



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE ARQUITETURA E URBANISMO



## MANUAL DO PRÉ-PROCESSADOR SLAB

Vanessa Aparecida Caieiro Da Costa, Msc.  
Karin Maria Soares Chvatal, Profa. Dra.

São Carlos, dezembro de 2017

1ª versão

## APRESENTAÇÃO

Este manual<sup>1</sup> foi elaborado com o objetivo de auxiliar e incentivar o uso do pré-processador *Slab* (versão .75, vinculado ao *EnergyPlus* - versão 8.5.0) para calcular as trocas de calor entre a laje de piso e o solo de edificações térreas em avaliações de desempenho termoenergéticas. A elaboração do manual baseou-se em uma pesquisa de mestrado<sup>2</sup>, cujo o principal enfoque foi identificar a forma mais adequada para a modelagem dessas trocas de calor no pré-processador *Slab*. O manual descreve as principais características do pré-processador, os seus parâmetros de entrada (com valores encontrados na literatura e no *Slab* como referência), e o seu funcionamento (interação com o *EnergyPlus* (EP) e os procedimentos de simulação).

---

<sup>1</sup> **REFERÊNCIA DESTE MANUAL:** COSTA, V. A. C. DA; CHVATAL, K. M. S. **Manual do Pré-Processador Slab**. Instituto de Arquitetura e Urbanismo (IAU/USP-SC). São Carlos, 2017.

<sup>2</sup> COSTA, V.A.C DA. **Trocas de calor entre edificações térreas e o solo e sua modelagem no pré-processador Slab**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia) - Instituto de Arquitetura e Urbanismo, IAU/USP. São Carlos, 2017. Disponível na internet via: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/102/102131/tde-04092017-150856/pt-br.php>  
COSTA, V. A. C. DA; RORIZ, V. F.; CHVATAL, K. M. S. Modeling of slab-on-grade heat transfer in EnergyPlus simulation program. **Ambiente Construído**, v. 17, n. 3, p. 115–135, 2017. Disponível na internet via: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1678-86212017000300117&lng=en&nrm=iso&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212017000300117&lng=en&nrm=iso&tlng=pt)

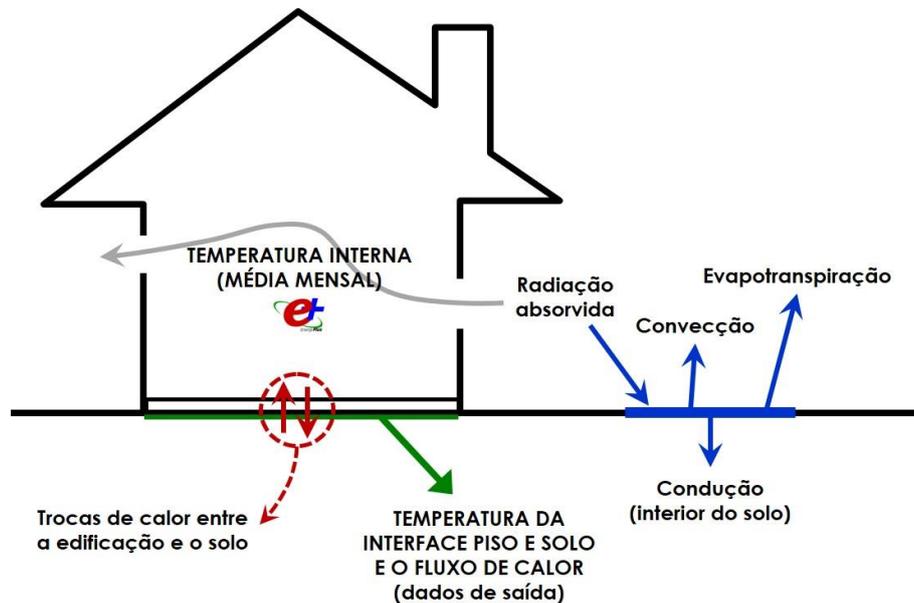
## SUMÁRIO

|   |   |    |
|---|---|----|
| 1 | PRÉ-PROCESSADOR SLAB.....                   | 1  |
| 2 | MÉTODO DE CÁLCULO DO SLAB .....             | 3  |
| 3 | DESCRIÇÃO DOS DADOS DE ENTRADA DO SLAB..... | 7  |
| 4 | FUNCIONAMENTO DO SLAB .....                 | 23 |
| 5 | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....            | 29 |

## 1 PRÉ-PROCESSADOR SLAB

O pré-processador Slab foi desenvolvido com a intenção de melhorar as soluções numéricas de transferência de calor entre solo e o envelope da edificação de construções com terra acoplada, fornecendo uma solução mais flexível e detalhada do que a maioria de seus contemporâneos (CLEMENTS, 2004). Ele se baseia em um método de cálculo estabelecido através de um estudo 3D detalhado realizado por Bahnfleth (1989), e depois modificado por Clements (2004). Nesse estudo, o fator de escala para o fluxo de calor médio para pavimentos retangulares e em forma de L é o quociente entre a área e o perímetro do piso. O método numérico utilizado é baseado em uma operação de diferenças finitas tridimensional, fornecendo uma solução com grande flexibilidade e bem detalhada (BAHNFLETH, 1989; CLEMENTS, 2004). A Figura 1 apresenta um esquema representativo das trocas de calor consideradas no método de cálculo adotado pelo pré-processador. O *Slab* possui diferentes opções de modelagem das trocas de calor entre o piso e o solo, de entrada de dados, interação com o *EnergyPlus* (EP) e de procedimentos de simulação, requerendo do usuário conhecimento prévio do funcionamento do programa. O usuário deve definir o volume de solo considerado nos cálculos, dados meteorológicos, propriedades do solo e piso, da superfície do solo, geometria do piso, a temperatura do solo à uma dada profundidade, a evapotranspiração na superfície do solo e a altura do edifício para os cálculos de sombreamento (ANDOLSUN et al., 2012; LARSEN, 2011).

Figura 1– Esquema representativo das trocas de calor consideradas no método de cálculo do *Slab*



Fonte: Autor.

Algumas das principais características do *Slab* são (CLEMENTS, 2004):

- A simulação emprega uma técnica de solução de diferenças finitas explícita;
- É fornecido um detalhado balanço de calor pela superfície, incluindo a radiação, convecção, condução, cobertura de neve, e evapotranspiração (Figura 1);
- Os valores das propriedades térmicas do solo e do material do piso podem ser definidos de forma independente;
- A dimensão do isolamento do perímetro pode ser definida na modelagem;
- É possível adotar isolamento vertical na fundação do piso;
- Os efeitos do sombreamento da construção no solo sobre a taxa de transferência de calor podem ser analisados;
- A simulação emprega escala de tempo em hora nos cálculos;
- O programa somente implementou modelos de pisos com formas retangulares;
- Inicialização automatizada do perfil de temperatura do solo imperturbado.

O *Slab* gera os seguintes dados nos arquivos de saída:

- Temperatura média mensal do núcleo, do perímetro e da interface piso e solo<sup>3</sup> de toda área do piso;
- Fluxo de calor médio mensal nas superfícies do núcleo, do perímetro e da interface piso e solo de toda área do piso.

