

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Centro de Desenvolvimento Tecnológico
Curso de Engenharia de Materiais



Trabalho de Conclusão de Curso

**SIMULAÇÃO DO USO DE MATERIAIS DE MUDANÇA DE FASE EM
HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL EM CIDADES DE REGIÕES
BIOCLIMÁTICAS DO SUL DO BRASIL**

Ulysses Guedes Andrade Alvarenga

Pelotas de 2018

Ulysses Guedes Andrade Alvarenga

**Simulação do Uso de Materiais de Mudança de Fase em Habitação de
Interesse Social nas Regiões Bioclimáticas do Sul do Brasil**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Centro de Desenvolvimento Tecnológico da
Universidade Federal de Pelotas, como
requisito para a obtenção do título de Bacharel
em Engenharia de Materiais.

Orientadora: Profa. Dra. Alice Gonçalves Osório

Coorientador: Prof. Dr. Eduardo Grala da Cunha

Pelotas, dezembro de 2018

Agradecimentos

Primeiramente gostaria de agradecer a Dolinger Alvarenga, minha mãe, pelo apoio emocional e financeiro, pela paciência, pelo carinho. Agradecer por me apoiar mesmo sendo contra a mudança para 1600km de distância, por ter sido mãe e pai a vida toda. Por acreditar que um dia eu me formaria. Por isso tudo, muito obrigado.

Todo esse apoio não seria possível sem os dois pilares, Clarissa e Angelina Alvarenga, minhas irmãs queridas. Sou muito grato pelas ligações tarde da noite, pelo carinho, pela atenção, por toda conversa sobre o futuro, obrigado.

Agradeço a Beth Corrieri por me ensinar a ter estabilidade emocional para vir para Pelotas onde pude conhecer as pessoas que mudaram minha vida. Agradeço também a Vinicius Ferreira por seguir com este trabalho.

Dentre essas pessoas que mudaram a minha vida preciso destacar os moradores do apartamento 203. Renata Sarmento, Marcella Agra, Camila Dalmorra, Camila Moreira, Eliza Portugal, Jaqueline Almeida, Julia Maciel, Arthur Dalmagro, Larissa Patines, Valtair Augusto, e todas as outras que, mesmo que por menos tempo dividiram morada comigo. O período que passamos juntos foi muito importante e guardarei as memórias com muito carinho. Obrigado.

Ainda em Pelotas, toda a turma da Lambda Theta, vulgo REP, e agregados que me acolheram de braços abertos formando uma sede Sudeste na “nação rio grandense”. Heitor Muniz, Lucas “melô”, Serginho, Douglas, Henrique, Fer (♀), Fer (♂), Aninha, Jonas “dylon”, Pedro “plets”, Japa, Dy, Carol. Por todos os eventos, noites de estudo, noites de lol e apoio, obrigado.

Pela turma de Liverpool, pelo CSF, Rafa, Jeffs, Doug, Xaxim, Du, Dri, Fábio, Mari e muitos outros. Graças a vocês eu consegui aproveitar muito do melhor do intercâmbio, fosse estudando no Carnatic, na biblioteca ou sob a aurora boreal. Obrigado.

Na engenharia de materiais, toda a turma de 2012, que me rendeu amigos para a vida toda como Carlos, Nadina, Iti, Brod e Arthur (in memorian). Aos professores, a Ana e demais colegas que me apoiaram de diversas maneiras, em trabalhos, projetos, estudos e papelada. Muito obrigado.

A todos os familiares e amigos que suportaram junto comigo a distância.

A Profa. Dra. Margarete e ao Prof. Guilherme Barros por mostrar o caminho da paixão pela Engenharia de Materiais logo na primeira semana em Pelotas.

Finalmente, mas não menos importante, gostaria de agradecer a toda turma do LEICMA e do LABCEE, pelo apoio, carinho e troca de conhecimentos proporcionados durante esse ano que resultou em dois trabalhos que me orgulho muito, em especial ao meu colega e amigo Rodrigo Leitzke, a minha querida amiga Juliana Seixas e aos meus Orientadores Eduardo Grala e Alice Osório. Tenho absoluta certeza que sem vocês não teria conhecido.

Resumo

ALVARENGA, Ulysses Guedes Andrade. **Simulação do Uso de Materiais de Mudança de Fase em Habitação de Interesse Social nas Regiões Bioclimáticas do Sul do Brasil.** 2018. 61f. Trabalho de Conclusão de Curso – Bacharel em Engenharia de Materiais, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2018.

Este trabalho objetiva a análise de quatro materiais de mudança de fase (PCM) diferentes e sua influência no conforto térmico e consumo de habitações de interesse social do programa Minha Casa Minha Vida, através de simulações no programa EnergyPlus. Os PCMs foram inseridos na edificação em seis espessuras diferentes, com três configurações distintas em uma cidade de cada Zona Bioclimática do sul do país (ZB1, ZB2 e ZB3) analisada. A melhor configuração foi de PCM no Teto, com o PCM 28HC e a espessura Dupla de 8mm, alcançando uma melhora significativa quando comparado ao caso base. Os resultados apresentados nesse trabalho salientam a necessidade de aprofundar a discussão em torno dos materiais de mudança de fase na estrutura de envelope de uma edificação.

Palavras Chave: Simulação, PCM, LHS, Conforto térmico, HIS, EnergyPlus.

Abstract: This work aims to analyze four different phase change materials (PCM) and their influence on the thermal comfort and energy consumption of social housing of the Minha Casa Minha Vida program through simulations in the EnergyPlus program. The PCMs were inserted in the building in six different thicknesses, with three different configurations in one city of each Bioclimatic Zone of the south of Brazil (ZB1, ZB2 and ZB3). The best configuration was PCM in the Ceiling, with PCM 28HC and Double thickness of 8mm, achieving a significant improvement when compared to the base case. The results presented in this paper highlighted the need to deepen the discussion about the phase change materials in the envelope structure of a building.

Keywords: Simulation, PCM, LHS, thermal comfort, HIS, EnergyPlus.

Lista de Figuras

Figura 1 - Mudança de fase de PCM microemcapsulado.....	20
Figura 2 - Fluxograma de lógica de simulação.....	22
Figura 3 - Fluxograma das Fases do Projeto	25
Figura 4 - Casa HIS Oliveira L.....	26
Figura 5 - Zonas Térmicas da casa HIS Oliveira L.....	27
Figura 6 - Todos os Campos da Simulação.	31
Figura 7 - SimulationControl.....	32
Figura 8 - Building	32
Figura 9 - Modelo da casa no SketchUp.	33
Figura 10 - Shadow Calculation.	33
Figura 11 - Surface Convection Algorithm: Inside e Outside.....	34
Figura 12 - Heat BalanceAlgorithm.	34
Figura 13 - Timestep	35
Figura 14 - Site:Location.	35
Figura 15 - Sizing Period: Design Day.	36
Figura 16 - Run Period.....	37

Figura 17 - Run Period Control: Special Days.....	37
Figura 18 - Run Period Control: Daylight saving time.....	38
Figura 19 – Site: Ground Temperature: Building Surface.....	38
Figura 20 - Schedule Type Limits.....	39
Figura 21 - Schedule Compact.....	40
Figura 22 - Material	40
Figura 23 - Material: Air Gap, Glazing e Blind.	41
Figura 24 - Material Property: Phase Change Hysteresis.	42
Figura 25 - Construction.....	42
Figura 26 - Global Geometry Rules.....	43
Figura 27 - Zone.....	43
Figura 28 - Zone List	44
Figura 29 - Building Surface: Detailed.....	44
Figura 30 - Fenestration Surface: Detailed.....	45
Figura 31 - Window Property: Shading Control.	46
Figura 32 - People.....	46
Figura 33 - Lights.	47

Figura 34 - Eletric Equipment.....	47
Figura 35 - Airflow Network: Simulation Control.....	48
Figura 36 - Airflow Network: Multi Zone: Zone.....	48
Figura 37 - Airflow Network: Multi Zone: Surface.....	49
Figura 38 - Airflow Network: Multi Zone: Component: Simple Opening.....	49
Figura 39 - HVAC Template: Thermostat.....	49
Figura 40 - HVAC Template: Zone: PTHP.....	50
Figura 41 - Sizing: Parameters.....	51
Figura 42 - Output: Surfaces: List e Drawing.....	51
Figura 43 - Output: Constructions.....	52
Figura 44 - Output: Table: Summary Reports.....	52
Figura 45 - Output: Table: Monthly.....	53
Figura 46 - Output Control: Table: Style.....	53
Figura 47 - Output Control: Reporting Tolerances.....	53
Figura 48 - Output: Variable.....	54

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Configurações térmicas da Casa HIS Oliveira.	26
Tabela 2 - Dados de especificação da residência, calculados por Oliveira L.	26
Tabela 3 - Taxas metabólicas para cada atividade por ambiente.	28
Tabela 4 - Carga Interna de Equipamentos.....	28
Tabela 5 - Padrão de ocupação para dias de semana e finais de semana.....	29
Tabela 6 - Propriedades dos PCMs	30
Tabela 7 - Percentual de conforto de cada Comodo.	55
Tabela 8 - Percentual em área de cada cômodo.....	55
Tabela 9 - Percentuais de conforto da casa em cada Zona Bioclimática.	56
Tabela 10 - Índices de conforto proporcional na ZB1.....	56
Tabela 11 - Índices de conforto proporcional na ZB2.....	56
Tabela 12 - Índices de conforto proporcional na ZB3.....	56
Tabela 13 - Índices de Redução de consumo na ZB1.....	57
Tabela 14 - Índices de Redução de consumo na ZB2.....	57
Tabela 15 - Índices de Redução de consumo na ZB3.....	57
Tabela 16 - Tabela de Transmitância em relação de espessura.....	58

Lista de Gráficos

Gráfico 1 - Mistura e Substância Pura.....	18
Gráfico 2 - Comportamento de substância pura.....	20
Gráfico 3 - PCM no Teto com Dupla Camada de 8 mm Verão, ZB1.....	60
Gráfico 4 - PCM no Teto com Dupla Camada de 8 mm Inverno, ZB1.....	60
Gráfico 5 - PCM no Teto com Dupla Camada de 8 mm Verão, ZB2.....	61
Gráfico 6 - PCM no Teto com Dupla Camada de 8 mm Inverno, ZB2.....	61
Gráfico 7 - PCM no Teto com Dupla Camada de 8 mm Verão, ZB3.....	62
Gráfico 8 - PCM no Teto com Dupla Camada de 8 mm Inverno, ZB3.....	62

Legendas:

COLD: Desconforto por frio.

HOT: Desconforto por calor.

CONF: Índice de conforto.

S4mm: Camada simples de 4mm, apenas no interior.

S6mm: Camada simples de 6mm, apenas no interior.

S8mm: Camada simples de 8mm, apenas no interior.

D4mm: Camada dupla de 4mm, externa e interna.

D6mm: Camada dupla de 6mm, externa e interna.

D8mm: Camada dupla de 8mm, externa e interna.

Sumário

1. Introdução	12
2. Objetivos	15
2.1 Objetivos Gerais	15
2.2 Objetivos Específicos	15
3. Revisão Bibliográfica	15
3.1 Conforto Térmico	15
3.1.1 Trocas de Calor	16
Condução	16
Radiação	17
3.2 Materiais de Mudança de Fase	17
3.3 Mudança de Fase	19
3.3.1 Faixa de Fusão	20
3.4 Histerese	21
3.5 Simuladores de Desempenho	21
3.6 Zonas Bioclimáticas	24
4. Metodologia	25

Fase 1: Definição do Caso Base –	25
Fase 2 – Definição e configuração dos modelos de referência	29
Fase 3: Simulações e Resultados:	30
Simulação.....	30
5.Resultados e Discussão	55
5.1 Resultados de Conforto.....	55
5.2 Resultados de Consumo para Configuração de Envelope:.....	57
5.3 Resultados de Desempenho de Espessura de PCMs.....	57
5.4 Resultados de Desempenho entre PCMs	58
6. Conclusões.....	63
Referências Bibliográficas:	64

1. Introdução

O Sistema Nacional de Habitação de Interesse Social – SNHI tem como objetivo principal implementar políticas e programas que promovam o acesso à moradia digna para população de baixa renda, principalmente famílias com renda de até três salários mínimos, para a redução do déficit habitacional no Brasil. O sistema gerido pelo Ministério das Cidades centraliza todos os projetos e programas de HIS no país. Além do ministério também fazem parte instituições privadas do setor de habitação, agentes financeiros autorizados pelo Conselho Monetário Nacional, Caixa Econômica Federal, dentre outros. Através de programas como o Minha Casa Minha Vida, esta população de baixa renda tem acesso a Habitações dignas com parcelas que cabem no salário, mesmo que pagando por vinte, trinta anos (Ministério das Cidades, 2018).

De acordo com Brito A. C. et al (2015), o EnergyPlus é um programa promissor para o uso de simulações do desempenho térmico de PCMs no Brasil, uma vez que dados simulados foram comparados a obtidos em protótipos e os resultados foram da mesma ordem de grandeza. Dentro desse contexto o presente trabalho analisou o uso de PCMs em edificação residencial de dois pavimentos com elevado nível de isolamento térmico situada na Zona Bioclimática 2.

Assumindo que, nem sempre, a utilização de sistemas construtivos, materiais ou componentes arquitetônicos mais caros implicam num maior custo da obra, desde que contribuam para a redução do tempo de construção, eliminação de desperdícios e ou redução do custo de manutenção. Espera-se que o valor investido no envelopamento de uma edificação com material de mudança de fase (PCM) se pague na redução de custo com AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionado) para manter os ocupantes em condições de conforto térmico por mais tempo. Esta combinação de ganhos, em conforto térmico e eficiência energética, mostra o potencial de aplicação de tais materiais. (TOLEDO et al 2014).

Segundo Frota e Schiffer (2001) o corpo humano está em situação de conforto térmico quando, sem recorrer a nenhum mecanismo de termorregulação, perde para o ambiente o calor produzido pelo metabolismo proporcional à sua atividade.

De acordo com Parsons (2014) o conforto térmico é dado pela análise de seis parâmetros básicos. Energia metabólica gerada pela atividade humana, vestuário e os quatro fatores ambientais: temperatura do ar, radiação térmica, umidade e movimento do ar. O autor ressalta, porém, que a simples quantificação destes fatores não são suficientes para determinar o quanto confortável alguém está em um ambiente, uma vez que o ser humano existe em um contexto social sob a influência de diversas interações e sentimento.

O uso de PCMs como armazenador de calor latente começou com o uso de sais hidratados depois da segunda guerra mundial, e apenas nos primeiros anos do século vinte e um que passou a ser estudado o uso de parafinas e ácidos gordurosos para aplicação em envelopes. Os sais hidratados, apesar de serem mais baratos, possuem características de solidificação pouco interessantes para tal uso. (PARIS 2007).

O armazenamento de energia funciona com a alteração de fase do material, processo endotérmico, que ao reorganizar suas moléculas pausa a curva de aquecimento até que tenha fundido todo o material. No resfriamento o oposto acontece, o PCM libera energia continuamente sem que varie a temperatura até que todo o material tenha se solidificado. Na mudança de estado sólido-líquido ocorre dilatação do material, já na mudança de estado líquido-sólido, contração. Dependendo do PCM utilizado, tais variações volumétricas podem ser ignoradas ou não (MEHLING e CABEZA 2008).

Quando corretamente aplicado, respeitando as especificações de calor específico, massa, e sistema de circulação do ar, este efeito de armazenar energia no aquecimento e de liberar energia no resfriamento causa um fenômeno que retarda e minimiza variações de temperatura no ambiente. Este efeito gera um atraso no gasto de energia em horários de pico, do uso de resfriadores no verão e de aquecedores no inverno gerando uma economia interessante e desejável (MAVRIGIANNAKI e AMPATZI 2016).

Uma característica relevante nos materiais de mudança de fase (PCM) é o número de ciclos ao qual o material pode ser submetido. Esta característica está intimamente relacionada à composição do PCM. Muitas vezes o material utilizado é um amálgama de vários compostos, como por exemplo, diferentes tipos de parafinas ou sais hidratados. Esta mistura confere ao material características

termoquímicas interessantes, mas com o número crescente de ciclos, pode ocorrer a segregação de fases. Quando isto ocorre o efeito da mistura é anulado e cada material passa a atuar independentemente, com seus pontos de fusão individuais resultando em perda massiva de eficiência (MEHLING e CABEZA 2008).

Outro fator relevante é o fenômeno de super resfriamento, este evento reduz os efeitos de armazenamento de calor, pois força o material a descer sua temperatura muito abaixo do ponto de fusão antes que se solidifique. Quando neste estado o material líquido continua funcionando como um isolante e não como um armazenador de calor (MEMON 2013).

Existem dois tipos de encapsulamento de PCMs que são de uso relevantes em envelopes de estruturas: Macro e Micro encapsulamento.

Macro encapsulamento é todo encapsulamento que precisa de uma estrutura robusta contendo o PCM. Algumas conhecidas são:

Pouches, estrutura de bolsas plásticas ou metálicas contendo PCM em seus compartimentos (LAZARO et al, 2008).

Capilares, tubulações plásticas ou metálicas sob o forro, ou dentro do reboco onde contém PCM e água(KOSCHENZ e LEHMANN 2004).

Macrocápsulas metálicas dentro da estrutura da parede (VICENTE e SILVA 2013).

Micro encapsulamento é quando o PCM se encontra em forma de pequenas esferas de granulometria extremamente pequena, se assemelhando a um pó polimérico. Neste método, dentro de cada grão de plástico há um pequeno volume de PCM. Este pó é misturado ao revestimento ou a algum constituinte do envelope, como gesso (PAVLÍK et al 2013).

Como a prototipação de um modelo contendo PCM exige um custo muito elevado, antes desta etapa se faz necessário simular possíveis variações de modelos e materiais a serem utilizados. Para esta definição escolheu-se o programa EnergyPlus graças à comprovada eficiência deste aplicativo para simular trocas térmicas em ambientes construídos (SAFFARI et al 2017).

2.Objetivos

2.1 Objetivos Gerais

Este trabalho tem como objetivo determinar através de simulações computacionais qual a configuração de PCM que é mais eficiente para a redução do consumo de energia e conforto de uma edificação de uma HIS. Com o auxílio do programa EnergyPlus comparar o consumo, conforto e como se comporta o envelope com cada PCM e sem ele. Foram utilizados quatro PCMs distintos em três zonas bioclimáticas diferentes, variando em seis espessuras e três configurações de envelope.

