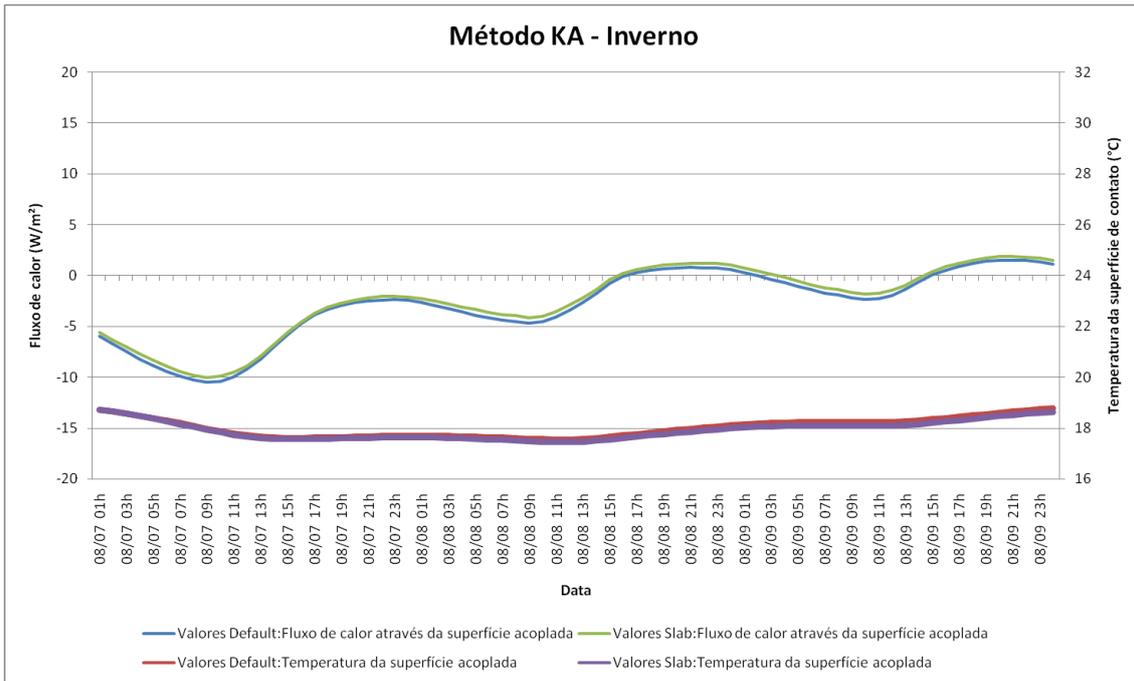


Figura 16. Fluxo de calor e temperatura da superfície de contato - Inverno - Método *KusudaAchenbach*.

A análise dos resultados também permite perceber diferenças obtidas entre os dois modelos de cálculo abordados pelo exemplo: *FiniteDifference* e *KusudaAchenbach*. No verão, o método de *KusudaAchenbach* apresentou valores superiores de fluxo de calor em relação ao método de *FiniteDifference*. Esta diferença pode ser verificada comparando-se os valores de fluxo apresentados pela Figura 13 (*FiniteDifference*) e na Figura 15 (*KusudaAchenbach*).

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 da escolha dos métodos adotados (*FiniteDifference* ou *KusudaAchenbach*) e a definição dos valores para os parâmetros referentes ao solo (*default* ou *slab*) a serem utilizados na simulação.

5. Referências

DOE – Departamento de Energia dos Estados Unidos. **Programa de simulação computacional EnergyPlus**. Disponível em <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/> Acesso em: 21 de Outubro de 2015.

ENERGYPLUS. Engineering Reference. **Fórmulas e métodos de cálculo adotados pelo programa EnergyPlus**. Versão 8.4, 2015a.

ENERGYPLUS. Auxiliary Programs. **Programas auxiliares para facilitar o uso do programa EnergyPlus**. Versão 8.4, 2015b.

ENERGYPLUS. Input/Output Reference. **Dados de entrada e saída do programa EnergyPlus**. Versão 8.4, 2015c.

KUSUDA, T.; ACHENBACH, P. 1965. **Earth Temperature and Thermal Diffusivity at Selected Stations in the United States**, ASHRAE Transactions 71(1): 61–75.

XING, L. 2014. **Estimations of Undisturbed Ground Temperatures using Numerical and Analytical Modeling**. Ph.D. Diss. Oklahoma State University, Stillwater, OK.