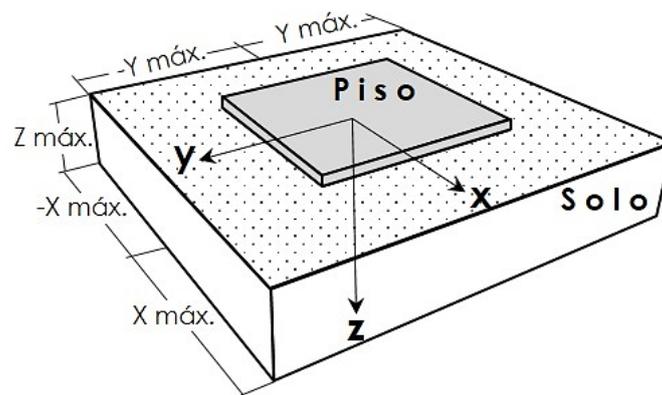
## 2 MÉTODO DE CÁLCULO DO SLAB

O método numérico para desenvolver os cálculos no programa é baseado em uma operação de diferenças finitas tridimensional. Para a aplicação desse método é necessário definir uma representação do domínio físico avaliado por um domínio virtual composto por um número finito de células de parâmetros aglomerados. O domínio virtual é modelado no programa por meio de coordenadas cartesianas, com ponto de origem no centro geométrico da laje de piso do modelo simulado (Figura 2). Para que o método de cálculo possa ser aplicado, as células que compõem esse domínio devem ser pequenas o suficiente para que se possa assumir que suas propriedades são uniformes e que a variação de temperatura entre as células vizinhas é aproximadamente linear. Esse princípio da dimensão das células deve ser cumprido para que seja possível a aplicação da equação fundamental (equação de condução de calor ou equação de difusão de calor) – equação que regula o fluxo de calor do solo acoplado aos edifícios, Equação 1. A equação de condução de calor é aplicada sobre cada célula que compõe o domínio permitindo a solução através de um sistema mais simples de equações (BAHNFLETH, 1989; CLEMENTS, 2004). O programa fornece ao usuário a opção de modelar o dimensionamento dessas células ou adotar a modelagem automática gerada durante a simulação.

---

<sup>3</sup> A temperatura da interface piso e solo corresponde à temperatura da face externa da laje de piso. Esse valor é adotado como temperatura do solo no programa *EnergyPlus*.

Figura 2 - Definição do sistema de coordenadas do domínio virtual



Fonte: Autor.

Equação 1

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = k \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right)$$

Fonte: Bahnfleth (1989).

Onde:

$\rho$  - densidade (kg/m<sup>3</sup>)

$C_p$  - calor específico a pressão constante (J/kg.K)

$T$  - temperatura (°C)

$t$  - tempo (s)

$x, y, z$  - coordenadas cartesianas

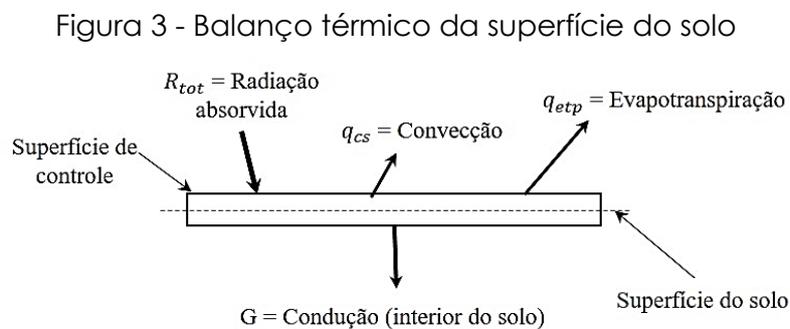
$k$  - condutividade térmica (W/m.K)

Outro princípio importante no cálculo de transferência de calor no *Slab* é o uso da condutividade térmica efetiva para as células do domínio. A condutividade térmica efetiva faz-se necessária devido ao fato do método de cálculo do *Slab* não permitir a entrada de diferentes valores para a condutividade térmica do solo. Portanto, é necessário adotar um valor representativo da condutividade térmica para o domínio considerado. Além disso, o uso de diferentes valores de condutividade térmica ocasionaria diferentes fluxos de calor nas faces de uma célula em relação às faces das células vizinhas gerando cálculos incorretos. A condutividade térmica efetiva possibilita realizar o balanço de energia das células e suas células vizinhas,

garantindo a conservação de energia no cálculo (BAHNFLETH; AMBER, 1990; BAHNFLETH, 1989; CLEMENTS, 2004). Mais detalhes sobre o uso e aplicação da condutividade térmica efetiva nos cálculos de transferência de calor são descritos no trabalho de Bahnfleth (1989).

Os cálculos aplicados na simulação de transferência de calor da laje de piso sobre solo envolvem condições de contorno que englobam todo o complexo sistema de trocas de calor do modelo: a superfície do solo, o solo profundo, limites de campo distante e limites internos (interior da zona térmica).

A condição limite mais complexa nos cálculos de trocas de calor do modelo piso sobre solo é a superfície do solo. A complexidade nos cálculos de troca de calor na superfície do solo em contato com o ambiente externo se deve à uma variedade de mecanismos de transmissão de calor envolvidos no seu balanço térmico. Na Figura 3 são apresentados todos os mecanismos presentes no balanço térmico da superfície do solo de forma esquemática (CLEMENTS, 2004).



Fonte: Adaptado de Bahnfleth (1989).

O balanço térmico da superfície do solo apresentado na Figura 3, é matematicamente definido pela Equação 2, onde a condução de calor é igual à radiação absorvida menos a convecção e a evapotranspiração.

$$G = R_{\text{tot}} - q_{\text{cs}} - q_{\text{etp}}$$

Fonte: Bahnfleth (1989).

Onde:

G - taxa de condução de calor no solo

$R_{\text{tot}}$  - saldo de radiação absorvida

$q_{\text{cs}}$  - convecção sensível

$q_{\text{etp}}$  - evapotranspiração ( $\text{W}/\text{m}^2$ )

A condição limite do solo profundo consiste nas condições de fluxo de calor na profundidade máxima do solo considerada nos cálculos. Dependendo do nível e presença de lençóis freáticos no solo, essa condição limite pode ser considerada como zero fluxo de calor ou em condições de temperatura constante (CLEMENTS, 2004). A condição limite zero fluxo considera que não há variação de temperatura no solo em relação à profundidade, ou seja, assume uma temperatura única para o solo. Alguns pesquisadores afirmam que na presença do lençol freático próximo à superfície do solo, a condição deve considerar uma temperatura constante, porém esta afirmação tem sido desacreditada pois a localização do lençol freático varia com o tempo e o espaço (BAHNFLETH, 1989).

Os limites de campo distante representam as condições de troca de calor e temperatura do solo longe da edificação. A presença de edificações sobre o solo influencia de forma significativa o seu regime térmico. Quando o solo está em condições normais, sem a influência de edificações ou outros agentes, o que é denominado solo imperturbado, a sua distribuição de temperatura é apenas uma função da profundidade e do tempo (BAHNFLETH, 1989; BAHNFLETH; PEDERSEN, 1990).

Por último, a condição limite interior que representa a superfície do piso no interior da zona térmica é conduzida pelas trocas de calor geradas pelos mecanismos de transmissão de calor por convecção e radiação térmica combinados (CLEMENTS, 2004).

### 3 DESCRIÇÃO DOS DADOS DE ENTRADA DO SLAB

Os parâmetros de entrada do *Slab* podem ser inseridos no interior do arquivo de entrada do EP ou em um arquivo de entrada do *Slab*. Independente do procedimento de simulação, são inseridos em seis classes. Quando os parâmetros de entrada são inseridos no interior do arquivo de entrada do EP, essas classes podem ser identificadas pelo prefixo “*Ground Heat Transfer: Slab*”. Cada classe possui uma série de campos de entrada, os quais solicitam dados referentes às características da edificação e do solo, e às condições de funcionamento do próprio programa. O *Auxiliary Programs Manual* (EERE, 2016a) e o *EnergyPlus University Course Teaching Material* (GARD ANALYTICS, 2003) apresentam instruções básicas de uso do programa e a descrição de suas variáveis de entrada e de saída.

Os campos de entrada de dados do *Slab* são descritos a seguir, com os seus valores de referência fornecidos pelo programa e seu manual, além disso, no final desta seção é apresentada uma tabela resumo, Tabela 7, com os valores de referência (EERE, 2016a, 2016b) São indicadas também algumas recomendações e observações com base na literatura.