2.2 Objetivos Específicos

1. Identificar qual tipo de PCM é mais indicado para a aplicação desejada.
2. Definir qual configuração é mais eficiente.
3. Descobrir o desempenho dos PCMs analisados nas três zonas bioclimáticas da região Sul do País quanto ao consumo de energia.

3. Revisão Bibliográfica

3.1 Conforto Térmico

De acordo com a NBR_15220, conforto térmico é “a satisfação psicofisiológica de um indivíduo com as condições térmicas do ambiente”.

Segundo Saberi, Sanei e Javanbakht (2006), diversos estudiosos buscaram definir uma equação para quantificar o conforto térmico em um determinado ambiente. Uma dessas equações, que é amplamente aceita ao redor do mundo, é a Equação de Neutralidade Térmica de Fanger, que originou a ISO 7730/94 e é dada pela equação 1:

$$M - W = Q_{sk} + Q_{res} = (C + R + E_{sk}) + (C_{res} + E_{res})$$

Equação 1 – Equação de Fanger

Onde M é a taxa metabólica de produção de calor em W/m^2 , W é o trabalho mecânico desenvolvido pelo corpo em W/m^2 , Q_{sk} é a taxa total de perda de calor através da pele, Q_{res} é a taxa total de perda de calor pela respiração em W/m^2 , $C + R$ é a perda de calor sensível pela pele W/m^2 , E_{sk} é a perda de calor latente pela pele através da evaporação em W/m^2 , C_{res} é a perda de calor sensível pela

respiração, por convecção em W/m^2 e E_{res} é a perda de calor latente pela respiração por evaporação (LAMBERTS 2011).

Para compreender como se chega ao conforto térmico é necessário entender como ocorrem as trocas de calor envolvidas nesse fenômeno dentro de um edifício. O calor pode ser trocado por Convecção, Condução e Radiação de maneira seca e por evaporação e condensação da água de maneira úmida (FROTA e SCHIFFER 2001).

3.1.1 Trocas de Calor - Convecção

A troca de calor por convecção ocorre quando um dos corpos é um sólido e o outro um fluido. Como a parede, o chão o forro com o ar interno da zona operativa. É dado pela fórmula da equação 2:

$$q_c = h_c(t - \theta) \text{ em } (\text{W/m}^2)$$

Equação 2 – Equação de Convecção térmica

Onde q_c é a intensidade do fluxo térmico por convecção dada em W/m^2 , h_c é o coeficiente de trocas térmicas por convecção dado em $\text{W/m}^2\text{°C}$, t a temperatura do ar em $^{\circ}\text{C}$, θ a temperatura da superfície do sólido (parede, chão, forro) em $^{\circ}\text{C}$ e pode ser maior ou menor que t . O coeficiente varia de acordo com o fluxo do ar. Sendo a superfície vertical $h_c = 4,7 \text{ W/m}^2\text{°C}$, para superfície horizontal se faz necessário analisar o sentido do fluxo, pois a tendência natural do ar quente de subir facilita a troca neste sentido e dificulta no sentido oposto. Portanto $h_c = 1,2 \text{ W/m}^2\text{°C}$, para fluxo descendente e $h_c = 7 \text{ W/m}^2\text{°C}$ para fluxo ascendente (FROTA e SCHIFFER 2001).

A equação acima é a mesma utilizada pelo algoritmo TARP do programa EnergyPlus, desenvolvido de acordo com as normas da ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) por Walton (1983) para cenários de superfícies regulares (ILLINOIS, 2018).

Condução

A troca de calor por Condução ocorre entre dois corpos que se tocam, ou entre duas partes do mesmo corpo que estão em temperaturas diferentes. A intensidade do fluxo térmico por condução é dada pela equação 3:

$$q_{cd} = \lambda/e * (\theta_e - \theta_i) (W/m^2)$$

Equação 3 – Equação de Condução térmica

Onde e é a espessura da parede em metros, θ_e é a temperatura externa em °C, θ_i é a temperatura interna do envolvente em °C, λ é o coeficiente de condutibilidade térmica do material em W/m°C, é uma propriedade inerente à cada material a qual depende da densidade, natureza química e umidade (FROTA e SCHIFFER, 2001).

Radiação

Quando dois corpos não se tocam, mas ainda assim ocorre fluxo de calor, é chamado troca de calor por radiação. Este fenômeno ocorre graças a natureza eletromagnética da energia térmica, ou seja, que não necessita de um meio para se propagar (FROTA e SCHIFFER 2001).

É dada pela fórmula da equação 4:

$$q_r = h_r(\theta - \theta_r) (W/m^2)$$

Equação 4 – Equação de Condução radiante

Onde q_r é a intensidade do fluxo térmico radiante dada em W/m², h_r é o coeficiente de trocas térmicas por radiação em W/m²°C, θ é a temperatura da superfície considerada em °C e θ_r é a temperatura radiante em relação as outras superfícies também em °C (FROTA e SCHIFFER 2001).

3.2 Materiais de Mudança de Fase

Também denominados PCMs (PhaseChangeMaterials), ou LHS (LatentHeatStorage - Armazenador de energia latente, em tradução livre), são materiais utilizados na sua faixa de mudança de fase com alguma finalidade funcional dentro do sistema.

Existem três grupos principais de PCMs, sendo eles: Orgânicos, Inorgânicos e Eutéticos.

3.2.1 PCMs Orgânicos

Os PCMs orgânicos se subdividem em parafínicos e não parafínicos.

PCM orgânico não parafínico

Este grupo de PCM é composto principalmente por óleos vegetais como o de palma, de soja ou de coco. Suas principais desvantagens são seu potencial corrosivo graças à composição de seus ácidos graxos, condutividade térmica baixa, que ocasiona super resfriamento, e custo muito elevado graças a aplicação na indústria cosmética e alimentícia. Dentre as vantagens estão a reciclagem, alto calor de latência, alta flamabilidade e baixa resistência a oxidação. Neste grupo encontram-se os óleos vegetais e a glicerina(JEONG, 2013).

PCM orgânico parafínico

Os PCMs Orgânicos parafínicos são extraídos do petróleo, possuem alta estabilidade volumétrica, baixo índice de super resfriamento, baixa pressão de vapor, são recicláveis, não corrosivos, não sofrem segregação de fases, estão disponíveis em diversas faixas de ponto de fusão, baixo custo e por tudo isso são compatíveis para o uso em materiais de construção. As principais desvantagens deste grupo de PCMs são a baixa condutividade térmica e a flamabilidade, ou seja, facilidade em pegar fogo. Fazem parte os hidrocarbonetos não insaturados como o heptadecano e cetano (MEMON, 2013).

3.2.2 PCMs Inorgânicos

Dentre os PCMs inorgânicos existem os sais hidratados e os metais de baixo ponto de fusão como o Césio e o Gálio.

Metais

Além do altíssimo custo dos metais de baixo ponto de fusão, eles também apresentam baixa estabilidade química para serem utilizados na indústria da construção civil, Césio por exemplo reage explosivamente com a água, o hidróxido deste elemento é uma base tão forte que chega a atacar o vidro. O Gálio, por sua vez, tem facilidade em se ligar com outros metais produzindo ligas de baixo ponto de fusão e se expande ao solidificar. Possuem alta condutividade térmica e baixo índice de expansividade. (EMSLEY, 2011).

Sais Hidratados

Os sais hidratados são misturas supersaturadas de algum sal hidratado, de forma geral $AB.nH_2O$, alguns exemplos são $Na_2S_2O_3.5H_2O$, $KF.4H_2O$. Possuem condutividade térmica superior aos PCMs parafínicos e valores de calor de latência semelhante. Contam com os menores valores de mercado por serem

facilmente fabricados. Contudo a principal desvantagem que inviabiliza seu uso é a segregação de fases que ocorre para altas quantidades de ciclos térmicos, ou baixa estabilidade química (HADJIEVAA, 2000) e (MEMON, 2013).

3.2.3 PCMsEutéticos

Esta classe de PCMs são misturas eutéticas de dois ou mais tipos de PCMs, pode ser uma mistura de PCMs orgânicos ou inorgânicos. A principal vantagem é possuírem uma faixa de fusão bem curta e definida e alto índice de calor latente. Normalmente não sofrem segregação de fases, mas possuem poucos dados disponíveis sobre suas propriedades termo-físicas (MENDES et al, 2009) e (MEMON, 2013).

3.3Mudança de Fase

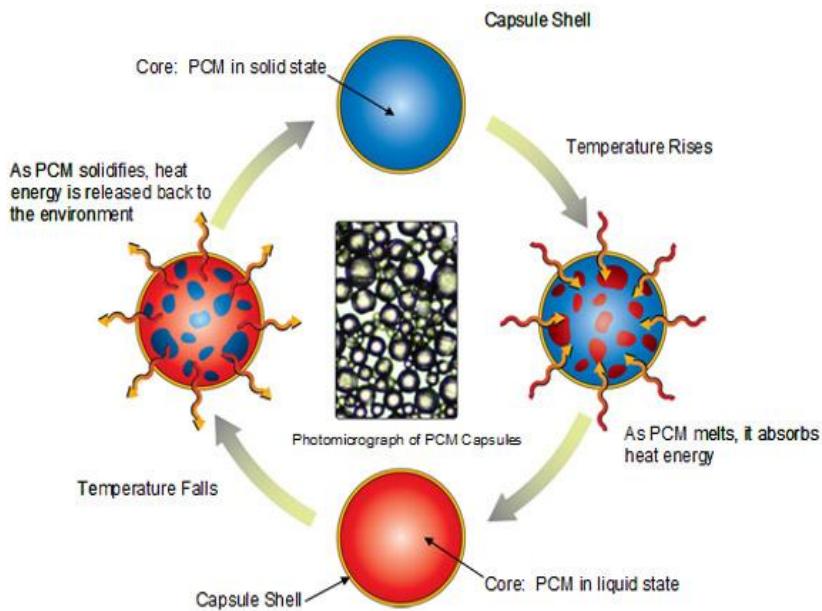
Calor Latente ou calor de transformação (L), é a quantidade de energia (Q) necessária para mudar de fase uma quantidade (m) de massa de um determinado material. Representado na equação 5. Quando esta mudança é de sólido para líquido diz-se calor de fusão, quando de líquido para sólido diz-se calor de vaporização e pode ser expresso em cal/g, KJ/mol ou KJ/Kg. Em fórmula (HALIDAY, RESNICK, WALKER, 2015):

$$L=Q/m$$

Equação 5 – Equação do calor latente

A Figura 1 apresenta uma ilustração de mudança de fase de PCM microemcapsulado.

Figura 1 - Mudança de fase de PCM microencapsulado



Fonte: Virgallito, 2013.

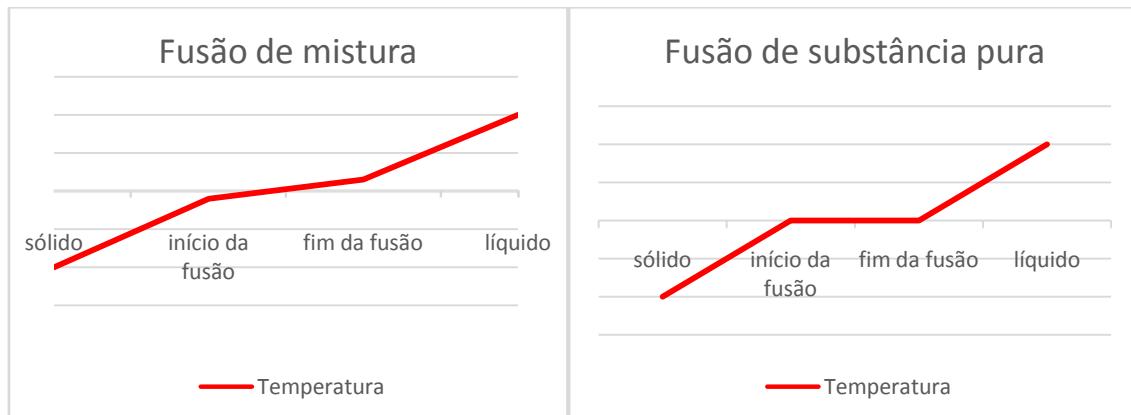
3.3.1 Faixa de Fusão

Em materiais compostos o ponto de fusão T_m é na verdade uma faixa de fusão, pois ele começa a fundir em um ponto, mas sua temperatura ao invés de se manter muda a inclinação da curva de aquecimento (LINDEMANN et al, 2002).

Os gráficos 1 e 2 foram desenvolvidos a fim de demonstrar o comportamento da temperatura em função do tempo de uma substância pura e uma mistura, composto.

Gráfico 1 - Mistura e Substância Pura

Gráfico 2 - Comportamento de substância pura.



Demonstrativos de comportamento da temperatura em função do tempo.

Fonte: Próprio Autor

3.4 Histerese

É o efeito apresentado por algumas misturas, em especial PCMs parafínicos, no qual a faixa de temperatura de fusão e congelamento depende da temperatura inicial do sistema. Ou seja, a faixa de fusão, aquecimento, não é a mesma da faixa de congelamento, resfriamento devido a interações prévias dentre as moléculas do material (BISWAS et al, 2018).

3.5 Simuladores de Desempenho

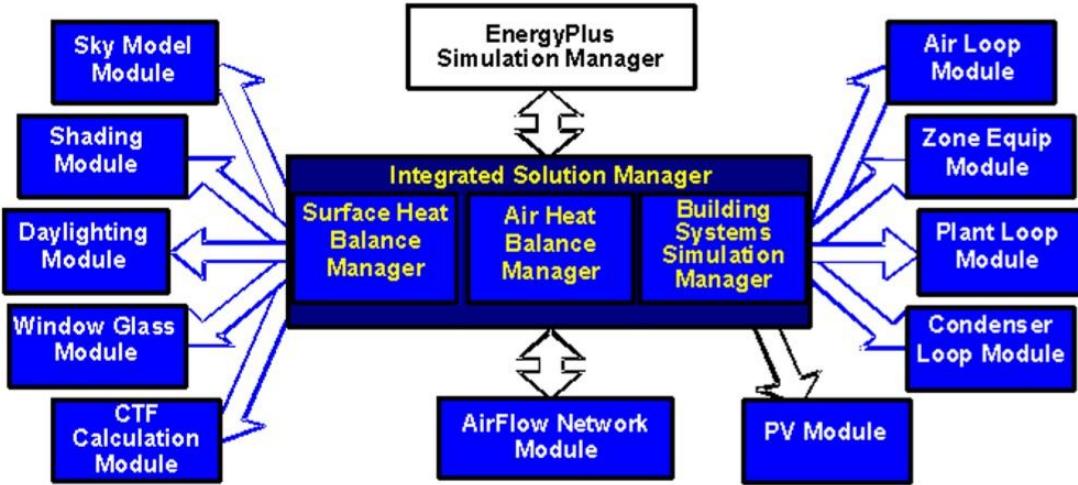
Os simuladores de desempenho trabalham com a simulação da edificação em condições análogas às de utilização, como temperaturas externas, umidade relativa, velocidade do vento, etc.

A simulação começa com o processo de modelagem da casa, feito por programas de projetos em três dimensões, como o AutoCad ou o SketchUp. Nesta etapa é feita a planta da casa com janelas, portas e demais elementos de envoltória.

Para avaliar a qualidade do desempenho térmico e energético de um edifício, além de análises in loco é possível simular a estrutura em softwares cada vez mais próximos da realidade. Este processo de simular antes de erguer a estrutura permite prever falhas e otimizar o projeto antes da fase de construção. A simulação, em um tempo muitas vezes menor que o tempo de erguer a estrutura, mostra como se comportará termo energeticamente aquela edificação (Santos et al, 2017).

O processo de simulação envolve a interação de inputs (variáveis de entrada) para receber o output (variável de saída) desejado. Quanto mais precisa, e próxima da realidade forem os dados de entrada, mais exatos serão os dados de saída. Os primeiros programas de simulação consideravam menos fatores que os atuais, como agenda do usuário, pontes térmicas, iluminação e demais fontes de calor. Como mostra o organograma da Figura 2, mais de uma informação é cruzada para chegar às variáveis de entrada e saída corretas (U.S. Department of Energy, 2018).

Figura 2- Fluxograma de lógica de simulação



Fonte:Manual de referências de engenharia do EnergyPlus 8.9.

Para o programa EnergyPlus, todos os campos que estiverem em azul, deverão ser obrigatoriamente preenchidos para que não ocorra um erro severo e a simulação aconteça. Campos em cinza não preenchidos podem ocasionar avisos ou simplesmente serem desconsiderados se deixados em branco. Este recurso de cores é um auxílio ao usuário para evitar que a simulação seja feita de maneira errada, uma vez que sem este dado de entrada a mesma não ocorreria (InputOutputReference 2018).

De acordo com o manual de engenharia do programa EnergyPlus de 2018, fatores como, temperatura do solo, temperaturas anuais, renovações internas de ar, módulo de sombreamento, de janelas, índices de refração, condução, infiltração interagem de maneira decisiva na percepção térmica dentro de um edifício.

Temperatura operativa T_{OP} - de acordo com o US Department of Energy, 2018, é a média entre a temperatura do ar (T_{ar}) e a temperatura média radiante do ambiente (T_{MRT}) e γ é igual a 0,5, conforme equação 6.

$$T_{OP} = \gamma T_{MRT} + (1-\gamma)T_{ar}$$

Equação 6 – Equação da temperatura operativa

Temperatura média radiante - é resultado da fórmula da equação 7:

$$T_{MRT} = \frac{\sum \epsilon_i A_i T_i}{\sum \epsilon_i A_i}$$

Equação 7 – Equação da temperatura média radiante

Onde A_i é área de uma superfície, T_i temperatura desta mesma superfície e ϵ_i sua emitância radiante (quantidade de energia na forma de radiação eletromagnética que sai de uma superfície).