1) **Classe:** *Ground Heat Transfer: Slab: Materials*

**(a)** *NMAT: Number of materials:*

Número de materiais diferentes usados no modelo, ou seja, se refere aos materiais do piso da edificação e ao solo. O número de materiais não é limitado neste campo. O manual do EP, ao descrever esse campo de entrada, menciona que usualmente é adotado o valor 2, correspondente ao piso e ao solo. (EERE, 2016a). Efetivamente, não é possível inserir mais do que dois materiais, pois nos campos a seguir (referentes as propriedades desses materiais) há espaço somente para dois materiais distintos.

**(b) ALBEDO: Surface Albedo: No Snow e ALBEDO: Surface Albedo: Snow**

Especifica o valor do albedo da superfície do solo dentro do domínio horizontal, para dias sem ou com cobertura de neve. Segundo Li et al (2013) o albedo (refletividade solar) é uma característica térmica importante dos materiais, que indica o potencial de uma superfície de reflexão solar. É a razão entre quantidade de radiação solar refletida e a quantidade de radiação solar incidente na superfície. O albedo varia em uma escala de 0 a 1, sendo que 0 significa que a superfície não pode refletir (absorve 100% da radiação solar) e 1 significa 100% de reflexão da radiação solar (Tabela 1). O *Slab* fornece dois valores de referência, de 0,05 para asfalto e 0,95 para a neve fresca baseados em dados de Bahnfleth (1989) para a América do Norte.

Tabela 1 - Variação do albedo das superfícies

| SUPERFÍCIE |                | Albedo      |
|------------|----------------|-------------|
| Desertos   |                | 0,20 – 0,45 |
| Neve       |                | 0,30 – 0,40 |
| Solos      | Escuro e úmido | 0,05        |
|            | Claro e seco   | 0,40        |
| Gramma     | Alta (1m)      | 0,16        |
|            | Baixa (0,02m)  | 0,26        |

Fonte: Adaptado de Oke (1987).

**(c) EPSLW: Surface Emissivity: No Snow e EPSLW: Surface Emissivity: Snow**

Este campo especifica a emissividade (térmica) da superfície do solo, sem ou com neve. Emissividade térmica é uma propriedade da superfície de um dado material que caracteriza a sua capacidade de emitir e absorver radiação térmica. Em outras palavras, é a razão entre a energia radiante emitida pela superfície e a emissão máxima teórica de um corpo negro ideal nas mesmas condições de temperatura, geometria e espectro. A emissividade influencia na temperatura e na transferência de calor através das superfícies, variando em uma escala de 0 a 1 (HONNER et al., 2016; OKE, 1987; PINI et al., 2016).

Segundo Oke (1987), para superfícies naturais, a emissividade geralmente se encontra próxima a 1 (Tabela 2), porém, desprezar a sua variação pode resultar em um impacto de até 1°C na temperatura da maioria das superfícies. O manual do programa fornece o valor de referência 0,95 para os dois casos: com neve e sem neve (EERE, 2016a).

Tabela 2 - Variação da emissividade das superfícies

| SUPERFÍCIE             |                | EMISSIVIDADE |
|------------------------|----------------|--------------|
| Asfalto (vias urbanas) |                | 0,95         |
| Desertos               |                | 0,84 – 0,91  |
| Neve                   |                | 0,82 – 0,99  |
| Solos                  | Escuro e úmido | 0,98         |
|                        | Claro e seco   | 0,90         |
| Gramma                 | Alta (1m)      | 0,90         |
|                        | Baixa (0,02m)  | 0,95         |

Fonte: Adaptado de Oke (1987).

**(d) Z0: Surface Roughness: No Snow e Z0: Surface Roughness: Snow (cm)**

A rugosidade da superfície se refere à camada limite superior do domínio vertical, que é a superfície do domínio horizontal presente no entorno da edificação, ou seja, a cobertura do solo. Para estes campos de entrada é considerada a superfície sem ou com a presença de neve. Segundo Sellers (1965), a rugosidade pode ser tão suave a ponto de medir apenas um milímetro ou possuir dimensões maiores que dois metros de altura, como em áreas florestais. Esse dado é utilizado para determinar o coeficiente de transferência de calor por convecção entre a superfície do solo e o ar. Porém, apesar dessa altura da rugosidade ( $z_0$ ) ser muito próxima à altura real da cobertura do solo, esta rugosidade especifica a altura em que a velocidade (medida experimentalmente) de um perfil do vento vai a zero, ou seja é a rugosidade aerodinâmica da superfície (BAHNFLETH, 1989; OKE, 1987). Os valores fornecidos pelo manual do programa são 0,75 cm e 0,05 cm para cobertura sem neve e com neve, respectivamente, porém, o valor de

referência no programa é de 0,25 cm para situações com neve. (EERE, 2016a). A Tabela 3 apresenta valores de referência para a rugosidade de diferentes superfícies.

Tabela 3 - Variação da rugosidade das superfícies

| SUPERFÍCIE      |            | RUGOSIDADE (cm) |
|-----------------|------------|-----------------|
| Solo            |            | 0,1 - 1         |
| Areia (deserto) |            | 0,03            |
| Neve            |            | 0,05 - 0,1      |
| Grama           | 2 - 10cm   | 0,3 - 1         |
|                 | 25 - 100cm | 4 - 10          |

Fonte: Adaptado de Oke (1987).

**(e)** HIN: *Indoor Hconv. Downward Flow* e HIN: *Indoor Hconv. Upward* (W/m<sup>2</sup>.K)

Especifica o coeficiente de transferência de calor por convecção e por radiação combinadas entre a superfície superior do piso no interior do edifício e o ar da zona térmica. O calor pode fluir verticalmente nos dois sentidos, e o programa, durante a simulação, alterna entre os coeficientes usados se o sentido do fluxo de calor muda de direção. O manual e a descrição do campo de entrada no programa fornecem os valores de referência encontrados na *ASHRAE Handbook of Fundamentals*. Segundo a *ASHRAE* (2009b), os valores fornecidos na *ASHRAE Handbook of Fundamentals* para o coeficiente de transferência de calor variam com o sentido do fluxo, o movimento do ar e a emissividade da superfície. Para ambientes internos sem movimentação do ar e superfícies não refletivas com  $\varepsilon = 0,90$ , o coeficiente de transferência de calor por convecção e por radiação com fluxo vertical varia de 6,13 W/(m<sup>2</sup>.K), com fluxo descendente, a 9,26 W/(m<sup>2</sup>.K), com fluxo ascendente (*ASHRAE*, 2009b).

II) **Classe:** *Ground Heat Transfer: Slab: MatIProps*

**(a)** RHO: *Slab Material density*(kg/m<sup>3</sup>)

O piso da edificação constitui o fechamento onde ocorre a transferência de calor entre o solo e o interior do ambiente construído. Dessa forma, as suas propriedades térmicas são de fundamental importância para os cálculos de troca de calor entre o solo, o piso e ambiente interno. Este campo especifica a densidade do material que compõe o piso. O pré-processador *Slab* sugere o valor de referência de 2300 kg/m<sup>3</sup>.

**(b) RHO: Soil Density(kg/m<sup>3</sup>)**

Especifica a densidade do solo. A densidade do solo ( $\rho$ ) é definida como a relação entre a massa de sólidos secos do solo e seu volume total. A estrutura, a umidade, a compactação, o manejo do solo, a profundidade e outras características inerentes do solo definem a sua densidade. Sua unidade é expressa em kg/m<sup>3</sup>, e representada na Equação 3. O pré-processador *Slab* sugere o valor de referência de 1200 kg/m<sup>3</sup>. A Tabela 4 apresenta valores de referência para a densidade do solo.

Equação 3

$$\rho = \frac{M_s}{V_s}$$

Onde:

$\rho$  – densidade (kg/m<sup>3</sup>)

$M_s$  – massa do solo seco (kg)

$V_s$  – volume do solo (m<sup>3</sup>)

Tabela 4 – Valor de referência para a densidade do solo

| Tipos de solo                 |                               |                              |
|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| Solo arenoso (40% de vazios)  | Solo argiloso (40% de vazios) | Solo turfa <sup>4</sup>      |
| 1600 – 2000 kg/m <sup>3</sup> | 1600 – 2000 kg/m <sup>3</sup> | 300 – 1100 kg/m <sup>3</sup> |

Fonte: Adaptado de Oke (1987).

<sup>4</sup> Solos com parte de sua composição de matéria orgânica, oriunda principalmente da decomposição de restos vegetais. É um solo poroso, muito explorado para uso agrícola, encontrado em áreas de clima frio.

**(c)** CP: *Slab* CP (J/kg.K)

Especifica o calor específico do piso. O pré-processador *Slab* sugere o valor de referência de 650 J/kg.K.

**(d)** CP: *Soil* CP (J/kg.K)

Especifica o calor específico do solo. O calor específico do solo ( $C_p$ ), também chamado de capacidade térmica mássica, consiste na quantidade de energia necessária para aumentar em 1°C a temperatura de 1g de solo. Sua unidade é expressa em J/(kg.K), e representada pela Equação 4. O pré-processador *Slab* sugere o valor de referência de 1200 J/kg.K. A Tabela 5 apresenta valores de referência para o calor específico do solo.

Equação 4

$$C_p = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}$$

Onde:

$C_p$  – calor específico (J/kg.K)

Q – quantidade de calor (J)

m – massa (kg)

$\Delta T$  – variação da temperatura (K)

Tabela 5 – Valor de referência para o calor específico do solo

| Tipos de solo                |                               |                    |
|------------------------------|-------------------------------|--------------------|
| Solo arenoso (40% de vazios) | Solo argiloso (40% de vazios) | Solo turfa         |
| 800 – 1480 J/kg.K            | 890 – 1550 J/kg.K             | 1920 – 3650 J/kg.K |

Fonte: Adaptado de Oke (1987).

Como o solo é um sistema multicomponentente, o seu calor específico consiste na somatória do calor específico das frações que o constituem (sólida, líquida e gasosa). A oscilação da fração líquida do solo influencia de forma significativa o calor específico, o aumentando consideravelmente com o incremento da umidade. O efeito da umidade no calor específico, depende do tipo de solo. O calor específico do solo reflete a sua capacidade

de atuar como reservatório de calor. Dessa forma, a variação de temperatura do solo em um determinado tempo depende do seu calor específico e da forma como o calor é transmitido (PREVEDELLO; ARMINDO, 2015).

**(e)** TCON: *Slab* k (W/m.K)

Especifica a condutividade térmica da laje. O pré-processador *Slab* sugere o valor de referência de 0,9 W/m.K.

**(f)** TCON: *Soil* k (W/m.K)

Especifica a condutividade térmica do solo. A condutividade térmica (k) expressa a capacidade do material em conduzir calor, e é por definição, o quociente entre a densidade de fluxo térmico e o gradiente de temperatura. Sua unidade é expressa em W/(m.K), e representada pela Equação 5. A Tabela 6 apresenta valores de referência para a condutividade do solo.

Equação 5

$$k = \frac{q}{A \cdot (\Delta T/l)}$$

Onde:

q – fluxo de calor (W)

A – área da seção transversal (m<sup>2</sup>)

ΔT – gradiente de temperatura (K)

l – distância percorrida pelo calor (m)

k - condutividade térmica (W/m.K)

Tabela 6 – Valor de referência para a condutividade do solo

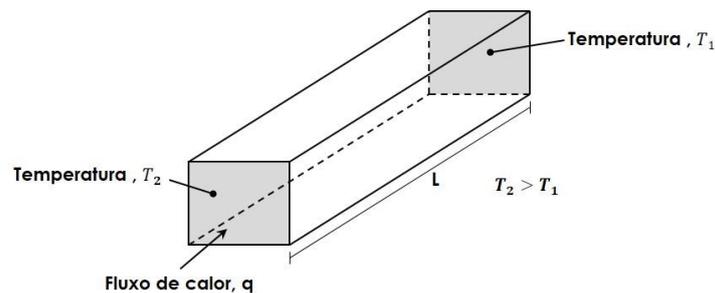
| Tipos de solo                |                               |                   |
|------------------------------|-------------------------------|-------------------|
| Solo arenoso (40% de vazios) | Solo argiloso (40% de vazios) | Solo turfa        |
| 0,30 – 2,20 W/m.K            | 0,25 – 1,58 W/m.K             | 0,06 – 0,50 W/m.K |

Fonte: Adaptado de Oke (1987).

Segundo Prevedello e Armindo (2015), a condutividade térmica do solo é definida pela quantidade de energia transmitida na unidade de comprimento por unidade de tempo, quando a diferença de temperatura para esta distância é dada por unidade de área. A condutividade térmica do solo,

considerando um elemento prismático composto por ele, é definida através da média das condutividades entre as duas seções transversais do elemento, pois ela varia em função da alteração de temperatura e de composição do solo entre essas seções, Figura 4 (FAROUKI, 1981). O programa *Slab* sugere o valor de referência de 1 W/m.K.

Figura 4 - Fluxo de calor através de um elemento prismático do solo



Fonte: Adaptado de Farouki (1981).

III) **Classe:** *Ground Heat Transfer: Slab: BoundConds*

(a) EVTR: *Is surface evapotranspiration modeled*

Especifica se a evapotranspiração será ou não considerada na simulação. A evapotranspiração compreende todos os processos de perda de calor latente na superfície do solo, incluindo a evaporação, convecção e transpiração pela vegetação (BAHNFLETH; PEDERSEN, 1990). O programa permite duas opções para esse campo de entrada, “*true*” para ativar a evapotranspiração e “*false*” para desativá-la (EERE, 2016a). Quando ativo, assume-se que essa opção tende a acentuar os efeitos da troca de calor latente nos cálculos. Isso acontece porque é utilizada a evapotranspiração potencial (situação em que a superfície do solo está saturada). A taxa de evapotranspiração potencial é teórica e se baseia nas condições meteorológicas (radiação incidente, velocidade do vento, temperatura do ar e taxa de umidade) (BAHNFLETH; PEDERSEN, 1990). O uso da evapotranspiração no cálculo de transferência de calor apresenta maior

influência nos resultados em climas quentes e secos, especialmente na temperatura superficial do solo. Um exemplo dessa afirmação é o estudo de Bahnfleth (1989), em que ele faz a comparação do método de cálculo com a evapotranspiração ativada e desativada, em diferentes condições climáticas. Os resultados mostraram que os casos em que ela estava desativada, as temperaturas médias da superfície do solo eram superiores às temperaturas médias do ar, entre 1 a 4°C, e a amplitude das temperaturas da superfície do solo foram mais elevadas que a amplitude da temperatura do ar. O contrário ocorreu nos casos ativos, onde as temperaturas médias da superfície do solo foram inferiores às médias do ar, chegando a até 10°C de diferença. As maiores diferenças entre o uso da evapotranspiração potencial foram apresentadas no clima quente e seco.

**(b) FIXBC:** *is the lower boundary at a fixed temperature*

Permite definir se o modelo irá utilizar uma temperatura fixa ou condição de zero fluxo de calor para o limite inferior do domínio vertical. O campo possui duas opções de entrada, "*true*" para temperatura fixa e "*false*" para fluxo zero. Quando definida a condição de temperatura fixa, o programa calcula o perfil de temperatura não perturbado e esse valor é utilizado na profundidade limite do domínio do modelo (EERE, 2016a). A alteração da condição limite inferior do domínio isoladamente tem pouca influência nos resultados (BAHNFLETH, 1989; BAHNFLETH; PEDERSEN, 1990). Alguns pesquisadores afirmam que a definição deste parâmetro deve ser baseada na presença e distância de lençóis freáticos no domínio do modelo, já que a taxa de umidade tem significativa influência na condutividade térmica do solo (BAHNFLETH, 1989; CLEMENTS, 2004). Porém, segundo Clements (2004), essa teoria vem sendo desacreditada, pois a profundidade do lençol freático flutua com o tempo e a localização, dessa forma ele não atua como um limite de temperatura constante, mas como uma superfície de solo que tem variação em sua condutividade térmica. A comparação entre o uso de ambas as condições limite inferiores do domínio mostra que a diferença entre

as taxas de transferência de calor para a temperatura fixa e o zero fluxo depende da relação área/perímetro e da profundidade adotada para o domínio vertical. O efeito das condições limite inferiores varia com a taxa de transferência de calor, o efeito aumenta com o crescimento dessa taxa. A relação área/perímetro, por sua vez, influencia nas taxas de transferência de calor pelo piso (quanto menor a relação, maior a taxa de transferência de calor e o contrário ocorre quanto menor for essa relação). Consequentemente, a sensibilidade da edificação à condição limite inferior também varia com essa relação, no mesmo sentido que a transferência de calor (BAHNFLETH, 1989). Quanto menor a profundidade do domínio vertical mais significativo é o efeito de uma dada alteração das condições limite inferiores.