Temperatura de Conforto (Tc) – é a zona de temperatura entre o limite inferior ($T_n - 3,2^\circ\text{C}$), no qual, abaixo dele o usuário está em condição de desconforto por frio, e o limite superior ($T_n + 3,5^\circ\text{C}$), no qual acima dele o usuário está em condição de desconforto por calor, da Temperatura Neutra (MONTEIRO e ALUCCI, 2008).

$$T_n - 3,2^\circ\text{C} < T_c < T_n + 3,5^\circ\text{C}$$

Equação 8 – Equação da temperatura de conforto

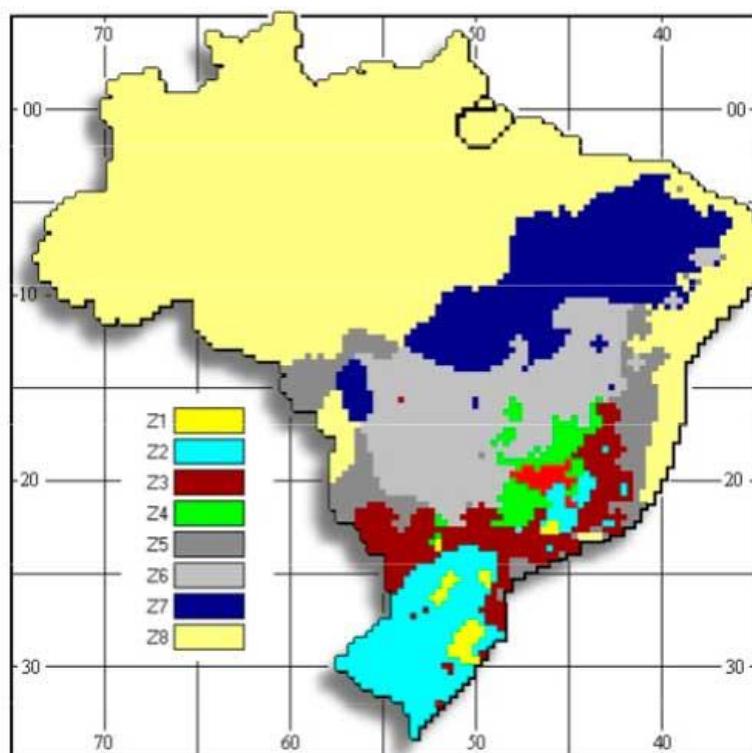
Temperatura Neutra –é a temperatura média mensal multiplicada por 0,255 acrescidos de $18,9^\circ\text{C}$. Desta forma a capacidade adaptativa do ser humano é considerado juntamente com as médias mensais (ASHRAE 2017).

Zona térmica –é a área interna da casa delimitada pelos limites físicos daquela zona. Como parede interna, parede externa, teto e chão as quais estão sempre em contato, caso haja uma porta ou janela entre as duas regiões que pode ser fechada, então duas zonas distintas serão consideradas. Os níveis de infiltração serão de acordo com a estrutura divisória(U.S. Department of Energy 2018).

3.6 Zonas Bioclimáticas

O Brasil é dividido em oito zonas bioclimáticas conforme mapa 1. Elas relacionam as diferentes características climáticas que compõem o país com altitude, umidade relativa média, temperatura média anual e incidência solar para definir as diretrizes construtivas em cada zona. Algumas dessas diretrizes são, proteção de aberturas, necessidade de trocador de calor ou não, vedações externas, dimensão de aberturas para ventilação (LAMBERTS 2011).

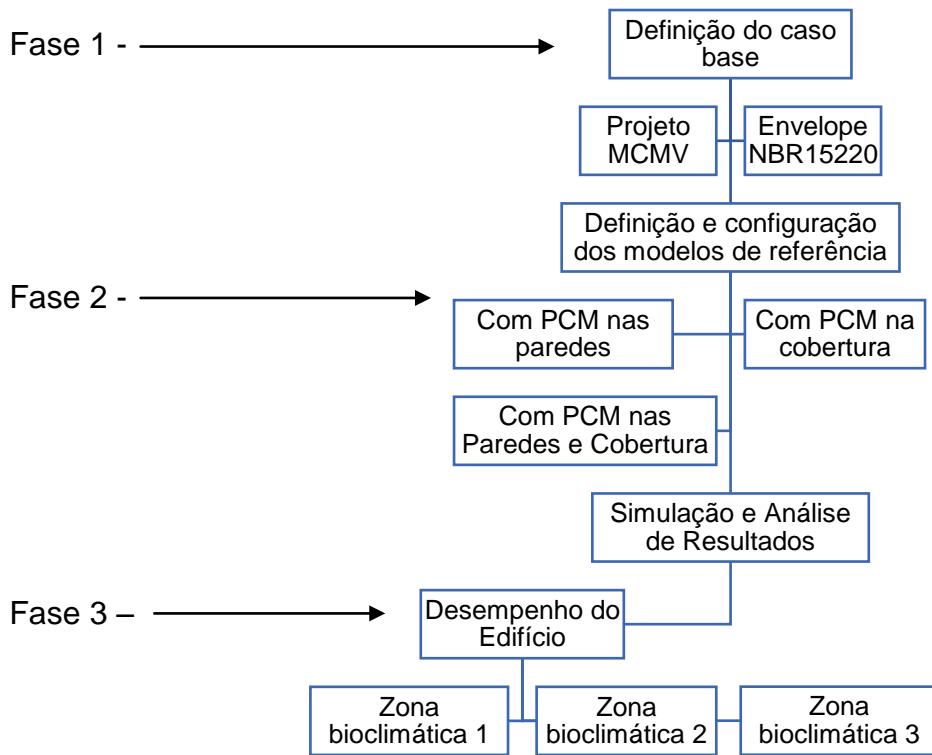
Mapa 1 – Mapa das Zonas Bioclimáticas do Brasil



4. Metodologia

A Figura 3 apresenta o fluxograma da metodologia adotada no desenvolvimento deste trabalho.

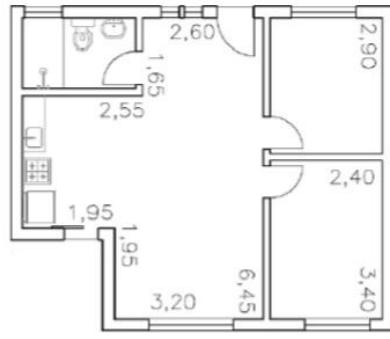
Figura 3- Fluxograma das Fases do Projeto



Fase 1: Definição do Caso Base –

Configuração de envelopes: O caso base será de acordo com Oliveira L(2014) uma casa com sala, cozinha, dois dormitórios e um banheiro, dispostos como mostra a figura 4.

Figura 4—Plante Baixa Casa HIS.



Fonte: Oliveira 2014.

Esta casa tem as configurações mínimas do programa Minha Casa Minha Vida (MCMV) e está dentro das especificações da NBR15220-3.

Os dados de transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar admissíveis da Casa de Oliveira seguem comona Tabela 1.Para ZB2 utiliza-se paredes leves e cobertura leve e isolada.

Tabela 1 - Configurações térmicas da Casa HIS Oliveira.

Vedações externas		Transmitância Térmica - U W/m ² .K	Atraso Térmico - φ Horas	Fator de Calor Solar - FCS %
Paredes	Leve	U ≤ 3,00	φ ≤ 4,3	FCS ≤ 5,0
	Leve Refletora	U ≤ 3,60	φ ≤ 4,3	FCS ≤ 4,0
	Pesada	U ≤ 2,20	φ ≥ 6,5	FCS ≤ 3,5
Coberturas	Leve Isolada	U ≤ 2,00	φ ≤ 3,3	FCS ≤ 6,5
	Leve Refletora	U ≤ 2,30.FT	φ ≤ 3,3	FCS ≤ 6,5
	Pesada	U ≤ 2,00	φ ≥ 6,5	FCS ≤ 6,5

Fonte:NBR 15220-3 (ABNT, 2005)

As paredes do caso-base são de tijolo maciço cerâmico, com reboco de 2,5cm em ambas as faces. Para a cobertura foram utilizadas telhas de fibrocimento de 6mm, câmara de ar e laje de concreto.

A Tabela 2 indica os valores calculados de fechamento vertical e horizontal da casa.

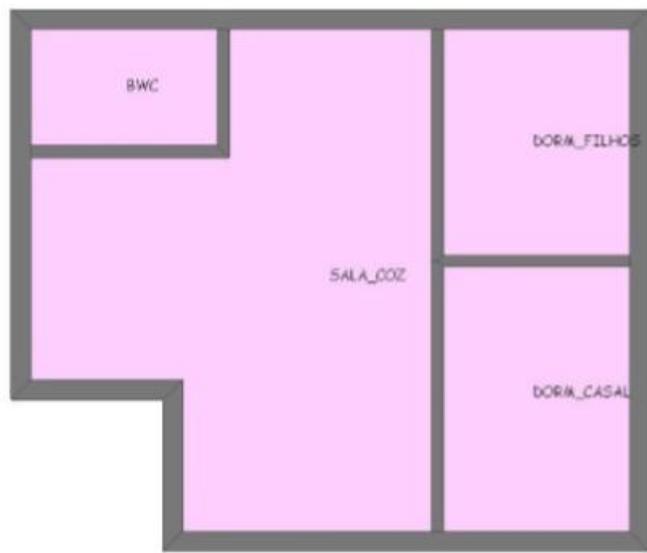
Tabela 2 - Dados de especificação da residência, calculados por Oliveira L.

Valores	Espessura	Capacidade	Densidade de	Absortância
---------	-----------	------------	--------------	-------------

calculados de Fechamento	equivalente (eeq)	térmica (CT) KJ/m ² K	massa aparente (ρ eq)	solar (α)
	cm		Kg/m ³	
Vertical	10,76	296,84	1988,44	0,417
Horizontal	12,9	347,24	2617,55	0,813

Quatro zonas térmicas foram definidas para a casa, conforme figura 5.

Figura 5 - Zonas Térmicas da casa HIS Oliveira L.



Fonte: Oliveira 2014.

O bloco superior foi ignorado por não ser habitado para definição das zonas térmicas, mas considerado nas simulações devido a sua influência nos resultados.

De acordo com Memon(2013), a espessura da camada de PCM deve ser mínima para reduzir custos e não super-dimensionar as paredes, mas máxima para ter efeito termorregulador no ambiente. Percentuais de 30% de fração volumétrica de PCM são eficientes em placas de gesso e de 20% em reboco (Kheradmand et. al. 2014). Atingir este equilíbrio pode ser desafiador, portanto testaremos três espessuras: 4mm, 6mm e 8mm, para cada PCM.

As Tabelas 3 e 4 apresentam as Taxas metabólicas para cada atividade por ambiente, e a Carga Interna de Equipamentos, respectivamente.

Tabela 3 - Taxas metabólicas para cada atividade por ambiente.

Ambiente	Atividade Realizada	Calor produzido (W/m²)	Calor produzido para área de pele = 1,80m²(W)
Sala	Sentado ou assistindo TV	60	108
Dormitórios	Dormindo ou descansando	45	81

*Fonte: INMETRO (2010)**Tabela 4 - Carga Interna de Equipamentos.*

Ambiente	Período	Potência (W/m²)
Sala	24h	1,5

Fonte: INMETRO (2010)

As configurações de uso padrão de ocupação estão conforme a NBR 15220-3 e são expressadas na Tabela 5.

Tabela 5 - Padrão de ocupação para dias de semana e finais de semana.

Hora	Dormitórios		Sala	
	Dias de	Final de	Dias de	Final de
	Semana (%)	Semana (%)	Semana (%)	Semana (%)
1h	100	100	0	0
2h	100	100	0	0
3h	100	100	0	0
4h	100	100	0	0
5h	100	100	0	0
6h	100	100	0	0
7h	100	100	0	0
8h	0	100	0	0
9h	0	100	0	0
10h	0	50	0	0
11h	0	0	0	25
12h	0	0	0	75
13h	0	0	0	0
14h	0	0	25	75
15h	0	0	25	50
16h	0	0	25	50
17h	0	0	25	50
18h	0	0	25	25
19h	0	0	100	25
20h	0	0	50	50
21h	50	50	50	50
22h	100	100	0	0
23h	100	100	0	0
24h	100	100	0	0

Fonte: INMETRO (2010)

Fase 2 – Definição e configuração dos modelos de referência
 As configurações de simulação serão:

Parâmetro 1: Tipo de PCM; RT 21 HC, RT 25 HC, RT 22 HC e RT 28 HC.

Parâmetro 2: Tipo de Cobertura; apenas paredes, apenas cobertura e paredes e cobertura.

Parâmetro 3: Ventilação Natural (para análise de conforto) ou Com Ar Condicionado (para análise de consumo).

Parâmetro 4: Espessuras do PCM: 4mm, 6mm e 8mm. Dupla e monocamada.

Parâmetro 4: Zona Bioclimática: ZB1, ZB2 e ZB3. Os arquivosclimáticos com valores de radiação solar, de umidade e temperatura, velocidade e direção do vento, dentre outros, estão de acordo com a RTQ-R (INMETRO, 2010).

Todas as variações serão comparadas com a estrutura sem PCM.

A Tabela 6 apresenta as propriedades dos PCMs testados.

Tabela 6 - Propriedades dos PCMs

Dados Importantes	RT21HC	RT22HC	RT25HC	RT28HC
Faixa de Fusão (°C)	20-23	20-23	22-26	27-29
Faixa de Congelamento (°C)	21-19	23-20	26-22	29-27
Capacidade Térmica (Kj/kg)	190	190	230	250
Calor Específico (KJ/KgK)	2	2	2	2
Densidade sólido (Kg/m ³)	880	760	880	880
Densidade líquida (Kg/m ³)	770	700	770	770

Fonte: Rubitherm™

Fase 3: Simulações e Resultados:

Simulação

Para determinar o percentual de conforto nas casas foi utilizado a temperatura horária do ano todo para as três zonas bioclimáticas tanto da área externa quanto da temperatura operativa. Tais temperaturas foram adquiridas a partir do EnergyPlus e tabeladas.

Na simulação, trinta e sete campos de entrada foram preenchidos, nove campos de saída e o campo da versão que é preenchido automaticamente de acordo com a versão do programa utilizado. A figura 6 mostra a lista de todos os campos utilizados na simulação.

Figura 6 - Todos os Campos da Simulação.

Class List
[0001] Version
[0001] SimulationControl
[0001] Building
[0001] ShadowCalculation
[0001] SurfaceConvectionAlgorithm:Inside
[0001] SurfaceConvectionAlgorithm:Outside
[0001] HeatBalanceAlgorithm
[0001] Timestep
[0001] Site:Location
[0002] SizingPeriod:DesignDay
[0001] RunPeriod
[0013] RunPeriodControl:SpecialDays
[0001] RunPeriodControl:DaylightSavingTime
[0001] Site:GroundTemperature:BuildingSurface
[0007] ScheduleTypeLimits
[0014] Schedule:Compact
[0018] Material
[0001] Material:AirGap
[0001] WindowMaterial:Glazing
[0001] WindowMaterial:Blind
[0004] MaterialProperty:PhaseChangeHysteresis
[0008] Construction
[0001] GlobalGeometryRules
[0004] Zone
[0001] ZoneList
[0029] BuildingSurface:Detailed
[0014] FenestrationSurface:Detailed
[0001] WindowProperty:ShadingControl
[0002] People
[0002] Lights
[0001] ElectricEquipment
[0001] AirflowNetwork:SimulationControl
[0004] AirflowNetwork:MultiZone:Zone
[0014] AirflowNetwork:MultiZone:Surface
[0001] AirflowNetwork:MultiZone:Component:SimpleOpening
[0001] HVACTemplate:Thermostat
[0003] HVACTemplate:Zone:PTHP
[0001] Sizing:Parameters
[0001] Output:VariableDictionary
[0001] Output:Surfaces>List
[0001] Output:Surfaces>Drawing
[0001] Output:Constructions
[0001] Output:Table:SummaryReports
[0001] Output:Table:Monthly
[0001] OutputControl:Table:Style
[0001] OutputControl:ReportingTolerances
[0002] Output:Variables

Fonte: Simulação do autor no EnergyPlus 8.9

O campo **SimulationControl**, conforme figura 7, diz quais os parâmetros de conta serão feitos, como o cálculo de zona térmica e o cálculo de dimensionamento do sistema. Se é para o programa recorrer ao arquivo climático ou pelos períodos emulados.

Figura 7 - SimulationControl

Explanation of Object and Current Field

Object Description: Note that the following 3 fields are related to the Sizing:Zone, Sizing:System, and Sizing:Plant objects. Having these fields set to Yes but no corresponding Sizing object will not cause the sizing to be done. However, having any of these fields set to No, the corresponding Sizing object is ignored. Note also, if you want to do system sizing, you must also do zone sizing in the same run or an error will result.

Field	Units	Obj1
Do Zone Sizing Calculation		Yes
Do System Sizing Calculation		Yes
Do Plant Sizing Calculation		No
Run Simulation for Sizing Periods		No
Run Simulation for Weather File Run Periods		Yes
Do HVAC Sizing Simulation for Sizing Periods		
Maximum Number of HVAC Sizing Simulation Passes		

Fonte: Simulação do autor noEnergyPlus 8.9

A Figura 8 apresenta uma imagem da janela do software de simulação, onde se indica o campo de construção. O Campo de construção é para nomear a edificação, a orientação solar, quantos aquecimentos serão feitos na casa daquele dia antes da aferição do programa e as tolerâncias de convergência de carga e temperatura.

Figura 8 - Building

Explanation of Object and Current Field

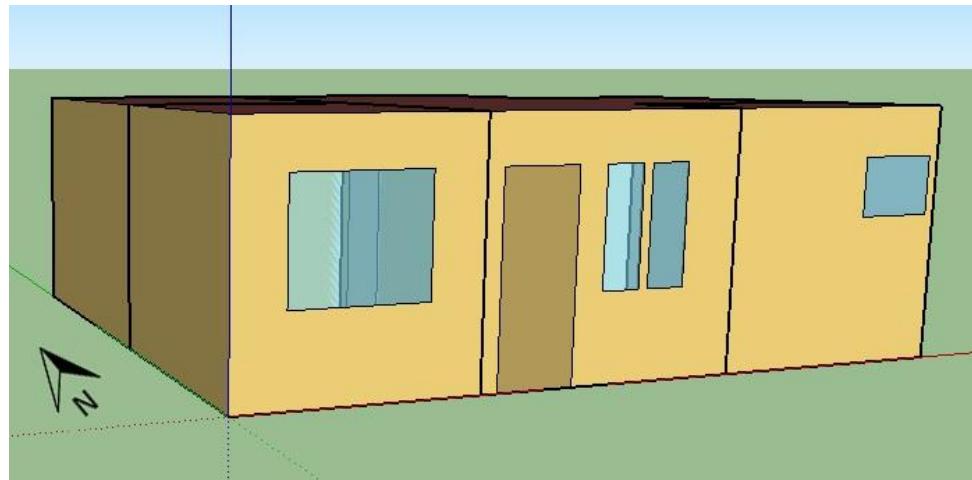
Object Description: Describes parameters that are used during the simulation of the building. There are necessary correlations between the entries for this object and some entries in the Site:WeatherStation and Site:HeightVariation objects, specifically the Terrain field.

Field Description:
ID: A1

Field	Units	Obj1
Name		HIS
North Axis	deg	0
Terrain		City
Loads Convergence Tolerance Value		0,5
Temperature Convergence Tolerance Value	deltaC	0,4
Solar Distribution		FullExteriorWithReflected
Maximum Number of Warmup Days		40
Minimum Number of Warmup Days		6

Fonte: Simulação do autor noEnergyPlus 8.9

Figura 9 - Modelo da casa no SketchUp.



Fonte: Próprio autor, Modelo da casa com orientação no SketchUp.

A Figura 9 apresenta um modelo da casa simulada. O método e a frequência de cálculo de nebulosidade e incidência solar são detalhados no campo Shadow Calculation, conforme mostra figura 10, assim como o número máximo de sobreposições de sombras.

Figura 10 - Shadow Calculation.

Explanation of Object and Current Field		
Object Description: This object is used to control details of the solar, shading, and daylighting model.		
Field Description: choose calculation method. note that TimestepFrequency is only needed for certain methods.		
ID: A1		
Select from list of choices		
Field	Units	Obj1
Calculation Method		AverageOverDays
Calculation Frequency		20
Maximum Figures in Shadow Overlap Calculations		15000
Polygon Clipping Algorithm		SutherlandHodgman
Sky Diffuse Modeling Algorithm		SimpleSkyDiffuseModel
External Shading Calculation Method		
Output External Shading Calculation Results		
Disable Self-Shading Within Shading Zone Groups		
Disable Self-Shading From Shading Zone Groups to Other Groups		
Shading Zone Group 1 ZoneList Name		
Shading Zone Group 2 ZoneList Name		
Shading Zone Group 3 ZoneList Name		
Shading Zone Group 4 ZoneList Name		
Shading Zone Group 5 ZoneList Name		
Shading Zone Group 6 ZoneList Name		

Fonte: Simulação do autor no EnergyPlus 8.9

Os campos de Algoritmo de convecção de superfície, tanto interna quanto externa foram utilizados os padrões pré-definidos pela ASHRAE (Figura 11).

Figura 11 - Surface ConvectionAlgorithm: Inside e Outside.

Explanation of Object and Current Field		
Object Description: Default indoor surface heat transfer convection algorithm to be used for all zones		
Field Description: Simple = constant value natural convection [ASHRAE] TARP = variable natural convection based on temperature difference [ASHRAE, Walton] CeilingDiffuser = ACH-based forced and mixed convection correlations for ceiling diffuser configuration with simple natural convection limit AdaptiveConvectionAlgorithm = dynamic selection of convection models based on conditions		
ID: A1 Select from list of choices		
Field	Units	Obj1
Algorithm		TARP
Explanation of Object and Current Field		
Object Description: Default outside surface heat transfer convection algorithm to be used for all zones		
Field Description: SimpleCombined = Combined radiation and convection coefficient using simple ASHRAE model TARP = correlation from models developed by ASHRAE, Walton, and Sparrow et. al. MoWiTT = correlation from measurements by Klems and Yazdanian for smooth surfaces DOE-2 = correlation from measurements by Klems and Yazdanian for rough surfaces AdaptiveConvectionAlgorithm = dynamic selection of correlations based on conditions		
ID: A1 Select from list of choices		
Field	Units	Obj1
Algorithm		DOE-2

Fonte: Simulação do autor no EnergyPlus 8.9

O campo do algoritmo de balanço térmico possui algumas opções pré-programadas para simular. Para avaliar a orientação das camadas, como forro e parede, apenas no forro e apenas na parede o algoritmo padrão CTF de funções de transferência por condução é suficiente. Contudo, ao aprofundar no estudo da simulação de PCM, foi percebido que este algoritmo não possui sensibilidade suficiente para diferenciá-los, então o algoritmo de diferenças finitas foi utilizado e mostrou as diferenças que eram esperadas. Estas diferenças ocorreram devido ao caráter discreto de avaliado primeiro (CTF) e do caráter contínuo do segundo.

Figura 12 - HeatBalanceAlgorithm.

Explanation of Object and Current Field		
Object Description: Determines which Heat Balance Algorithm will be used ie. CTF (Conduction Transfer Functions), EMPD (Effective Moisture Penetration Depth with Conduction Transfer Functions).		
Advanced/Research Usage: CondFD (Conduction Finite Difference)		
Advanced/Research Usage: ConductionFiniteDifferenceSimplified		
Advanced/Research Usage: HAMT (Combined Heat And Moisture Finite Element)		
Field	Units	Obj1
Algorithm		ConductionFiniteDifference
Surface Temperature Upper Limit	C	ConductionTransferFunction
Minimum Surface Convection Heat Transfer Coefficient	W/m ² ·K	ConductionTransferFunction
Maximum Surface Convection Heat Transfer Coefficient	W/m ² ·K	MoisturePenetrationDepthConductionTransferFunction
		ConductionFiniteDifference
		CombinedHeatAndMoistureFiniteElement
		<BLANK>

Fonte: Simulação do autor no EnergyPlus 8.9

Tempo de passo (TimeStep), Figura 13 – neste campo é definido o número de passos por hora, devendo ser sempre valores divisores de sessenta. Seis é o valor recomendado como mínimo para fins de minimizar imprecisões. De acordo com o

próprio programa para simulações em que se usa o algoritmo de conduções finitas, o mínimo de passos são doze. Usuários do fórum de simulação do EnergyPlus recomendam acima de quinze, ou até mesmo sessenta se o tempo não for um problema.

Figura 13 - Timestep

Explanation of Object and Current Field		
Object Description: Specifies the "basic" timestep for the simulation. The value entered here is also known as the Zone Timestep. This is used in the Zone Heat Balance Model calculation as the driving timestep for heat transfer and load calculations.		
Field Description: Number in hour: normal validity 4 to 60; 6 suggested Must be evenly divisible into 60 Allowable values include 1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 12, 15, 20, 30, and 60 Normal 6 is minimum as lower values may cause inaccuracies A minimum value of 20 is suggested for both ConductionFiniteDifference and		
Field	Units	Obj1
Number of Timesteps per Hour		60

Fonte: Simulação do autor no EnergyPlus 8.9

Local– Este campo, mostrado na figura 14, define a localidade na qual a simulação está sendo feita, a altitude, latitude, longitude da mesma, além do nome e fuso horário.

Figura 14 - Site:Location.

Explanation of Object and Current Field		
Object Description: Specifies the building's location. Only one location is allowed. Weather data file location, if it exists, will override this object.		
Field Description: ID: A1 Enter a alphanumeric value This field is required.		
Field	Units	Obj1
Name		PELOTAS
Latitude	deg	-31,77
Longitude	deg	-52,35
Time Zone	hr	-3
Elevation	m	9

Fonte: Simulação do autor no EnergyPlus 8.9

Período de Dimensionamento do Dia típico - Este campo mostra, conforme figura 15, os dias típicos da estação e suas características. Varia de acordo com a localidade e os atributos dos dias típicos desta localidade. No exemplo da Figura 15, estão os dias típicos de verão e de inverno de Pelotas, coletados pelo LABCEE da Universidade Federal de Pelotas, de acordo com as normas da ASHRAE.

Figura 15 - SizingPeriod: Design Day.

Explanation of Object and Current Field			
Field	Units	Obj1	Obj2
Name		Pelotas_004	Pelotas_996
Month		6	1
Day of Month		19	23
Day Type		WinterDesignDay	SummerDesignDay
Maximum Dry-Bulb Temperature	C	12,74	36,1
Daily Dry-Bulb Temperature Range	deltaC	7,96	10,35
Dry-Bulb Temperature Range Modifier Type		DefaultMultipliers	DefaultMultipliers
Dry-Bulb Temperature Range Modifier Day Schedule N.			
Humidity Condition Type		DewPoint	DewPoint
Wetbulb or DewPoint at Maximum Dry-Bulb	C	7,92	27,52
Humidity Condition Day Schedule Name			
Humidity Ratio at Maximum Dry-Bulb	kgWater/kgDryA		
Enthalpy at Maximum Dry-Bulb	J/kg		
Daily Wet-Bulb Temperature Range	deltaC		
Barometric Pressure	Pa	102993	100689
Wind Speed	m/s	6,06	3,11
Wind Direction	deg	0	90
Rain Indicator		No	No
Snow Indicator		No	No
Daylight Saving Time Indicator		No	No
Solar Model Indicator		ASHRAEClearSky	ASHRAEClearSky
Beam Solar Day Schedule Name			
Diffuse Solar Day Schedule Name			
ASHRAE Clear Sky Optical Depth for Beam Irradiance (dimensionless		
ASHRAE Clear Sky Optical Depth for Diffuse Irradiance	dimensionless		
Sky Clearness		0	1

Fonte: Simulação do autor no EnergyPlus 8.9

Período de execução— Aqui é possível dimensionar, conforme figura 16, o tempo no qual a simulação ocorrerá, pode ser um ano, um mês ou até mesmo um único dia. Neste mesmo campo é onde o programa irá definir se vai utilizar ou não horário de verão, se vai recorrer aos dias de chuva e neve presentes no arquivo climático e se a simulação irá utilizar as agendas de ocupação de dias especiais, como feriados definidos no próximo campo.

Figura 16 - RunPeriod.

Explanation of Object and Current Field		
Object Description: Specified a range of dates and other parameters for a weather file simulation. Multiple run periods may be input, but they may not overlap.		
Field Description: descriptive name (used in reporting mainly) if blank, weather file title is used. if not blank, must be unique		
ID: A1 Enter a alphanumeric value		
Field	Units	Obj1
Name		Anual
Begin Month		1
Begin Day of Month		1
End Month		12
End Day of Month		31
Day of Week for Start Day		UseWeatherFile
Use Weather File Holidays and Special Days		Yes
Use Weather File Daylight Saving Period		No
Apply Weekend Holiday Rule		Yes
Use Weather File Rain Indicators		Yes
Use Weather File Snow Indicators		Yes
Number of Times Runperiod to be Repeated		1
Increment Day of Week on repeat		No
Start Year		

Fonte: Simulação do autor noEnergyPlus 8.9

Controle do período de execução: Dias especiais– Aqui são definidos os dias especiais e quando são, como sexta feira santa na primeira sexta de abril, dia do trabalho em primeiro de maio, etc. É necessário definir estes dias na simulação, pois nas agendas o programa recorrerá, por exemplo, na sexta feira santa a ocupação da casa de um dia de feriado, e não a ocupação de uma sexta comum. Esta precisão permite aproximar da realidade a utilização da casa, especialmente com a quantidade de feriados que se tem no decorrer de um ano, conforme figura 17.

Figura 17 - RunPeriodControl: SpecialDays.

Explanation of Object and Current Field								
Object Description: This object sets up holidays/special days to be used during weather file run periods. (These are not used with SizingPeriod* objects.)								
Depending on the value in the run period, days on the weather file may also be used. However, the weather file specification will take precedence over any specification shown here. (No error message will be issued for duplicate days or overlapping days).								
Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7
Name		Conf Universal	Carnaval	Niver Cidade	Sexta-Feira Santa	Tiradentes	Dia do Trabalho	Corpus Christi
Start Date		January 1	3rd Tuesday in Febr	April 1	1st Friday in April	April 21	May 1	1st Thursday in Jun
Duration	days	1	1	1	1	1	1	1
Special Day Type		Holiday	Holiday	Holiday	Holiday	Holiday	Holiday	Holiday

Fonte: Simulação do autor noEnergyPlus 8.9

Controle do período de execução: Horário de verão– Na figura 18, é representado o campo para definir quando começa e quando termina horário de verão.

Figura 18 - RunPeriodControl: Daylightsaving time.

Explanation of Object and Current Field		
Object Description: This object sets up the daylight saving time period for any RunPeriod. Ignores any daylight saving time period on the weather file and uses this definition. These are not used with SizingPeriod:DesignDay objects. Use with SizingPeriod:WeatherFileDays object can be controlled in that object.		
Field Description: ID: A1		
Field	Units	Obj1
Start Date		2nd Sunday in March
End Date		1st Sunday in November

Fonte: Simulação do autor no EnergyPlus 8.9

Temperatura de solo local: Superfície construída– Este campo, conforme figura 19, exibe onde as temperaturas médias mensais são colocadas. Para uma aferição adequada destas temperaturas é necessário rodar um plugin do programa que pega as temperaturas do arquivo climático e as simula para um porão ou uma laje na edificação, pois, assim como a temperatura de solo influencia na construção, a construção influencia na temperatura do solo.

Figura 19– Site: GroundTemperature: Building Surface

Explanation of Object and Current Field		
Object Description: These temperatures are specifically for those surfaces that have the outside environment of "Ground". Documentation about what values these should be is located in the Auxiliary programs document (Ground Heat Transfer) as well as the Input/Output Reference.		
CAUTION - Do not use the "undisturbed" ground temperatures from the weather data. These values are too extreme for the soil under a conditioned building.		
For best results, use the Slab or Basement program to calculate custom monthly average ground temperatures (see Auxiliary Programs). For typical commercial		
Field	Units	Obj1
January Ground Temperature	C	24,14
February Ground Temperature	C	23,98
March Ground Temperature	C	22,89
April Ground Temperature	C	21,68
May Ground Temperature	C	19,9
June Ground Temperature	C	18,96
July Ground Temperature	C	19,15
August Ground Temperature	C	19,22
September Ground Temperature	C	19,74
October Ground Temperature	C	20,84
November Ground Temperature	C	22,36
December Ground Temperature	C	23,41

Fonte: Simulação do autor no EnergyPlus 8.9

Agendas: Tipos de limite– Como o nome indica, neste campo são definidos os tipos de limites das agendas, os limites inferiores e superiores e o tipo numérico, se serão discretos ou contínuos, conforme figura 20. A descrição das agendas no próximo campo irá recorrer a este quanto aos limites.

Figura 20 - Schedule TypeLimits.

Explanation of Object and Current Field								
Object Description: ScheduleTypeLimits specifies the data types and limits for the values contained in schedules								
Field Description: used to validate schedule types in various schedule objects								
ID: A1								
Enter a alphanumeric value This field is required.								
Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7
Name		Any Number	Fraction	Temperature	On/Off	Control Type	Humidity	Number
Lower Limit Value	varies		0	-60	0	0	10	
Upper Limit Value	varies		1	200	1	4	90	
Numeric Type			CONTINUOUS	CONTINUOUS	DISCRETE	DISCRETE	CONTINUOUS	
Unit Type								

Fonte: Simulação do autor no EnergyPlus 8.9

Agenda compacta, – Todas as agendas são definidas neste campo representado na figura 21. As agendas de ocupação, iluminação, tipo de atividade, equipamentário são definidas aqui. O primeiro dia sempre é o primeiro da simulação, quando anual seria o primeiro de janeiro, e é necessário especificar até quando esta agenda irá valer, então o comando through:12/31 seria até o ultimo dia do ano. O primeiro objeto é possível ver a ocupação dos quartos para dias de semana e “allotherdays” ou todos os demais dias. De acordo com os intervalos já definidos em campos anteriores seriam os dias especiais como feriados ou finais de semana. Os valores variando de 0 até 1 são conforme normas da Tabela 5. Esse é o campo no qual a simulação deixa de ser apenas uma edificação sujeita ao tempo e passa a ser considerada de fato uma habitação, na qual pessoas realizarão atividades dentro dela. Aqui são definidas as agendas de ventilação natural, como quando abrir e fechar uma janela ou de ar condicionado, quando ligar o aquecimento ou o ventilador.

Figura 21 - Schedule Compact.

Explanation of Object and Current Field								
Object Description: Irregular object. Does not follow the usual definition for fields. Fields A3... are:								
Through: Date								
For: Applicable days (ref: Schedule:Week:Compact)								
Interpolate: Average/Linear/No (ref: Schedule:Day:Interval) -- optional, if not used will be "No"								
Until: <Time> (ref: Schedule:Day:Interval)								
<numeric value>								
words "Through", "For", "Interpolate", "Until" must be included.								
Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7
Name		Occupation_rooms	Occupation_living_ro	Illumination_rooms	Illumination_living_rc	Activities_rooms	Activities_living_ro	Equipments
Schedule Type Limits Name		Fraction	Fraction	Fraction	Fraction	Any Number	Any Number	Fraction
Field 1	varies	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31
Field 2	varies	For: Weekdays	For: Weekdays	For: Weekdays	For: Weekdays	For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays
Field 3	varies	Until: 07:00	Until: 13:00	Until: 06:00	Until: 16:00	Until: 24:00	Until: 24:00	Until: 24:00
Field 4	varies	1	0	0	0	81	108	1
Field 5	varies	Until: 20:00	Until: 18:00	Until: 07:00	Until: 21:00			
Field 6	varies	0	.25	1	1			
Field 7	varies	Until: 21:00	Until: 19:00	Until: 20:00	Until: 24:00			
Field 8	varies	.5	1	0	0			
Field 9	varies	Until: 24:00	Until: 21:00	Until: 22:00		For: AllOtherDays		
Field 10	varies	1	.5	1	1	Until: 10:00		
Field 11	varies	For: AllOtherDays	Until: 24:00	Until: 24:00	0			
Field 12	varies	Until: 09:00	0	0	0	Until: 12:00		
Field 13	varies	1	For: AllOtherDays	For: AllOtherDays	1			
Field 14	varies	Until: 10:00	Until: 10:00	Until: 08:00	Until: 16:00			
Field 15	varies	.5	0	0	0			
Field 16	varies	Until: 20:00	Until: 11:00	Until: 09:00	Until: 21:00			
Field 17	varies	0	.25	1	1			
Field 18	varies	Until: 21:00	Until: 12:00	Until: 20:00	Until: 24:00			
Field 19	varies	.5	.75	0	0			
Field 20	varies	Until: 24:00	Until: 13:00	Until: 22:00				
Field 21	varies	1	0	1				
Field 22	varies		Until: 14:00	Until: 24:00				
Field 23	varies		.75	0				

Fonte: Simulação do autor noEnergyPlus 8.9

Material – Aqui são definidos e descritos todos os materiais utilizados na simulação. Para preencher este campo é necessário obter as especificações do fabricante e é um campo chave para compreender como se comportarão os fluxos térmicos da edificação. Além do nome do material que será o campo utilizado para recorrer na construção, informação como rugosidade, espessura, condutividade, densidade e calor específico permitirão que o programa simule o comportamento de cada material. Na foto da tela do programa mostrada na figura 22 é possível ver alguns dos materiais usados na simulação e seus valores. Campos como o do espaço livre entre o telhado e o forro, dos PCMs e das janelas irão ser descritos de maneira mais detalhada em outros campos, pois fogem à regra de descrição dos materiais opacos monofásicos.