**(c) TDEEPin (°C)**

Esse campo de entrada está relacionado ao campo anterior “FIXBC: *is the lower boundary at a fixed temperature*”. Aqui é definida a temperatura fixa para a condição limite inferior do domínio vertical do modelo elaborado, se for selecionada a opção “*true*” para o campo anterior. Se a opção selecionada for “*false*” o campo deverá ser deixado em branco, o que significa que o *Slab* irá calcular o perfil de temperatura não perturbada a ser usado na condição limite inferior do domínio vertical.

**(d) USRHflag: *is the ground surface h specified by the use***

Permite a opção de definir um coeficiente de transferência de calor para a superfície do solo ou não. Para situações em que se escolhe não definir um coeficiente, é inserido nesse campo a opção “*false*”, e o programa então irá calcular o coeficiente de transferência de calor baseando-se nas condições meteorológicas disponíveis. Se for inserida no campo a opção “*true*”, significa que o usuário deverá definir um coeficiente de transferência de calor para a superfície do solo.

**(e)** USRH: *User specified ground surface heat transfer coefficient*

Define-se o coeficiente de transferência de calor para a superfície do solo, se o campo anterior estiver com a opção “true”, caso contrário o campo deve ser deixado em branco.

IV) **Classe:** *Ground Heat Transfer: Slab: BldgProps***(a)** IYRS: *Number of years to iterate*

Este campo define o número de anos que será utilizado para se obter os resultados, através de processos iterativos. Quanto maior o número de anos, maior a precisão do resultado da simulação. Segundo o *Auxiliary Programs Manual* (EERE, 2016a), o valor de 10 anos como referência, fornecido pelo programa, é satisfatório para que se obtenha resultados confiáveis. É importante destacar que nos primeiros anos de operação da edificação o comportamento térmico do solo passa por mudanças, sendo necessário vários anos para que o perfil perturbado mude para o perfil imperturbado sob um edifício (EERE, 2016a).

**(b)** Shape: *Slab shape*

Especifica o formato do piso, porém só a forma retangular está implementada podendo-se inserir somente o valor zero nesse campo. A limitação do formato retangular se deve à simplificação da geometria para auxiliar na modelagem da transferência de calor. Formas retangulares e quadradas são mais fáceis de modelar, e os resultados desse modelo simplificado podem ser aplicados para geometrias mais complexas, porém há de se assumir possíveis limitações na aplicação e na exatidão do resultado (CLEMENTS, 2004). Apesar da limitação da forma, segundo Bahnfleth (1989) em sua pesquisa quando comparados pisos em formato retangular e na forma de “L”, a relação área/perímetro parece ter maior influência sobre as trocas de calor do piso do que a variação da forma isoladamente.

**(c)** HBLDG: *Building height (m)*

Especifica a altura da edificação para que o programa calcule o sombreamento sobre o solo causado pelo próprio edifício. As condições climáticas têm grande influência na magnitude do efeito deste parâmetro. Estudos comparativos mostraram que o uso do sombreamento sobre o solo, pode resultar em uma variação de mais de 20% nas taxas de transferência de calor da laje de piso, em climas com alto potencial de evapotranspiração. Por outro lado, a variação da orientação da edificação resultou em valores idênticos (BAHNFLETH, 1989; BAHNFLETH; PEDERSEN, 1990).

**(d)** TIN (*January – December*) *Indoor Average Temperature Setpoint (°C)*

Os doze campos presentes correspondem às temperaturas médias mensais internas do ar da edificação para cada mês do ano. Esses valores influenciam diretamente nas trocas de calor entre o ambiente interno e o solo. Para obtê-los é necessário realizar uma simulação preliminar que fornecerá uma primeira estimativa da temperatura interna do ar da edificação (média mensal). Em edificações multizonas esse valor médio é obtido por meio de uma média ponderada das temperaturas médias de cada zona térmica.

**(e)** TINamp: *Daily Indoor sine wave variation amplitude*

Este campo possibilita impor uma variação sinusoidal diária na temperatura interna da edificação. O valor definido corresponde à amplitude da onda senoidal. Esse valor é obtido por meio de uma simulação preliminar, a qual fornece a variação de temperatura diária da edificação. Através dos valores máximo e mínimo de temperatura de cada dia do ano encontram-se as amplitudes diárias. A amplitude da variação da onda senoidal interna diária corresponde à média das amplitudes diárias de todos os dias do ano. O programa sugere como valor de referência 0 (sem variação diária na temperatura interna).

**(f) ConvTol:** *Convergence Tolerance (°C)*

A tolerância de convergência é definida para controlar o processo iterativo. A iteração ocorre até que a diferença de temperatura das últimas iterações, seja menor do que o valor de tolerância definido, obtendo-se assim os resultados finais. O programa sugere como valor de referência 0,1°C.

V) **Classe:** *Ground Heat Transfer: Slab: Insulation***(a) RINS:** *R value of under slab insulation*

Especifica o valor da resistência térmica do isolamento horizontal presente logo abaixo da laje. Caso o isolamento vertical estiver selecionado, esse campo deverá ser deixado em branco ou inserido o valor zero. Apesar de haver a possibilidade de adicionar duas tipologias de isolamento, as duas opções não podem estar ativas juntas (horizontal e vertical).

**(b) DINS:** *Width of strip of under slab insulation*

Define-se a dimensão em metros da largura da faixa de isolamento do perímetro abaixo do piso. Novamente se o isolamento vertical estiver selecionado, esse campo deverá ser deixado em branco ou com o valor zero.

**(c) RVINS:** *R value of vertical insulation*

Este campo especifica a resistência térmica do isolamento vertical presente nas bordas do piso atingindo a profundidade definida no campo "ZVINS: *Depth of vertical insulation*". Este campo deverá ser deixado em branco ou inserir-se o valor 0, caso o isolamento horizontal, abaixo do piso, estiver selecionado.

**(d) ZVINS:** *Depth of vertical insulation*

Define a profundidade do isolamento vertical, a partir do piso até o término do isolamento. Se o isolamento horizontal estiver sendo usado, ou seja, o isolamento vertical não estiver ativo o campo deverá ser deixado em branco ou com o valor zero.

**(e) IVINS:** *Flag is there vertical insulation*

Especifica se o isolamento vertical está ativo ou não. O campo oferece duas opções, 1 para ativo e zero para desativado.

VI) **Classe:** *Ground Heat Transfer: Slab: EquivalentSlab***(a) APRatio:** *The area to perimeter ratio for this slab (m)*

Este campo fornece a relação área/perímetro do piso da edificação avaliada. Através da proporção área/perímetro o *Slab* cria um piso equivalente e o separa em área de núcleo e área do perímetro, de acordo com as dimensões do piso, podendo assim realizar os cálculos de transferência de calor para cada área separadamente (LARSEN, 2011). A proporção área/perímetro se relaciona diretamente com o fluxo de calor médio em pisos com formatos retangulares e em forma de "L". Quanto maior sua proporção, maior a contribuição do núcleo no fluxo de calor no piso. É esperado que a área do perímetro tenha maior fluxo de calor do que o apresentado na área do núcleo (BAHNFLETH, 1989). O programa *Slab* não permite a inserção de valores inferiores a 1,5m e maiores que 22m.