Figura 22 - Material

Explanation of Object and Current Field									
Object Description: Regular materials described with full set of thermal properties									
Field Description:									
ID: A1									
Enter a alphanumeric value									
This field is required.									
Field	Units	Obj7	Obj8	Obj9	Obj10	Obj11	Obj12	Obj13	Obj14
Name		Madeira porta	Revestimento Ceram	MDF porta	Ceramica interna	Argamassa reboco i	PCM 25 HC reboco	La de rocha	Argam. reboco inf
Roughness		Smooth	MediumSmooth	Rough	MediumSmooth	Smooth	Smooth	MediumRough	Smooth
Thickness	m	0.03	0.01	0.02	0.11	0.016	0.004	0.005	0.02
Conductivity	W/m.K	0.23	1.3	0.14	1	1.15	0.2	0.045	1.15
Density	kg/m ³	600	2300	600	1800	1800	1800	200	1800
Specific Heat	J/kg.K	1340	965	2300	920	1000	1000	750	1000
Thermal Absorptance		0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Solar Absorptance		0.7	0.2	0.7	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Visible Absorptance		0.7	0.2	0.7	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

Fonte: Simulação do autor noEnergyPlus 8.9

Material: Espaço livre, Material: Vidraria e Material: Cortina– Estes três campos, como mostra a figura 23, são especificações de materiais já descritos no campo Material. Aqui dados relevantes para a simulação que não foram descritos no primeiro são detalhados, como a resistência térmica do airgap, a espessura, emissividades e refletâncias da janela e por fim os dados técnicos da persiana. Este nível altíssimo de descrição que é responsável pela aproximação ótima do comportamento da simulação e da construção real. Apesar de demorado e detalhado, é necessário preencher cada campo com rigor e atenção para não obter resultados incongruentes.

Figura 23 - Material: Air Gap, Glazing e Blind.

Explanation of Object and Current Field			Explanation of Object and Current Field		
Object Description: Air Space in Opaque Construction			Object Description: Window blind thermal properties		
Field Description: ID: A1 Enter a alphanumeric value This field is required.			Field Description: ID: A1 Enter a alphanumeric value		
Field	Units	Obj1	Field	Units	Obj1
Name		Ar ascendente maior 5	Name		Persiana com alta re
Thermal Resistance	m ² K/W	0,14	Slat Orientation		Horizontal
Explanation of Object and Current Field			Slat Width	m	0,025
Object Description: Glass material properties for Windows or Glass Doors Transmittance/Reflectance input method.			Slat Separation	m	0,01875
Field Description: ID: A1 Enter a alphanumeric value This field is required.			Slat Thickness	m	0,001
Field	Units	Obj1	Slat Angle	deg	45
Name		Clear 3mm	Slat Conductivity	W/m-K	0,9
Optical Data Type		SpectralAverage	Slat Beam Solar Transmittance		0
Window Glass Spectral Data Set Name			Front Side Slat Beam Solar Reflectance		0,8
Thickness	m	0,003	Back Side Slat Beam Solar Reflectance		0,8
Solar Transmittance at Normal Incidence		0,837	Slat Diffuse Solar Transmittance		0
Front Side Solar Reflectance at Normal Incidence		0,075	Front Side Slat Diffuse Solar Reflectance		0,8
Back Side Solar Reflectance at Normal Incidence		0,075	Back Side Slat Diffuse Solar Reflectance		0,8
Visible Transmittance at Normal Incidence		0,898	Slat Infrared Hemispherical Transmittance		0
Front Side Visible Reflectance at Normal Incidence		0,081	Front Side Slat Infrared Hemispherical Emissivity		0,9
Back Side Visible Reflectance at Normal Incidence		0,081	Back Side Slat Infrared Hemispherical Emissivity		0,9
Infrared Transmittance at Normal Incidence		0	Blind to Glass Distance	m	0,05
Front Side Infrared Hemispherical Emissivity		0,84	Blind Top Opening Multiplier		0,5
Back Side Infrared Hemispherical Emissivity		0,84	Blind Bottom Opening Multiplier		0,5
Conductivity	W/m-K	0,9	Blind Left Side Opening Multiplier		0,5
			Blind Right Side Opening Multiplier		0,5

Fonte: Simulação do autor no EnergyPlus 8.9

Propriedade do Material: Histerese de mudança de fase– Conforme figura 24, neste campo, criado na versão 8.8 do EnergyPlus, permitiu que o efeito de histerese dos materiais de mudança de fase, normalmente aplicados em envelopes, fosse simulado de maneira similar a que ocorre na realidade. Os valores de propriedades térmicas descritos no campo Material serão ignorados e substituídos pelos valores especificados neste campo por definição do programa.

Figura 24 - Material Property: PhaseChangeHysteresis.

Explanation of Object and Current Field						
Object Description: Additional properties for temperature dependent thermal conductivity and enthalpy for Phase Change Materials (PCM) with separate melting and freezing curves. HeatBalanceAlgorithm = CondFD (ConductionFiniteDifference) solution algorithm only. Constructions with this should use the detailed CondFD process. Has no effect with other HeatBalanceAlgorithm solution algorithms.						
Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	
Name		PCM 25 HC reboco	PCM 22 HC reboco	PCM 21 HC reboco	PCM 28 HC reboco	
Latent Heat during the Entire Phase Change Process	J/kg	230000	190000	190000	250000	
Liquid State Thermal Conductivity	W/m-K	0.2	0.2	0.2	0.2	
Liquid State Density	kg/m ³	770	700	770	770	
Liquid State Specific Heat	J/kg-K	2000	2000	2000	2000	
High Temperature Difference of Melting Curve	deltaC	3	2	1	1	
Peak Melting Temperature	C	25	22	21	28	
Low Temperature Difference of Melting Curve	deltaC	1	1	2	1	
Solid State Thermal Conductivity	W/m-K	0.2	0.2	0.2	0.2	
Solid State Density	kg/m ³	880	760	880	880	
Solid State Specific Heat	J/kg-K	2000	2000	2000	2000	
High Temperature Difference of Freezing Curve	deltaC	3	2	2	0.1	
Peak Freezing Temperature	C	25	22	21	27	
Low Temperature Difference of Freezing Curve	deltaC	1	1	0.1	2	

Fonte: Simulação do autor no EnergyPlus 8.9

Construção— As camadas de cada estrutura na simulação são definidas, sempre de fora para dentro. O programa possui uma limitação de até dez camadas para cada objeto. Todas as camadas devem ter sido descritas em algum campo de material para que a simulação seja feita. Na figura 25 alguns dos elementos construídos são mostrados.

Figura 25 - Construction.

Explanation of Object and Current Field						
Object Description: Start with outside layer and work your way to the inside layer. Up to 10 layers total, 8 for windows. Enter the material name for each layer						
Field Description:						
Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5
Name		Exterior Floor	Exterior Wall	Interior Wall	Exterior Roof	Exterior Window
Outside Layer		Radier concreto	Argamassa reboco e	Argamassa reboco i	Telha fibrocimento	Exterior Door
Layer 2		Argamassa piso	Ceramica equivalen	Ceramica interna	Ar ascendente maio	Clear 3mm
Layer 3		Revestimento Cerar	Argamassa reboco e	Argamassa reboco i	La de rocha	Madeira porta
Layer 4					Radier concreto	
Layer 5					Argam COM	
Layer 6					PCM 25 HC reboco	
Layer 7						
Layer 8						
Layer 9						
Layer 10						

Fonte: Simulação do autor no EnergyPlus 8.9

Regras de Geometria global— Este campo, representado na figura 26, define onde será o vértice principal da casa de qual todos os outros serão referenciados. Qual sentido de rotação de cada parede e qual o sistema de coordenadas. Este campo é preenchido com o auxílio da ferramenta de modelagem da casa no SketchUp.

Figura 26 - Global GeometryRules.

Explanation of Object and Current Field		
Object Description: Specifies the geometric rules used to describe the input of surface vertices and daylighting reference points.		
Field Description: Specified as entry for a 4 sided surface/rectangle Surfaces are specified as viewed from outside the surface Shading surfaces as viewed from behind. (towards what they are shading) ID: A1		
Select from list of choices		
Field	Units	Obj1
Starting Vertex Position		UpperLeftCorner
Vertex Entry Direction		Counterclockwise
Coordinate System		Relative
Daylighting Reference Point Coordinate System		
Rectangular Surface Coordinate System		

Fonte: Simulação do autor noEnergyPlus 8.9

Zona, figura 27 – Aqui são definidas as zonas térmicas da edificação, como nome, orientação do eixo de origem da zona e se elas se repetem, quando for o caso.

Figura 27 - Zone

Explanation of Object and Current Field		
Object Description: Defines a thermal zone of the building.		
Field Description: ID: A1 Enter a alphanumeric value This field is required.		
Field	Units	Obj1
Name		DORM_2
Direction of Relative North	deg	0
X Origin	m	0
Y Origin	m	0
Z Origin	m	0
Type		
Multiplier		1
Ceiling Height	m	1
Volume	m3	1
Floor Area	m2	1
Zone Inside Convection Algorithm		
Zone Outside Convection Algorithm		
Part of Total Floor Area		

Fonte: Simulação do autor noEnergyPlus 8.9

Lista de Zonas – Este campo, mostrado na figura 28, define alguma lista para zonas que formam algum grupo de zona térmica. Aqui os Dorm_1 e Dorm_2 passam a poder ser referenciados como Dormitórios caso seja necessário, por exemplo, uma variável de saída para ambos os quartos.

Figura 28 - Zone List

Explanation of Object and Current Field		
Field	Units	Obj1
Name		DORMITORIOS
Zone 1 Name		DORM_1
Zone 2 Name		DORM_2
Zone 3 Name		
Zone 4 Name		
Zone 5 Name		

Fonte: Simulação do autor no EnergyPlus 8.9

Superfície de construção detalhada – Aqui cada parede é detalhada contendo sua origem no eixo da zona térmica da qual faz parte, qual a fronteira externa da superfície, suas dimensões e exposição ao vento. Também é associada ao programa de modelagem conforme figura 29.

Figura 29 - Building Surface: Detailed

Explanation of Object and Current Field									
Field Description:									
ID: A1									
Enter a alphanumeric value									
This field is required.									
Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8
Surface Type		Floor	Wall	Roof	Wall	Wall	Wall	Floor	Wall
Construction Name		Exterior Floor	Interior Wall	Exterior Roof	Exterior Wall	Interior Wall	Exterior Wall	Exterior Floor	Interior Wall
Zone Name		DORM_2	DORM_2	DORM_2	DORM_2	DORM_2	DORM_2	DORM_1	DORM_1
Outside Boundary Condition		Ground	Surface	Outdoors	Outdoors	Surface	Outdoors	Ground	Surface
Outside Boundary Condition Object		7EC012				63F75F			41BF37
Sun Exposure		NoSun	NoSun	SunExposed	SunExposed	NoSun	SunExposed	NoSun	NoSun
Wind Exposure		NoWind	NoWind	WindExposed	WindExposed	NoWind	WindExposed	NoWind	NoWind
View Factor to Ground									
Number of Vertices		4	4	4	4	4	4	4	4
Vertex 1 X-coordinate	m	2,475	2,475	0	0	2,475	0	2,475	0
Vertex 1 Y-coordinate	m	2,975	0	2,975	2,975	2,975	0	6,45	2,975
Vertex 1 Z-coordinate	m	0	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	0	2,6
Vertex 2 X-coordinate	m	2,475	2,475	0	0	2,475	0	2,475	0
Vertex 2 Y-coordinate	m	0	0	0	2,975	2,975	0	2,975	2,975
Vertex 2 Z-coordinate	m	0	0	2,6	0	0	0	0	0
Vertex 3 X-coordinate	m	0	2,475	2,475	0	0	2,475	0	2,475
Vertex 3 Y-coordinate	m	0	2,975	0	0	2,975	0	2,975	2,975
Vertex 3 Z-coordinate	m	0	0	2,6	0	0	0	0	0
Vertex 4 X-coordinate	m	0	2,475	2,475	0	0	2,475	0	2,475
Vertex 4 Y-coordinate	m	2,975	2,975	2,975	0	2,975	0	6,45	2,975
Vertex 4 Z-coordinate	m	0	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	0	2,6
Vertex 5 X-coordinate	m								

Fonte: Simulação do autor no EnergyPlus 8.9

Detalhamento das Aberturas das Superfícies – Aqui todas as portas e janelas externas e internas são detalhadas quanto as suas coordenadas e dimensões nos três eixos ordenados. Conforme figura 30.

Figura 30 - Fenestration Surface: Detailed.

Explanation of Object and Current Field					
Object Description: Allows for detailed entry of subsurfaces (windows, doors, glass doors, tubular daylighting devices).					
Field Description: ID: A1					
Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4
Name		2F03CB	CC69F4	424CA3	B261C5
Surface Type		Door	Door	Door	Door
Construction Name		Interior Door	Interior Door	Interior Door	Interior Door
Building Surface Name		A64F26	B9EB87	3A6265	F4C39D
Outside Boundary Condition Object		2C6BE9	4EB847	B261C5	424CA3
View Factor to Ground					
Shading Control Name					
Frame and Divider Name					
Multiplier					
Number of Vertices		4	4	4	4
Vertex 1 X-coordinate	m	2,475	2,475	5,225	5,225
Vertex 1 Y-coordinate	m	2,1	3,25	1,4	0,7
Vertex 1 Z-coordinate	m	2,1	2,1	2,1	2,1
Vertex 2 X-coordinate	m	2,475	2,475	5,225	5,225
Vertex 2 Y-coordinate	m	2,1	3,25	1,4	0,7
Vertex 2 Z-coordinate	m	0	0	0	0
Vertex 3 X-coordinate	m	2,475	2,475	5,225	5,225
Vertex 3 Y-coordinate	m	2,8	3,95	0,7	1,4
Vertex 3 Z-coordinate	m	0	0	0	0
Vertex 4 X-coordinate	m	2,475	2,475	5,225	5,225
Vertex 4 Y-coordinate	m	2,8	3,95	0,7	1,4
Vertex 4 Z-coordinate	m	2,1	2,1	2,1	2,1

Fonte: Simulação do autor no EnergyPlus 8.9

Propriedade de Janela: Controle de sombreamento – Neste campo são detalhados, quando existem, os objetos de sombreamento da casa, conforme figura 31. Para esta simulação, é uma persiana de janela externa no qual o sombreamento é de acordo com a agenda de sombreamento pré-definida no campo de agendas. O comportamento de fechar ou abrir as persianas no decorrer do ano influenciará significativamente no desempenho do quarto no qual a persiana é utilizada.

Figura 31 - WindowProperty: ShadingControl.

Explanation of Object and Current Field		
Object Description: Specifies the type, location, and controls for window shades, window blinds, and switchable glazing. Referenced by the surface objects for exterior windows and glass doors (ref: FenestrationSurface:Detailed, Window, and GlazedDoor).		
Field Description: Referenced by surfaces that are exterior windows Not used by interzone windows		
Field	Units	Obj1
Name		Persianas
Shading Type		ExteriorBlind
Construction with Shading Name		Shaded construction
Shading Control Type		OnlyScheduleAllows
Schedule Name		Window Shading
Setpoint	W/m ² , W or deg	
Shading Control Is Scheduled		Yes
Glare Control Is Active		No
Shading Device Material Name		
Type of Slat Angle Control for Blinds		FixedSlatAngle
Slat Angle Schedule Name		
Setpoint 2	W/m ² or deg C	

Fonte: Simulação do autor noEnergyPlus 8.9

Pessoas– Aqui, conforme figura 32, é definido o comportamento do usuário dentro da casa, juntamente com as agendas de ocupação, este campo define aspectos como método de cálculo de isolamento das roupas, nível de atividade dentro da zona térmica, taxa de geração de dióxido de carbono e número de pessoas utilizando as zonas térmicas.

Figura 32 - People.

Explanation of Object and Current Field			
Object Description: Sets internal gains and contaminant rates for occupants in the zone. If you use a ZoneList in the Zone or ZoneList name field then this definition applies to all the zones in the ZoneList.			
Field Description:			
Field	Units	Obj1	Obj2
Name		use_room	use_living_room
Zone or ZoneList Name		DORMITORIOS	ESTAR_COZ
Number of People Schedule Name		Occupation_rooms	Occupation_living_room
Number of People Calculation Method		People	People
Number of People		2	4
People per Zone Floor Area	person/m ²		
Zone Floor Area per Person	m ² /person		
Fraction Radiant		0,5	0,5
Sensible Heat Fraction		autocalculate	autocalculate
Activity Level Schedule Name		Activities_rooms	Activities_living_rooms
Carbon Dioxide Generation Rate	m ³ /s·W	0,0000000382	0,0000000382
Enable ASHRAE 55 Comfort Warnings		No	No
Mean Radiant Temperature Calculation Type		ZoneAveraged	ZoneAveraged
Surface Name/Angle Factor List Name			
Work Efficiency Schedule Name			
Clothing Insulation Calculation Method		ClothingInsulationSch	ClothingInsulationSched
Clothing Insulation Calculation Method Schedule Name			

Fonte: Simulação do autor noEnergyPlus 8.9

Iluminação, figura 33 – Neste campo é definido como serão medidas e as especificações de iluminação das zonas ou lista de zonas, quanto da energia da luz será transmitida para o ambiente em visível, radiante ou rebatida.

Figura 33 - Lights.

Explanation of Object and Current Field			
Object Description: Sets internal gains for lights in the zone.			
If you use a ZoneList in the Zone or ZoneList name field then this definition applies to all the zones in the ZoneList.			
Field Description:			
Field	Units	Obj1	Obj2
Name		Ilumination_rooms	Ilumination_living_r
Zone or ZoneList Name		DORMITORIOS	ESTAR_COZ
Schedule Name		Ilumination_rooms	Ilumination_living_r
Design Level Calculation Method		Watts/Area	Watts/Area
Lighting Level	W		
Watts per Zone Floor Area	W/m ²	5	6
Watts per Person	W/person		
Return Air Fraction		0	0
Fraction Radiant		0,72	0,72
Fraction Visible		0,18	0,18
Fraction Replaceable		0	0
End-Use Subcategory		General	General
Return Air Fraction Calculated from Plenum Temperature		No	No
Return Air Fraction Function of Plenum Temperature Co			
Return Air Fraction Function of Plenum Temperature Co	1/K		
Return Air Heat Gain Node Name			

Fonte: Simulação do autor no EnergyPlus 8.9

Equipamentos elétricos– Aqui é definida a quantidade de energia que os equipamentos cedem ao ambiente por m² e qual o percentual desta energia é radiante, latente ou perdida, conforme mostrado na figura 34.

Figura 34 - Eletric Equipment.

Explanation of Object and Current Field			
Object Description: Sets internal gains for electric equipment in the zone.			
If you use a ZoneList in the Zone or ZoneList name field then this definition applies to all the zones in the ZoneList.			
Field Description:			
Field	Units	Obj1	Obj2
Name		Equipments	
Zone or ZoneList Name		ESTAR_COZ	
Schedule Name		Equipments	
Design Level Calculation Method		Watts/Area	
Design Level	W		
Watts per Zone Floor Area	W/m ²	1,5	
Watts per Person	W/person		
Fraction Latent		0	
Fraction Radiant		0,25	
Fraction Lost		0	
End-Use Subcategory		General	

Fonte: Simulação do autor no EnergyPlus 8.9

Rede de fluxo de ar: Controle de simulação, representado pela figura 35 – Este campo é preenchido de acordo com as normas da RTQ-R sobre o controle da simulação sobre o fluxo de ar dentro da edificação.

Figura 35 - Airflow Network: SimulationControl.

Explanation of Object and Current Field		
Object Description: This object defines the global parameters used in an Airflow Network simulation.		
Field Description: Enter a unique name for this object.		
ID: A1 Enter a alphanumeric value This field is required.		
Field	Units	Obj1
Name		RTQ-R
AirflowNetwork Control		MultizoneWithoutDistribution
Wind Pressure Coefficient Type		SurfaceAverageCalculation
Height Selection for Local Wind Pressure Calculation		OpeningHeight
Building Type		LowRise
Maximum Number of Iterations	dimensionless	500
Initialization Type		ZeroNodePressures
Relative Airflow Convergence Tolerance	dimensionless	0,0001
Absolute Airflow Convergence Tolerance	kg/s	0,000001
Convergence Acceleration Limit	dimensionless	-0,5
Azimuth Angle of Long Axis of Building	deg	0
Ratio of Building Width Along Short Axis to Width Along		0,84
Height Dependence of External Node Temperature		No
Solver		

Fonte: Simulação do autor noEnergyPlus 8.9

Rede de fluxo de ar: Multizonas: Zonas, Superfície e Abertura Simples, representados pelas figuras 36, 37 e 38 – Contém os detalhamentos por zona, superfície e tipo de abertura para detalhamento do fluxo de ar da casa de acordo com as normas da RTQ-R e valores padrão do programa.

Figura 36 - Airflow Network: Multi Zone: Zone.

Explanation of Object and Current Field		
Object Description: This object specifies the properties of air flow through windows and doors (window, door and glass door heat transfer subsurfaces) when they are closed or open.		
Field Description: Enter a unique name for this object.		
ID: A1 Enter a alphanumeric value		
Field	Units	Obj1
Name		RTQR_infiltracao
Air Mass Flow Coefficient When Opening is Closed	kg/s-m	0,001
Air Mass Flow Exponent When Opening is Closed	dimensionless	0,65
Minimum Density Difference for Two-Way Flow	kg/m3	0,0001
Discharge Coefficient	dimensionless	0,6

Fonte: Simulação do autor noEnergyPlus 8.9

Figura 37 - Airflow Network: Multi Zone: Surface.

Explanation of Object and Current Field				
Object Description: This object specifies the properties of a surface linkage through which air flows.				
Airflow Report: Node 1 as an inside face zone; Node 2 as an outside face zone or external node.				
Field Description: Enter the name of a heat transfer surface.				
ID: A1 Select from list of objects				
Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Surface Name		F6181B	CC69F4	B567BD
Leakage Component Name		RTQR_infiltracao	RTQR_infiltracao	RTQR_infiltracao
External Node Name				
Window/Door Opening Factor, or Crack Factor	dimensionless	1	1	1
Ventilation Control Mode		Temperature	Temperature	Temperature
Ventilation Control Zone Temperature Setpoint Schedule Name		VN_20	VN_20	VN_20
Minimum Venting Open Factor	dimensionless			
Indoor and Outdoor Temperature Difference Lower Limit For Maximum Venting Open Factor	deltaC			
Indoor and Outdoor Temperature Difference Upper Limit for Minimum Venting Open Factor	deltaC	100	100	100
Indoor and Outdoor Enthalpy Difference Lower Limit For Maximum Venting Open Factor	deltaJ/kg			
Indoor and Outdoor Enthalpy Difference Upper Limit for Minimum Venting Open Factor	deltaJ/kg	300000	300000	300000
Venting Availability Schedule Name		Natural_ventilation	Natural_ventilation	Natural_ventilation
Occupant Ventilation Control Name				
Equivalent Rectangle Method				
Equivalent Rectangle Aspect Ratio	dimensionless			

Fonte: Simulação do autor noEnergyPlus 8.9

Figura 38 - Airflow Network: Multi Zone: Component: SimpleOpening.

Explanation of Object and Current Field		
Object Description: This object specifies the properties of air flow through windows and doors (window, door and glass door heat transfer subsurfaces) when they are closed or open.		
Field Description: Enter a unique name for this object.		
ID: A1 Enter a alphanumeric value		
Field	Units	Obj1
Name		RTQR_infiltracao
Air Mass Flow Coefficient When Opening is Closed	kg/s-m	0,001
Air Mass Flow Exponent When Opening is Closed	dimensionless	0,65
Minimum Density Difference for Two-Way Flow	kg/m3	0,0001
Discharge Coefficient	dimensionless	0,6

Fonte: Simulação do autor noEnergyPlus 8.9

Modelo HVAC: Termostato, representado na figura 39 – Define em qual temperatura ligará o aquecimento e o resfriamento do ar condicionado da casa.

Figura 39 - HVAC Template: Thermostat.

Explanation of Object and Current Field		
Object Description: Zone thermostat control. Referenced schedules must be defined elsewhere in the idf. Thermostat control type is dual setpoint with deadband. It is not necessary to create a thermostat object for every zone, only for each unique set of setpoint schedules. For example, an office building may have two thermostat objects, one for "Office" and one		
Field	Units	Obj1
Name		Thermostat_AC
Heating Setpoint Schedule Name		
Constant Heating Setpoint	C	22
Cooling Setpoint Schedule Name		
Constant Cooling Setpoint	C	24

Fonte: Simulação do autor noEnergyPlus 8.9

Modelo HVAC Zonas Térmicas: PTHP–Packaged Terminal HeatPump é o modelo mais energeticamente eficiente de condicionamento de ar de uma residência. Neste campo, mostrado na figura 40, ocorre o detalhamento por zonas, por agenda de ocupação e por volume.

Figura 40 - HVAC Template: Zone: PTHP.

Explanation of Object and Current Field					
Object Description: Packaged Terminal Heat Pump					
Field Description: Zone name must match a building zone name					
ID: A1					
Select from list of objects					
This field is required.					
Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	
Zone Name		ESTAR_COZ	DORM_1	DORM_2	
Template Thermostat Name		Thermostat_AC	Thermostat_AC	Thermostat_AC	
Cooling Supply Air Flow Rate	m ³ /s	autosize	autosize	autosize	
Heating Supply Air Flow Rate	m ³ /s	autosize	autosize	autosize	
No Load Supply Air Flow Rate	m ³ /s				
Zone Heating Sizing Factor					
Zone Cooling Sizing Factor					
Outdoor Air Method		Flow/Person	Flow/Person	Flow/Person	
Outdoor Air Flow Rate per Person	m ³ /s	0,0075	0,0075	0,0075	
Outdoor Air Flow Rate per Zone Floor Area	m ³ /s·m ²				
Outdoor Air Flow Rate per Zone	m ³ /s				
System Availability Schedule Name		Air_conditioning	Air_conditioning	Air_conditioning	
Supply Fan Operating Mode Schedule Name		Always Off	Always Off	Always Off	
Supply Fan Placement		DrawThrough	DrawThrough	DrawThrough	
Supply Fan Total Efficiency		0,7	0,7	0,7	
Supply Fan Delta Pressure	Pa	75	75	75	
Supply Fan Motor Efficiency		0,9	0,9	0,9	
Cooling Coil Type		SingleSpeedDX	SingleSpeedDX	SingleSpeedDX	
Cooling Coil Availability Schedule Name		Air_conditioning	Air_conditioning	Air_conditioning	
Cooling Coil Gross Rated Total Capacity	W	autosize	autosize	autosize	
Cooling Coil Gross Rated Sensible Heat Ratio		autosize	autosize	autosize	
Cooling Coil Gross Rated COP	W/W	3	3	3	
Heat Pump Heating Coil Type		SingleSpeedDXHeat	SingleSpeedDXHeat	SingleSpeedDXHeat	
Heat Pump Heating Coil Availability Schedule Name		Air_conditioning	Air_conditioning	Air_conditioning	
Heat Pump Heating Coil Gross Rated Capacity	W	autosize	autosize	autosize	
Heat Pump Heating Coil Gross Rated COP	W/W	2,75	2,75	2,75	
Heat Pump Heating Minimum Outdoor Dry-Bulb Temper	C	-8	-8	-8	
Heat Pump Defrost Maximum Outdoor Dry-Bulb Temper	C	5	5	5	
Heat Pump Defrost Strategy		ReverseCycle	ReverseCycle	ReverseCycle	
Heat Pump Defrost Control		Timed	Timed	Timed	
Heat Pump Defrost Time Period Fraction		0,058333	0,058333	0,058333	
Supplemental Heating Coil Type		Electric	Electric	Electric	
Supplemental Heating Coil Availability Schedule Name		Air_conditioning	Air_conditioning	Air_conditioning	
Supplemental Heating Coil Capacity	W	autosize	autosize	autosize	
Supplemental Heating Coil Maximum Outdoor Dry-Bulb	C	21	21	21	
Supplemental Gas Heating Coil Efficiency		0,8	0,8	0,8	
Supplemental Gas Heating Coil Parasitic Electric Load	W				
Dedicated Outdoor Air System Name					
Zone Cooling Design Supply Air Temperature Input Met		SupplyAirTemperat	SupplyAirTemperat	SupplyAirTemperat	
Zone Cooling Design Supply Air Temperature	C	14	14	14	
Zone Cooling Design Supply Air Temperature Difference	deltaC	11,11	11,11	11,11	
Zone Heating Design Supply Air Temperature Input Met		SupplyAirTemperat	SupplyAirTemperat	SupplyAirTemperat	
Zone Heating Design Supply Air Temperature	C	50	50	50	
Zone Heating Design Supply Air Temperature Difference	deltaC	30	30	30	
Design Specification Outdoor Air Object Name					
Design Specification Zone Air Distribution Object Name					
Baseboard Heating Type		None	None	None	
Baseboard Heating Availability Schedule Name					
Baseboard Heating Capacity	W	autosize	autosize	autosize	

Fonte: Simulação do autor no EnergyPlus 8.9

O campo exibido na Figura 41 define a relação de carga de aquecimento e resfriamento por zona e taxa de fluxo de ar. O valor padrão é de 1.

Figura 41 - Sizing: Parameters.

Explanation of Object and Current Field		
Object Description: Specifies global heating and cooling sizing factors/ratios. These ratios are applied at the zone level to all of the zone heating and cooling loads and air flow rates. Then these new loads and air flow rates are used to calculate the system level flow rates and capacities and are used in all component sizing calculations. Specifies the width (in load timesteps) of a moving average window which is used to smooth the peak load across more than one timestep.		
Field	Units	Obj1
Heating Sizing Factor		1
Cooling Sizing Factor		1
Timesteps in Averaging Window		

Fonte: Simulação do autor noEnergyPlus 8.9

A partir deste campo começam as especificações de variável de saída ou Outputs. Os campos representados na Figura 42 representam o tipo de listagem das superfícies e como são desenhadas. Listagem de detalhes e triângulos de face tridimensional.

Figura 42 - Output: Surfaces: List e Drawing.

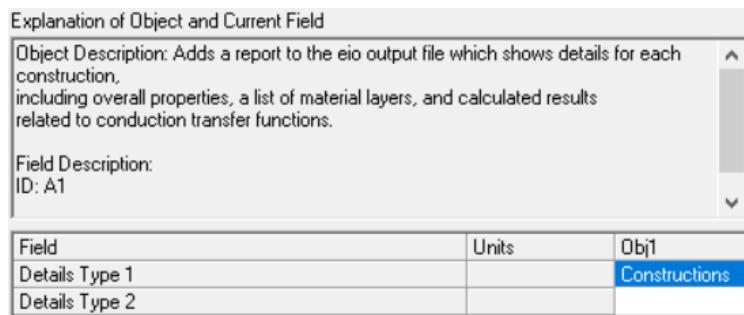
Explanation of Object and Current Field		
Object Description: Produces a report summarizing the details of surfaces in the eio output file.		
Field Description: ID: A1 Select from list of choices This field is required.		
Field	Units	Obj1
Report Type		Details
Report Specifications		

Explanation of Object and Current Field		
Object Description: Produces reports/files that are capable of rendering graphically or being imported into other programs. Rendering does not alter the actual inputs/surfaces.		
Field Description: ID: A1 Select from list of choices		
Field	Units	Obj1
Report Type		DXF
Report Specifications 1		Triangulate3DFace
Report Specifications 2		

Fonte: Simulação do autor noEnergyPlus 8.9

Campo de Definição de saída de construções – Define se as variáveis de saídas serão recorrentes às construções ou aos materiais, conforme figura 43.

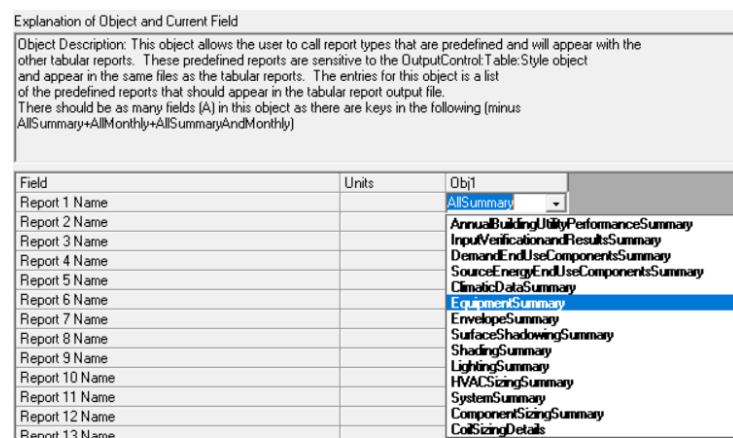
Figura 43 - Output: Constructions.



Fonte: Simulação do autor noEnergyPlus 8.9

Tabela de saída: Relatórios Resumidos – Este campo, conforme figura 44, é para especificar algum sumário, como algum dado mensal, anual, de equipamentos, superfícies ou envelopes, dentre outros. Allsummary é a opção que não especifica, deixando para a variável de saída ou outro campo definir.

Figura 44 - Output: Table: SummaryReports.



Fonte: Simulação do autor noEnergyPlus 8.9

Tabela de saída: Mensalmente –Neste campo, representado pela figura 45, são definidas as tabelas de valores mensais. No exemplo é pedido o consumo de energia mensal, com duas casas depois dos valores decimais. Ainda no campo de energia mensal são postos os valores de energia com ventilação, aquecimento e resfriamento podendo ser requerida a soma ou a média do mês.

Figura 45 - Output: Table: Monthly.

Explanation of Object and Current Field

Object Description: Provides a generic method of setting up tables of monthly results. The report has multiple columns that are each defined using a repeated group of fields for any number of columns. A single Output:Table:Monthly object often produces multiple tables in the output. A table is produced for every instance of a particular output variable. For example, a table defined with zone variables will be produced once for every zone.

Field	Units	Obj1
Name		Monthly energy consumption
Digits After Decimal		2
Variable or Meter 1 Name		Fans:Electricity
Aggregation Type for Variable or Meter 1		SumOrAverage
Variable or Meter 2 Name		Cooling Coil Electric Energy
Aggregation Type for Variable or Meter 2		SumOrAverage
Variable or Meter 3 Name		Heating Coil Electric Energy
Aggregation Type for Variable or Meter 3		SumOrAverage

Fonte: Simulação do autor noEnergyPlus 8.9

Controle de saída: Estilo de tabelas – Conforme figura 46, neste campo foram definidos como serão as tabelas. Separados por vírgula e HTML. Converter Joules para Watt/hora

Figura 46 - Output Control: Table: Style

Explanation of Object and Current Field

Object Description: default style for the OutputControl:Table:Style is comma -- this works well for importing into spreadsheet programs such as Excel(tm) but not so well for word processing programs - there tab may be a better choice. fixed puts spaces between the "columns". HTML produces tables in HTML. XML produces an XML file. note - if no OutputControl:Table:Style is included, the defaults are comma and None.

Field	Units	Obj1
Column Separator		CommaAndHTML
Unit Conversion		JtoKWH

Fonte: Simulação do autor noEnergyPlus 8.9

Controle de Saída: Tolerâncias – Neste campo, conforme figura 47, são definidas as tolerâncias de variação de temperatura. Nesta simulação, 0,2 por padrão do programa.

Figura 47 - Output Control: ReportingTolerances.

Explanation of Object and Current Field

Object Description: Calculations of the time that setpoints are not met use a tolerance of 0.2C. This object allows changing the tolerance used to determine when setpoints are being met.

Field Description: If the zone temperature is below the heating setpoint by more than this value, the following output variables will increment as appropriate Zone Heating Setpoint Not Met Time Zone Heating Setpoint Not Met While Occupied Time This also impacts table report "Annual Building Utility Performance Summary" subtable "Comfort and Setpoint Not Met Summary" ID: N1

Field	Units	Obj1
Tolerance for Time Heating Setpoint Not Met	deltaC	0,2
Tolerance for Time Cooling Setpoint Not Met	deltaC	0,2

Fonte: Simulação do autor noEnergyPlus 8.9

Variáveis de Saída – Finalmente, neste campo são definidas quais variáveis o programa irá buscar na simulação para exibi-las em formato de tabela do Excel ou como arquivo HTML. Na simulação foram pedidas as temperaturas das zonas operativas e do lado de fora da edificação. O Asterisco significa que nenhuma está sendo especificada, então todas as disponíveis sairão no relatório final. Representado na figura 48.

Figura 48 - Output: Variable.