**(b) SLABDEPTH:** *Thickness of slab on grade (m)*

Define a espessura do piso, a qual deverá ser de até 0,25m. É necessário que a superfície inferior da camada do piso esteja no mesmo nível da superfície externa do solo. Segundo o *Auxiliary Programs Manual* (EERE, 2016a), pisos demasiadamente espessos interferem na precisão dos resultados dos cálculos.

**(c) CLEARANCE:** *Distance from edge of slab to domain edge (m)*

Este campo especifica a dimensão do domínio horizontal do modelo elaborado. O domínio é à distância da borda da área do modelo até o centro geométrico do piso. Essa distância é usada para definir a extensão horizontal do domínio.

**(d) ZCLEARANCE:** *Distance from bottom of slab to domain bottom (m)*

Especifica a dimensão do domínio vertical do modelo, ou seja, é a distância vertical entre o piso até o limite inferior da área modelada como domínio. É a dimensão usada para definir a dimensão vertical do domínio.

A Tabela 7 apresenta um resumo dos dados de entrada do *Slab* e seus valores de referência (*defaults*) fornecido pelo pré-processador e seu manual (EERE, 2016b, 2016c)

Tabela G.7 - Campos de entrada do Slab "continua"

| Classes  | Campos de entrada   | Valores de referência |
|--|---|-----------------------|
| I) Ground Heat Transfer:<br>Slab: Materials:   | NMAT: Number of materials   | –                     |
|  | ALBEDO: Surface Albedo: No Snow   | 0,16                  |
|  | ALBEDO: Surface Albedo: Snow  | 0,4                   |
|  | EPSLW: Surface Emissivity: No Snow  | 0,94                  |
|  | EPSLW: Surface Emissivity: Snow   | 0,86                  |
|  | Z0: Surface Roughness: No Snow (cm)   | 0,75                  |
|  | Z0: Surface Roughness: Snow (cm)  | 0,25                  |
|  | HIN: Indoor Hconv. Downward Flow (W/m <sup>2</sup> .K)                              | 6,13                  |
|  | HIN: Indoor Hconv. Upward (W/m <sup>2</sup> .K)                                     | 9,26                  |
| II) Ground Heat Transfer: Slab: MatlProps      | RHO: Slab Material density (kg/m <sup>3</sup> )                                     | 2300                  |
|  | RHO: Soil Density (kg/m <sup>3</sup> )  | 1200                  |
|  | CP: Slab CP (J/kg.K)  | 650                   |
|  | CP: Soil CP (J/kg.K)  | 1200                  |
|  | TCON: Slab k (W/m.K)  | 0,9                   |
|  | TCON: Soil k (W/m.K)  | 1                     |
| III) Ground Heat Transfer: Slab: BoundConds    | EVTR: Is surface evapotranspiration modeled   | TRUE ou FALSE         |
|  | FIXBC: is the lower boundary at a fixed temperature                                 | TRUE ou FALSE         |
|  | TDEEPin (°C)  | –                     |
|  | USRHflag: is the ground surface h specified by the use                              | TRUE ou FALSE         |
|  | USRH: User specified ground surface heat transfer coefficient (W/m <sup>2</sup> .K) | –                     |
| IV) Ground Heat Transfer: Slab: BldgProps      | IYRS: Number of years to iterate  | 10                    |
|  | Shape: Slab shape   | 0                     |
|  | HBLDG: Building height (m)  | –                     |
|  | TIN (January – December) Indoor Average Temperature Setpoint (°C)                   | 22                    |
|  | TINamp: Daily Indoor sine wave variation amplitude                                  | 0                     |
|  | ConvTol: Convergence Tolerance  | 0,1                   |
| V) Ground Heat Transfer: Slab: Insulation      | RINS: R value of under slab insulation (m <sup>2</sup> .K/W)                        | 0                     |
|  | DINS: Width of strip of under slab insulation (m)                                   | 0                     |
|  | RVINS: R value of vertical insulation (m <sup>2</sup> .K/W)                         | 0                     |
|  | ZVINS: Depth of vertical insulation (m)   | 0                     |
|  | IVINS: Flag is there vertical insulation  | 0 ou 1                |
| VI) Ground Heat Transfer: Slab: EquivalentSlab | APRatio: The area to perimeter ratio for this slab                                  | –                     |
|  | SLABDEPTH: Thickness of slab on grade (m)   | 0,1                   |
|  | CLEARANCE: Distance from edge of slab to domain edge (m)                            | 15                    |
|  | ZCLEARANCE: Distance from bottom of slab to domain bottom (m)                       | 15                    |

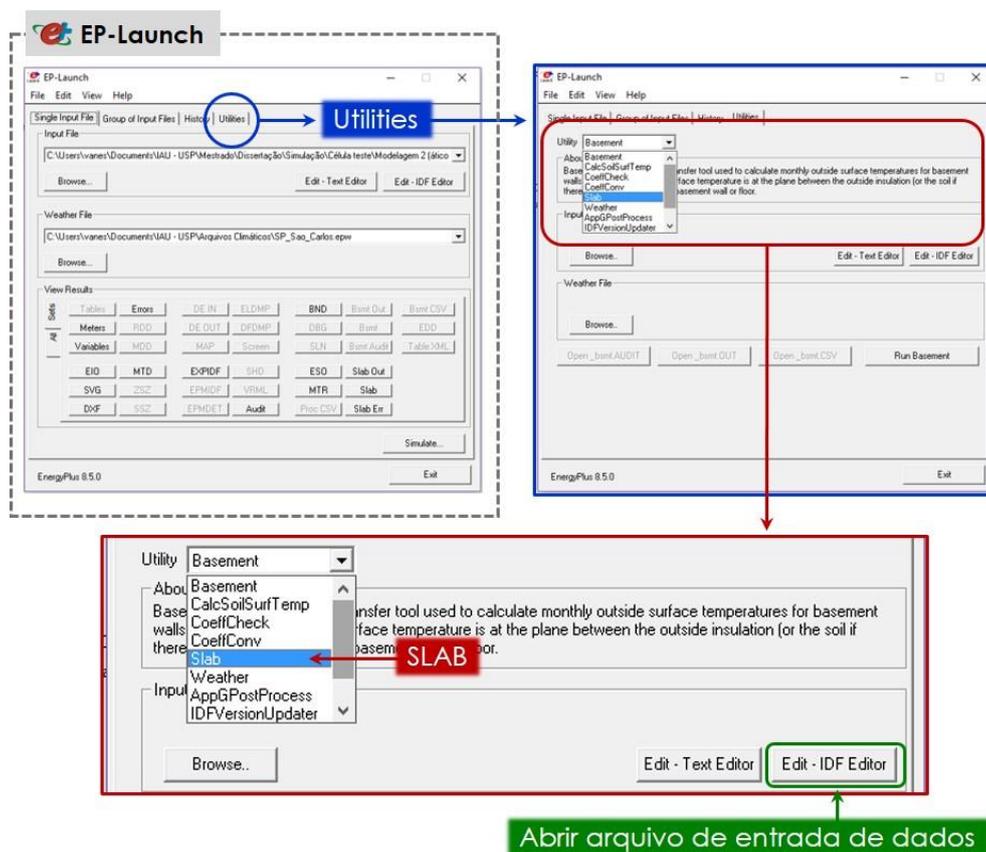
Fonte: EERE (2016).

## 4 FUNCIONAMENTO DO SLAB

O *Slab* é um pré-processador bastante complexo, que permite diferentes formas de acionamento e de modelagem. Seu acionamento e interação com o EP podem ocorrer de duas maneiras distintas: externamente, em um arquivo de entrada de dados do *Slab* independente, ou internamente, no arquivo de entrada de dados do EP.