Explanation of Object and Current Field			
Object Description: each Output:Variable command picks variables to be put onto the standard output file (.eso) some variables may not be reported for every simulation.			
a list of variables that can be reported are available after a run on the report dictionary file (.rdd) if the Output:VariableDictionary has been requested.			
Field Description: use '*' (without quotes) to apply this variable to all keys			
ID: A1			
Enter a alphanumeric value			
Field	Units	Obj1	Obj2
Key Value		*	*
Variable Name		Zone Operative Ter	Site Outdoor Air Dry
Reporting Frequency	Hourly	Hourly	
Schedule Name			

Fonte: Simulação do autor no EnergyPlus 8.9

5.Resultados e Discussão

Na primeira etapa de resultados foram avaliados os índices de conforto anual conforme a tabela de oitenta porcento adaptativo da ASHRAE de cada zona térmica da casa: Dormitório 1, Dormitório 2, Sala de Estar e Banheiro em suas horas ocupadas sem PCM, em cada zona bioclimática. A espessura de PCM utilizada foi a de 4 mm de camada simples por se tratar da configuração mais econômica, que utiliza menos PCM e de estar sendo aplicada a uma casa do tipo HIS.

Tabela 7 - Percentual de conforto de cada Comodo.

CÔMODO	DORM 1			DORM 2		
	STATUS	COLD	HOT	CONF	COLD	HOT
ZB1	46,33%	0%	53,67%	52,18%	0%	47,82%
ZB2	45,35%	0,14%	54,51%	48,31%	0,1%	51,58%
ZB3	25,01%	1,46%	73,53%	29,26%	1,36%	69,38%
SALA DE						
CÔMODO	ESTAR/COZINHA			BANHEIRO		
	STATUS	COLD	HOT	CONF	COLD	HOT
ZB1	46,64%	0,07%	53,29%	58,52%	0%	41,48%
ZB2	44,55%	0,38%	55,07%	51,03%	0,14%	48,33%
ZB3	26,58%	2,51%	70,92%	33,89%	1,15%	64,96%

Para fins de comparação um valor de conforto proporcional foi gerado respeitando as proporções de cada cômodo na área construída total da casa, conforme Tabela 8:

Tabela 8 - Percentual em área de cada cômodo.

	AREA m ²	%AREA
DORM 1	8,6	18,75%
DORM 2	7,36	16,05%
SALA/COZ	26	56,70%
BANHEIRO	3,9	8,50%
TOTAL	45,86	100%

5.1 Resultados de Conforto

Aplicando a regra de proporção da Tabela 8 na Tabela 7 obteve-se a Tabela 9 para valores de conforto da residência sem PCM:

Tabela 9 - Percentuais de conforto da casa em cada Zona Bioclimática.

CONFORTO PROPORCIONAL

ZB	COLD	HOT	CONF
ZB1	48,48%	0,04%	51,48%
ZB2	45,85%	0,27%	53,87%
ZB3	27,34%	2,01%	70,66%

Com os índices de controle disponíveis foram testadas configurações de PCM no teto, na parede e em ambos para aferir se houve melhora ou não no desempenho térmico da casa. Resultados podem ser visualizados nas Tabelas 10, 11 e 12.

Tabela 10 - Índices de conforto proporcional na ZB1.

CONFORTO PROPORCIONAL

ZB1	COLD	HOT	CONF
SPCM	48,48%	0,04%	51,48%
PAREDE	47,87%	0,04%	52,09%
TETO	48,29%	0,04%	51,67%
TETO PAR	47,68%	0,04%	52,28%

Tabela 11 - Índices de conforto proporcional na ZB2.

CONFORTO PROPORCIONAL

ZB2	FRIO	CALOR	CONF
SEM PCM	49,08%	0,10%	50,82%
PAREDE	48,43%	0,13%	51,44%
TETO	49,01%	0,10%	50,88%
TETO PAR	49,11%	0,10%	50,79%

Tabela 12 - Índices de conforto proporcional na ZB3.

CONFORTO PROPORCIONAL

ZB3	COLD	HOT	CONF
SPCM	27,34%	2,01%	70,66%
PAREDE	27,19%	2,05%	70,76%
TETO	24,84%	2,11%	73,06%
TETO PAR	24,57%	1,87%	73,57%

Ao contrário do esperado, após esta primeira etapa de simulações não foi encontrado um comportamento linear para as configurações nas três zonas. Em Pelotas, por exemplo, a melhor configuração foi com PCMs apenas nas paredes, enquanto nas demais zonas a melhor configuração foi com PCMs no teto e nas paredes. Diante de tais resultados foi feito a análise de dados de consumo para as

três configurações nas três cidades, os resultados estão apresentados nas Tabelas 13, 14 e 15.

5.2 Resultados de Consumo para Configuração de Envelope:

Tabela 13 - Índices de Redução de consumo na ZB1.

	AQUEC kWh	RESF kWh	VENT kWh	TOTAL kWh	ENER/AC kWh/m²
CONTROLE					
ZB1/AC	1285,6	53,68	18,85	2108,4	50,24
PAREDE	0,06	-0,08	-0,11	-0,12	-0,01
TETO	22,31	1,23	0,57	24,11	0,57
TETO PAREDE	22,61	1,13	0,61	24,36	0,58

Tabela 14 - Índices de Redução de consumo na ZB2.

	AQUEC kWh	RESF kWh	VENT kWh	TOTAL kWh	ENER/AC kWh/m²
CONTROLE					
ZB2/AC	1032,89	225,46	14,9	2023,51	48,22
PAREDE	1,46	0,93	0,02	2,41	0,06
TETO	18,48	1,34	0,24	20,06	0,48
TETO PAREDE	20,26	2,23	0,27	22,76	0,54

Tabela 15 - Índices de Redução de consumo na ZB3.

	AQUEC kWh	RESF kWh	VENT kWh	TOTAL kWh	ENER/AC kWh/m²
CONTROLE					
ZB3/AC	350,71	334,73	9,23	1444,92	34,43
PAREDE	-0,3	-3,71	-0,13	-4,16	-0,1
TETO	-4,09	1,68	-0,02	-2,44	-0,06
TETO PAREDE	7,86	-1,69	0,07	6,23	0,15

Nas simulações para avaliação de consumo, a que se mostrou menos promissora foi Florianópolis (ZB3), que houve melhora apenas com PCM no teto e na parede e ainda assim em grandeza bem menor que nas outras duas localidades. Em Curitiba o uso de PCM nas paredes se mostrou bem pouco eficaz, já que o consumo foi praticamente o mesmo para a configuração de teto e parede e apenas no teto. Em Pelotas foi possível notar uma diferença um pouco maior, mas ainda assim está de acordo com a literatura que afirma que o uso de PCM no teto possui a melhor relação área com PCM / efeito na redução.

5.3 Resultados de Desempenho de Espessura de PCMs.

Como a configuração de PCM no teto teve o melhor desempenho para a ZB1 e ZB2, para avaliar qual espessura seria mais indicada avaliou-se a transmitância da

superfície do forro das 6 espessuras do mesmo PCM. O de maior valor de capacidade térmica foi escolhido devido ao potencial energético do mesmo. É preciso considerar que quanto mais grossa a camada, mais material de alto valor estará sendo utilizado e, portanto, menos viável para uma aplicação de interesse social será. Contudo para fins de análise também foram comparadas as seis espessuras entre si. Como esperado a estrutura com mais PCM foi a mais isolante, de menor valor de transmitância. Nesta etapa não faz sentido diferenciar os PCMs pois por especificação do fabricante, os quatro possuem o mesmo valor de transmitância, não variando assim este resultado.

Tabela 16 - Tabela de Transmitância em relação de espessura.

Transmitância W/m ² K	
S4mm	2.033
S6mm	2.000
S8mm	1.967
D4mm	1.902
D6mm	1.844
D8mm	1.790

5.4 Resultados de Desempenho entre PCMs

Os Gráficos 3 a 8 mostram as diferentes performances dos PCMs na configuração de apenas teto, já estabelecida como mais interessante para a aplicação em HIS. A superfície do forro da sala de estar/cozinha foi escolhida por se tratar da zona mais problemática da casa, pois é a maior, a que possui mais infiltrações e pontes térmicas. Sendo assim, esta é a mais indicada para análise de desempenho isolado dos PCMs.

Os gráficos de barras mostram a quantidade de energia perdida e adquirida pela superfície do forro da sala de estar/cozinha durante o decorrer do dia típico. É possível perceber um recuo do pico de energia absorvida pela superfície quando esta possui PCM. Este recuo reflete diretamente na temperatura operativa da zona térmica que, quando sem PCM algum, chega a ultrapassar a temperatura externa devido a dificuldade de dissipar o calor absorvido.

As linhas de temperatura mostram melhora para todos os PCMs nas três regiões, mas apenas em Pelotas o pico de temperatura operativa é mais baixo que o da temperatura externa para todos os PCMs.

Dentre eles, a curva mais estável de temperatura é a do RT28HC para as três regiões no dia típico de verão. Apesar de ainda alcançar temperaturas além das linhas de conforto, a alta estabilidade da curva mostra potencial como agente de conforto.

No dia típico de inverno, para as três regiões, os PCMs se comportaram apenas como isolantes pois não alcançaram temperatura suficiente para fundir. Ainda assim mostraram desempenho superior ao envelope sem PCM algum.

Gráfico 3 - PCM no Teto com Dupla Camada de 8 mm Verão, ZB1.

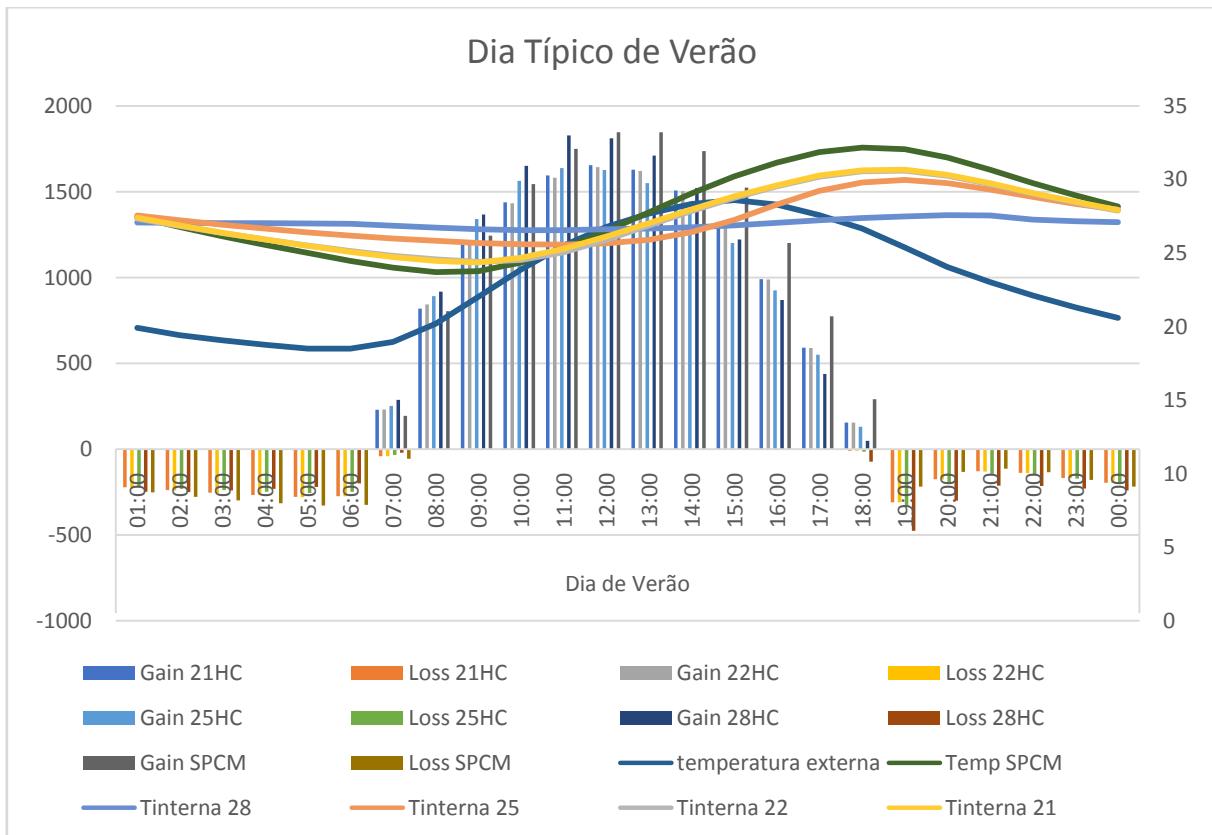


Gráfico 4 - PCM no Teto com Dupla Camada de 8 mm Inverno, ZB1.

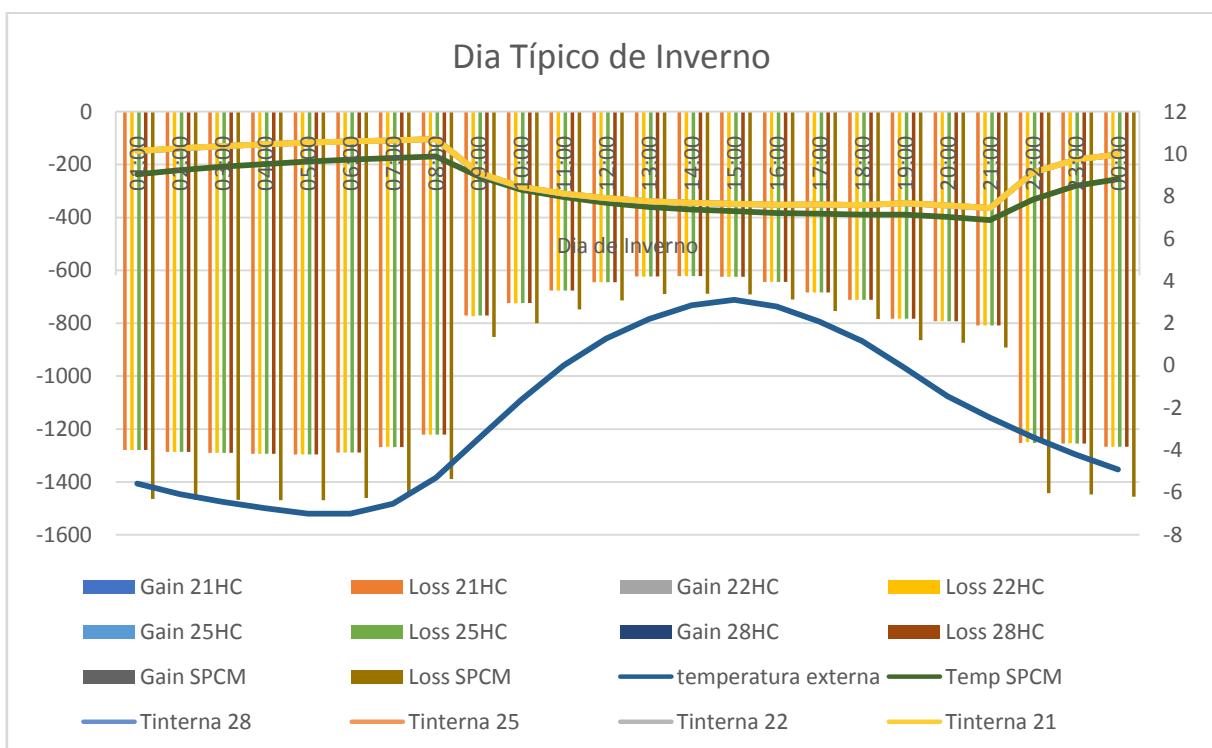


Gráfico 5 - PCM no Teto com Dupla Camada de 8 mm Verão, ZB2.

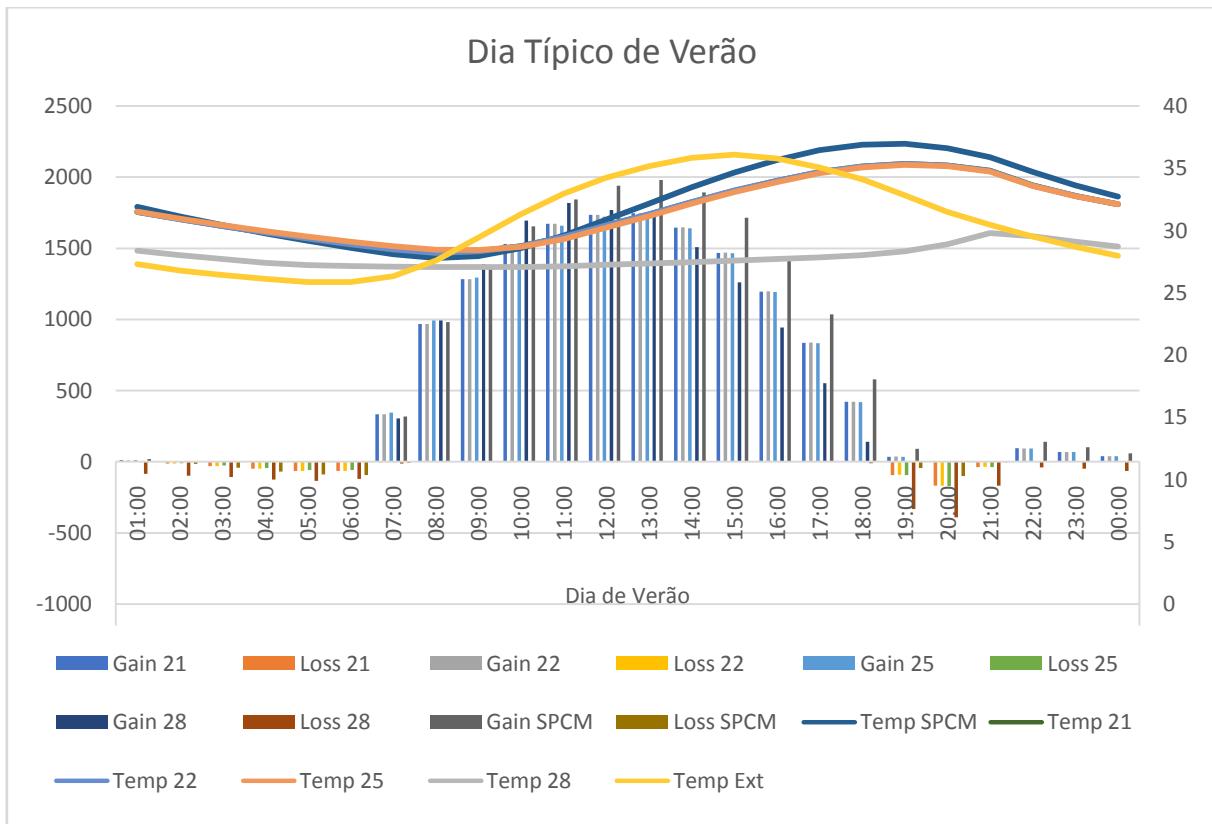


Gráfico 6 - PCM no Teto com Dupla Camada de 8 mm Inverno, ZB2.

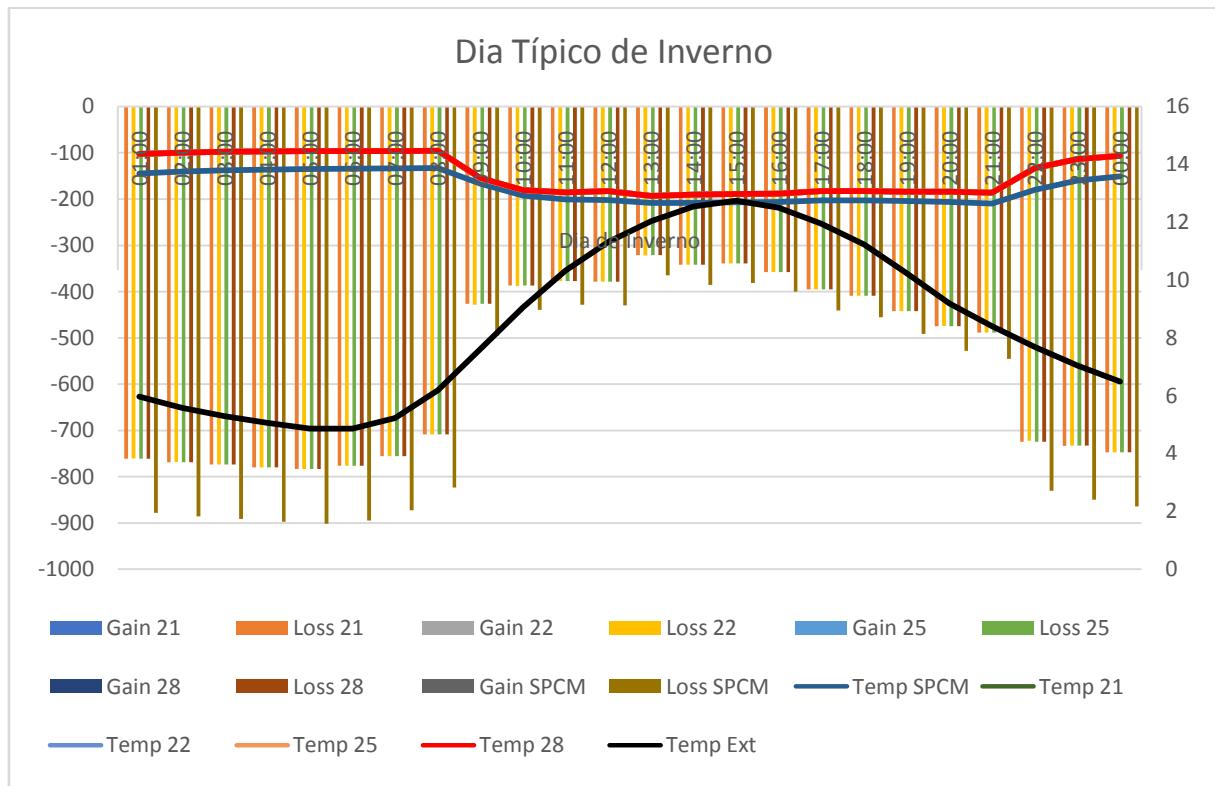


Gráfico 7 - PCM no Teto com Dupla Camada de 8 mm Verão, ZB3.

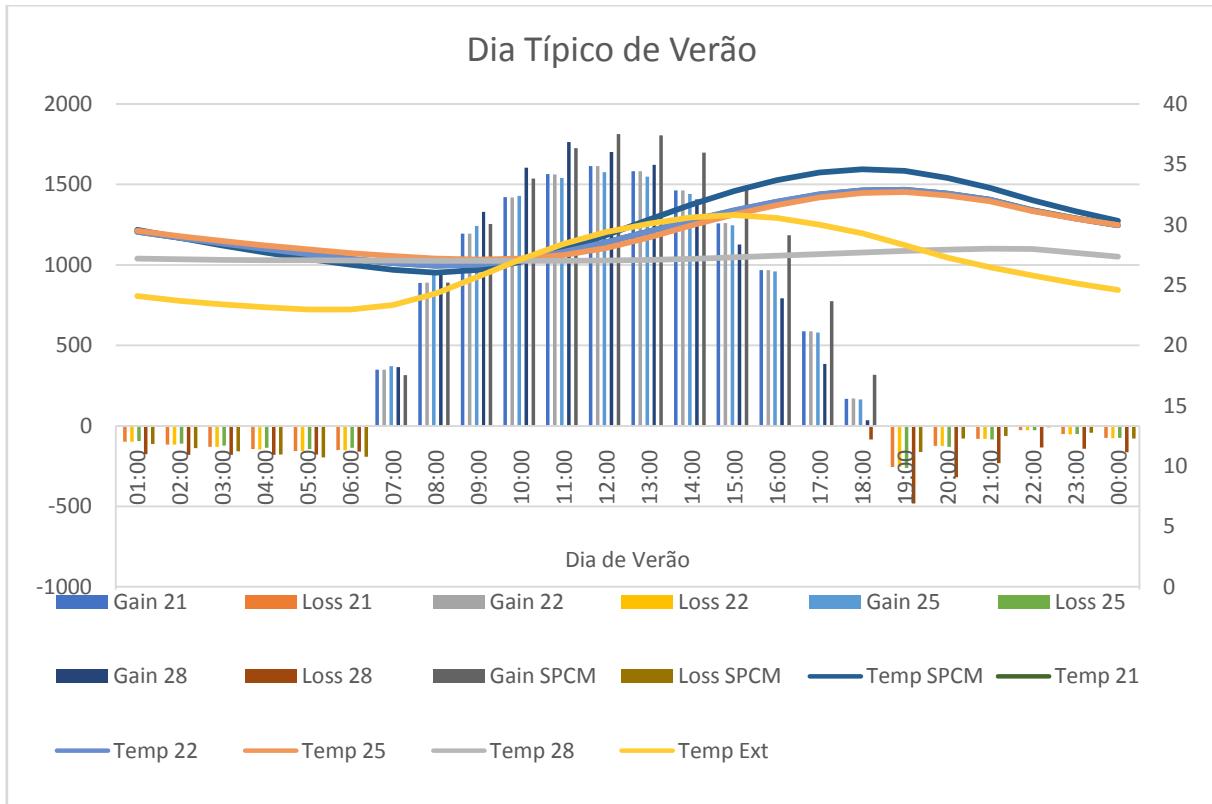
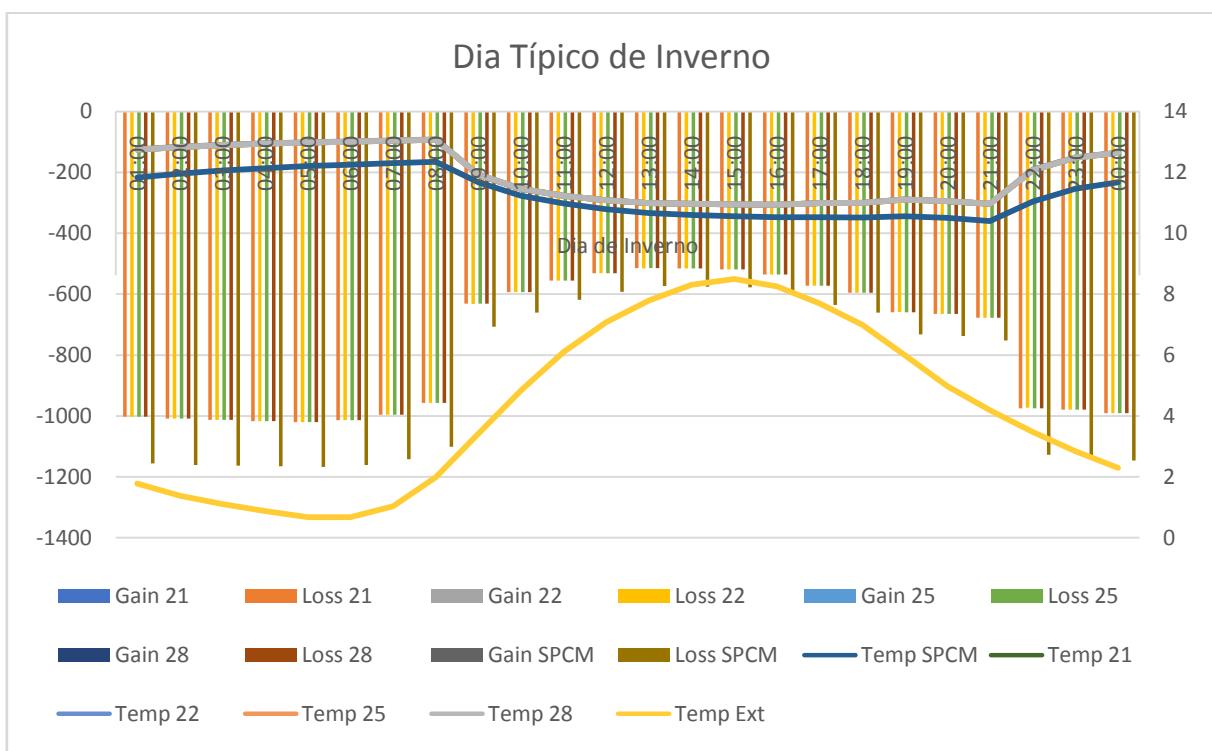


Gráfico 8 - PCM no Teto com Dupla Camada de 8 mm Inverno, ZB3.



6. Conclusões

A espessura, ou seja, a quantidade, de PCM influencia diretamente no quão bem isolada é a casa, quanto mais PCM na parede, mais bem isolada é a edificação. Isto ocorre devido a diferença de transmitância entre os PCMs e o reboco sem PCM.

Nos experimentos feitos, verificou-se que a melhor configuração de incorporação de PCM é apenas no teto, devido a relação quantidade de PCM/efeito na temperatura operativa.

O PCM de maior capacidade térmica (28HC) provocou uma maior inércia térmica para a superfície ao longo do dia, quando alcançada sua temperatura de fusão. Na ZB1 em Curitiba se observou o melhor desempenho, contudo, bons resultados foram observados também nas demais zonas.

Referências Bibliográficas:

- MENG. E; **Design of Phase Change Material Wall Based on the Heat Transfer Characteristics in Summer**; School of Environmental Science and Engineering, Suzhou University of Science and Technology, Suzhou, China. 2015.
- ZHU N., et al; Dynamic characteristics and energy performance of buildings using phase change materials: A review. Department of Building Services Engineering, The Hong Kong Polytechnic University, Kowloon, Hong Kong. 2009.
- VICENTE R, SILVA T.; Brickmasonry walls with PCM macrocapsules: An experimental approach. Civil Engineering Department, University of Aveiro, Portugal; 2013.
- Tabelas de caracterização dos produtos da empresa RubiTherm.<https://www.rubitherm.eu/en/index.php/productcategory/organische-pcm-rt>. RubiTherm Acesso em: 19 de abr. 2018.
- MEMON, S. A.; **Phase change materials integrated in building walls: A state-of-the-art review**, Department of Civil and Architectural Engineering, City University of Hong Kong, Hong Kong; 2013.
- ATHIENITIS, A. K. et al.; **Investigation of the Thermal Performance of a Passive Solar Test-Room with Wall Latent Heat Storage**; 1996. Elsevier Science Ltda.
- Definição do programa nacional de Habitação de Interesse Social <http://www.cidados.gov.br/habitacao-cidades/sistema-nacional-de-habitacao-de-interesse-social>. Acessado em: 15/05/2018 às 13:20
- FROTA, A. B; SCHIFFER, S. R. **Manual de Conforto Térmico**. São Paulo: Studio Nobel, 2001.
- TOLEDO, L. C.; VRCIBRADIC, P.; NATIVIDADE, V. **Repensando as Habitações de Interesse Social**. Rio de Janeiro: Letra Capital, 2014.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. Minha Casa, Minha Vida e sustentabilidade: uma parceria de sucesso. Brasília, 2005. Disponível em: <<http://www.cidades.gov.br/ultimas-noticias/737-minha-casa-minha-vida-e-sustentabilidade-uma-parceria-de-sucesso>> Acesso em maio de 2018.

KHERADMANDA, M. AZENHA, M. AGUIAR, J. L. B., KRAKOWIAK, K. J.; **Thermal behavior of cement based plastering mortar containing hybrid microencapsulated phase change materials** Portugal, 2014.

PEIPPO, K. KAURANEN, P. e LUND, P. D. **A multicomponent PCM wall optimized for passive solar heating.** Helsinki University of Technology, Helsinki, Finlândia, 1991.

SAFFARI, M. PISELLI, C. GRACIA, A. PISELLO, A. L. COTANA, F. CABEZA, L. F. **Thermal stress reduction in cool roof membranes using phase change materials (PCM).** Elsevier B.V, Espanha 2017.

BRITO, A. C. SALES, E. M., CASTRO, G. M. AKUTSU. **M. Análise da resposta do programa EnergyPlus para simulação do comportamento térmico de recinto com materiais de mudança de fase.** Laboratório de Conforto Ambiental e Sustentabilidade, São Paulo, SP, 2015.

PAVLÍK, Z. TRNÍK, A. KEPPERT, M. PAVLIKOVÁ, M. ŽUMÁR, J. ČERNÝ, R. **Experimental Investigation of the Properties of Lime-Based Plaster-Containing PCM for Enhancing the Heat-Storage Capacity of Building Envelopes.** International Journal of Thermophysics, República Tcheca, 2013.

LAZARO, A., DOLADO, P., MARÍN, J. M., ZALBA, B. **PCM-air heat exchangers for free-cooling applications in buildings: Experimental results of two real-scale prototypes.** Aragón Institute for Engineering Research, Zaragoza, Espanha, 2008.

KOSCHENZ, M. e LEHMANN, B. **Development of a thermally activated ceiling panel with PCM for application in lightweight and retrofitted buildings, Laboratory for Energy Systems/Building Equipment,** Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research (EMPA), Duebendorf, Suíça, 2004.

MAVRIGIANNAKI, A. e AMPATZI, E. **Latent heat storage in building elements: A systematic review on properties and contextual performance factors.** Welsh School of Architecture, Cardiff University, Reino Unido, 2015.

MEHLING, H. e CABEZA, L. F.; **Heat and Cold Storage with PCM.** Springer. Alemanha, 2008.

CABEZA, L. F., CASTELLÓN, C., NOGUÉS, M. MEDRANO, M. LEPPERS, R. ZUBILLAGA, O.; **Use of microencapsulated PCM in concrete walls for energy savings.** Department d'Informàtica i Eng. Industrial, Universitat de Lleida, Lleida, Spain. 2006.

BOARD OF TRUSTEES OF THE UNIVERSITY OF ILLINOIS,; **Engineering Reference.** U.S. Department of Energy, 1996-2018.

SABERI, O., SANEEI, P., JAVANBAKHT, A.; **Thermal comfort in architecture.** Cumberland Lodge, Windsor, Reino Unido, 2006.

Lamberts, R., **Conforto e Stress Termico.**; Centro Tecnológico – Departamento de Engenharia Civil, UFSC, Santa Catarina, 2011.

HALLIDAY, RESNICK, WALKER; **Fundamentos de Física – Gravitação, Ondas e Termodinâmica;** 7 ed, Cap 18 – P182-212. 2015.

VIRGALLITO, T. **Microcapsule Delivery Systems for Textile Applications.** Microtek Laboratories, Eua, 2013.

LINDEMANN, A., SCHIMIDT, J., TODTE, M., ZEUNER, T. **Thermal analytical investigations of the magnesium alloys AM 60 and AZ 91 including the melting range.** Institut für Strömungstechnik und Thermodynamik, Alemanha, 2002.

Biswas, K., Shukla, Y., Desjarlais, A., Rawal, R. **Thermal characterization of full-scale PCM products and numerical simulations, including hysteresis, to evaluate energy impacts in an envelope application.** Applied Thermal Engineering, 2018.

JEONG, S., CHUNG, O., YU,S.,SUGHWAN, K., SUMIN,K.
Improvement of the thermal properties of Bio-based PCM

using exfoliated graphitenanoplatelets. Soongsil University. Coréia do Sul. 2013
 Advanced cooling Technologies <<https://www.1-act.com/products/pcm-heatsinks/pcmselection/>> Dezembro de 2018.

EMSLEY, J. **Nature's Building Block. An A-Z Guide to the elements.** Oxford Press.
 Department of Chemistry, University of Cambridge, Reino Unido. 2011.

HADJIEVAA, M., STOYKOVA, R., FILIPOVA, T. **Compositesalt-hydrate concrete system for building energystorage.** Bulgária. 2000.

MENDES, J. F., JOYCE, A., GIESTAS, M., HORTA, P., BRITES, M.
J. Armazenamento de Energia Solar Térmica. IEA Solar Heating and Cooling Programme – Task 32, Subtask Be C. Laboratório Nacional de Energia e Geologia. Portugal, 2009.

SANTOS, G. R., MACIEL, A. C., CALDAS, L. R., CHRISTAKOU, E. D. SPOSTO R. M. **Simulação computacional termoenergética na arquitetura. Avaliação do desempenho térmico de uma edificação de ensino localizada em Brasília DF.** Arquitextos – Termoenergética ano 17, abr. 2017.

U.S. Department of Energy. **EnergyPlus™ Version 8.9.0 Documentation - Input Output Reference.** EUA, 2018.

U.S. Department of Energy. **EnergyPlus™ Version 8.9.0 Documentation – Engineering Reference.** EUA, 2018.

DALBEM, R., FREITAS, J. M. R., CUNHA, E. G. **Conceito Passivhaus aplicado ao clima brasileiro.** Universidade Federal de Pelotas, RS, Brasil. 2015.

MONTEIRO, L. M., ALUCCI, M. P. **Adaptive Model of Neutral Operative Temperature for the Evaluation of Transitional Spaces.** FAU USP. São Paulo, SP. Brasil, 2008.

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. **2013 Ashrae Handbook: Fundamentals.** Ed Inch-pound. EUA, 2013.

OLIVEIRA, L., SILVA, A. C. S. B., PINTO, M. M. **Avaliação dos limites das propriedades térmicas dos fechamentos opacos da NBR 15220-3, para habitações de interesse social, da zona bioclimática 2.** UFPEL. Pelotas, RS. Brasil, 2014.