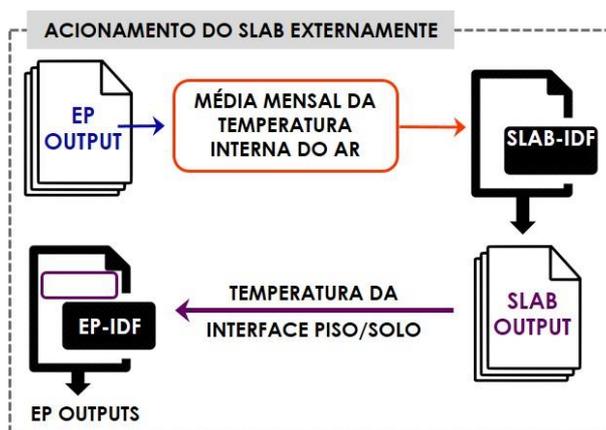
Para acessar o arquivo de dados de entrada independente do *Slab*, basta direcionar-se para a aba “*Utilities*” presente na janela de comando do EP (*EP-Launch*), selecionar a opção *Slab* no campo “*Utility*” e em seguida dirigir-se para o editor de entrada de dados (*Edit – IDF Editor*), Figura 4. Quando essa opção é selecionada, o *Slab* é rodado individualmente, sendo necessário realizar a interação com o EP manualmente. Isso significa que o usuário deve retirar os dados de temperatura da interface piso e solo do arquivo de saída do *Slab* e inseri-los no arquivo de entrada do EP no objeto “*Site:GroundTemperature:BuildingSurface*”, Figura 5. Para que o EP utilize os dados de entrada inseridos neste objeto, a condição limite exterior da superfície do piso (“*Outside Boundary Condition*”) deve ser definida como “*Ground*”.

Figura 4 - Acesso ao arquivo de dados de entrada do Slab



Fonte: Autor.

Figura 5 - Acionamento do Slab externamente

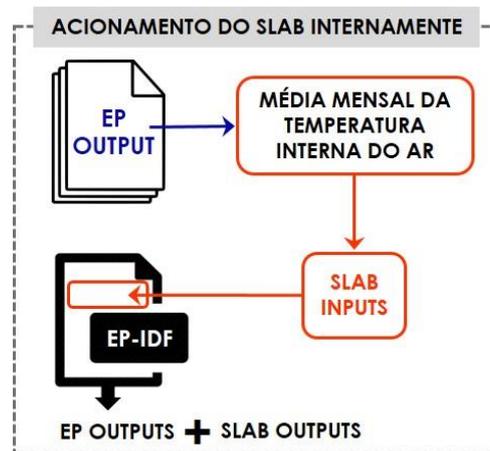


Fonte: Autor.

A segunda opção é acionar o *Slab* internamente no arquivo de entrada de dados do EP (\*.idf), na classe “Ground Heat Transfer”. Essa opção facilita o

processo de simulação, pois todos os dados de entrada do *Slab* são inseridos dentro do próprio arquivo de entrada do EP e o processo de interação entre os programas é feito automaticamente, Figura 6 (LARSEN, 2011). Para que o EP utilize os resultados gerados pelo *Slab* durante a simulação, o campo de entrada que define a condição limite exterior da superfície do piso deve estar definida: *GroundSlabPreprocessorAverage*, *GroundSlabPreprocessorCore* ou *GroundSlabPreprocessorPerimeter*. As opções de entrada da condição limite exterior da superfície do piso dizem respeito à qual das séries de temperatura fornecidas pelo *Slab* será adotada na simulação do EP.

Figura 6 - Acionamento do Slab internamente

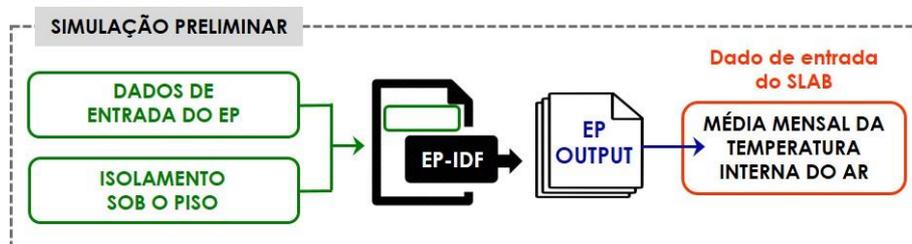


Fonte: Autor.

Independentemente de qual das opções acima for adotada para o acionamento do *Slab*, é necessário realizar uma simulação prévia pelo EP, denominada de simulação preliminar. A simulação preliminar irá fornecer uma primeira estimativa da temperatura interna do ar da edificação (média mensal), Figura 7. Essa série de valores mensais de temperatura é um dado de entrada do *Slab*. Durante a modelagem da primeira simulação, o usuário não possui esse dado, especialmente em edifícios não condicionados artificialmente. O *Auxiliary Programs Manual* (EERE, 2016b), recomenda que nessa simulação adicione-se uma camada com elevado isolamento no piso,

para que os resultados não sofram influência de uma temperatura inicial do solo.

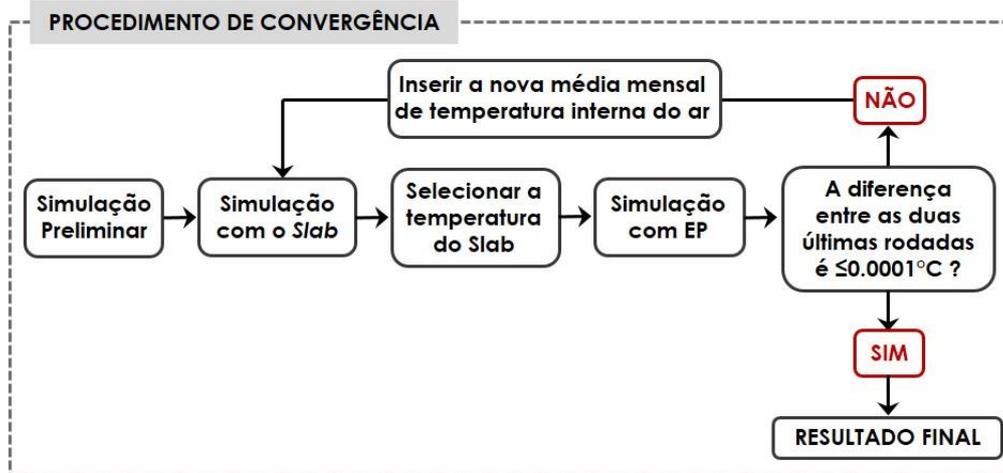
Figura 7 - Procedimento da simulação preliminar



Fonte: Autor.

Em seguida à simulação preliminar e à primeira execução dos programas *Slab* e EP, pode-se ainda obter como resultado do EP uma temperatura interior do ar da edificação muito distinta daquela inserida como dado de entrada do *Slab*. Segundo Andolsun et al (2012), para o ajuste desse dado, é necessário adotar um procedimento de convergência em que são necessárias simulações consecutivas com a iteração entre os resultados gerados pelo *Slab* e pelo EP (Figura 8). Eles consideram que a convergência é obtida quando a diferença nos valores médios mensais entre as duas últimas simulações da temperatura interna do ar da edificação for inferior à 0,0001°C.

Figura 8 - Simulação com o procedimento de convergência



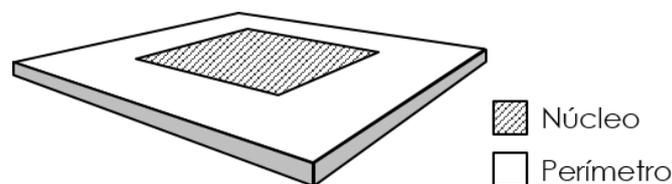
Fonte: Autor.

Em relação às formas de modelagem, o *Slab* permite diferentes modelagens do piso da edificação e do domínio virtual. Com o objetivo de representar as trocas de calor mais próximas do real, a estrutura do piso pode ser modelada dividindo-a em duas superfícies, “núcleo” e de “perímetro” (Figura 9). O maior fluxo de calor no piso pode ser esperado de uma tira larga de 1,5 metros em torno do perímetro. Porém apesar da maior contribuição nas trocas de calor pelo perímetro, a participação do núcleo também pode influenciar significativamente no fluxo de calor. A transferência de calor na área do núcleo varia em proporção direta com a condutividade térmica do solo, aumentando a contribuição do fluxo de calor com o aumento da condutividade térmica do solo (BAHNFLETH, 1989; BAHNFLETH; PEDERSEN, 1990; CLEMENTS, 2004).

Para as diferentes formas de modelagem do piso, o *Slab* fornece três séries de dados de temperaturas mensais: a temperatura média (média ponderada da área da superfície), da área do núcleo e do perímetro. Segundo Clements (2004), a principal dificuldade com a utilização deste tipo de interface entre modelos uni e tridimensional é a questão de qual temperatura usar. As temperaturas podem variar bastante, dependendo da presença e/ou do nível de isolamento da superfície de fundação, dessa forma, ao adotar a

temperatura média da superfície pode-se mensurar a transferência de calor da laje erroneamente. Além disso, em situações reais, as trocas de calor entre o piso e o solo não se distribuem de forma uniforme por toda superfície em contato com o solo. Em um estudo no qual são comparados resultados de simulação do *Slab*, variando a escolha da temperatura, com os resultados obtidos pelo método de diferenças finitas (FDM), tido como caso base, o uso das temperaturas do núcleo e do perímetro mitigaram os erros associados à utilização de uma temperatura única, apresentando melhores resultados de transferência de calor comparados ao caso base (CLEMENTS, 2004). É importante destacar que para definir temperaturas distintas no piso se faz necessário descrever as superfícies do núcleo e do perímetro separadamente durante a modelagem da geometria do modelo como apresenta a Figura 9. A temperatura a ser adotada na simulação é definida no campo de entrada que caracteriza a condição limite exterior da superfície ou superfícies do piso ("Outside Boundary Condition"), com as opções: *GroundSlabPreprocessorAverage* (adota a temperatura média), *GroundSlabPreprocessorCore* (adota a temperatura do núcleo) ou *GroundSlabPreprocessorPerimeter* (adota a temperatura do perímetro). Destaca-se que o *Slab* permite a modelagem de apenas um piso, ou seja, ele considera o piso de toda a edificação como um elemento único, mesmo quando esta é multizona.

Figura 9 - Divisão da superfície do piso sobre solo

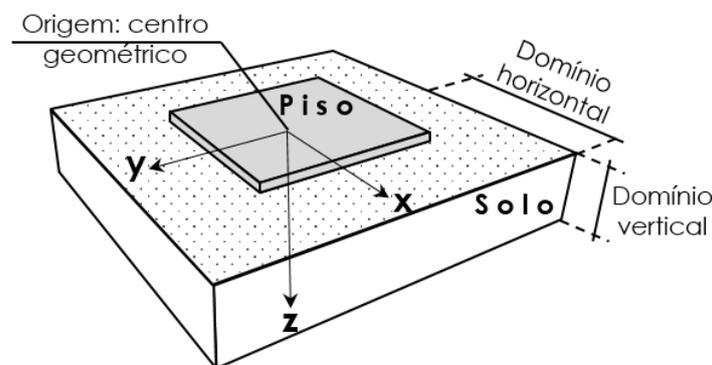


Fonte: Autor.

Além da forma de modelagem do piso, também é possível definir qual a dimensão do domínio virtual considerado nos cálculos do *Slab*. Os domínios se

referem à extensão horizontal e vertical do solo (da superfície inferior do piso em sentido à profundidade do solo) que é considerada para os cálculos de troca de calor, Figura 10. A delimitação da extensão dos domínios é essencial para a definição do volume de solo considerado nos cálculos das suas trocas de calor e para a determinação das propriedades do solo (composição e cobertura) e da sua temperatura para esses domínios, pois estas variam com o tempo, localização, tipo de cobertura e composição.

Figura 10 - Definição dos domínios vertical e horizontal do modelo virtual



Fonte: Autor.

**Tem-se um estudo do impacto de variadas possibilidades desse pré-processador, além da comparação dos seus dados de saída com dados experimentais (COSTA; RORIZ; CHVATAL, 2017).**

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. **Thermal and water vapor transmission data. ASHRAE Handbook - Fundamentals.** Atlanta, 2009.

ANDOLSUN, S. et al. EnergyPlus vs DOE-2.1e: The effect of ground coupling on cooling/heating energy requirements of slab-on-grade code houses in four climates of the US. **Energy and Buildings**, v. 52, p. 189–206, set. 2012.

BAHNFLETH, W.; AMBER, J. **Algorithms for Slab-on-Grade Heat Transfer**

**Calculations.** USACERL Technical Manuscript. **Anais...**1990

BAHNFLETH, W. P. **Three-Dimensional Modelling of Heat Transfer From Slab Floors.** Ph.D., USACERL TM E-89/11, Urbana: Universidade de Illinois, Illinois, US, 1989.

BAHNFLETH, W. P.; PEDERSEN, C. O. **A three-dimensional numerical study of slab-on-grade heat transfer.** **ASHRAE Transactions.** St. Louis, MO (United States), 1990.

CLEMENTS, E. **Three Dimensional Foundation Heat Transfer Modules for Whole-Building Energy Analysis.** Dissertação (Mestrado) - The Pennsylvania State University). Pennsylvania, Estados Unidos, 2004.

COSTA, V. A. C. DA; RORIZ, V. F.; CHVATAL, K. M. S. Modeling of slab-on-grade heat transfer in EnergyPlus simulation program. **Ambiente Construído**, v. 17, n. 3, p. 115–135, 2017.

EERE - DEPARTMENT OF ENERGY EFFICIENCY AND RENEWABLE ENERGY. Ground Heat Transfer in EnergyPlus. In: **Documentation, EnergyPlus™ Version 8.5 - Auxiliary Programs.** Version 8. ed. p. 103–142, 2016a.

EERE - DEPARTMENT OF ENERGY EFFICIENCY AND RENEWABLE ENERGY. **Slab.** USA, 2016b.

FAROUKI, O. T. **Thermal Properties of Soils.** U.S. Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory, New Hampshire, United States. 151 p., 1981

GARD ANALYTICS. **Lecture 24 : Ground Heat TransferEnergyPlus University Course Teaching Material.** [s.l: s.n.].

HONNER, M. et al. Laser scanning heating method for high-temperature spectral emissivity analyses. **Applied Thermal Engineering**, v. 94, p. 76–81, fev. 2016.

LARSEN, S. F. Modelización de la transferencia de calor al suelo en los programas de simulación térmica de edificios EnergyPlus y SIMEDIF. **Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente**, v. 15, p. 27–34, 2011.

LI, H.; HARVEY, J.; KENDALL, A. Field measurement of albedo for different land cover materials and effects on thermal performance. **Building and**

**Environment**, v. 59, p. 536–546, jan. 2013.

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. Second ed. Vancouver: Routledge, 1987.

PINI, F. et al. Robotic implementation of the slide method for measurement of the thermal emissivity of building elements. **Energy and Buildings**, v. 114, p. 241–246, fev. 2016.

PREVEDELLO, C. L.; ARMINDO, R. A. **Física do solo com problemas resolvidos**. 2. ed. Curitiba, 2015.

SELLERS, W. D. **Physical Climatology**. second ed. Chicago University of Chicago Press, 1965.

**Vanessa Aparecida Caieiro da Costa**

Instituto de Arquitetura e Urbanismo | Universidade de São Paulo | Av. Trabalhador  
Sãocarlense, 400 | São Carlos - SP – Brasil | CEP 13566-590  
E-mail: vanessacaieiro@gmail.com

**Karin Maria Soares Chvatal**

Instituto de Arquitetura e Urbanismo | Universidade de São Paulo | Av. Trabalhador  
Sãocarlense, 400 | São Carlos - SP – Brasil | CEP 13566-590  
Tel.: (16) 3373-9312 | E-mail: karin@sc.usp.br