

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
COMISSÃO DE GRADUAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

Rafael Vinicius Zanella

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO TIPO DE TELHA NO
DESEMPENHO TÉRMICO DA EDIFICAÇÃO UTILIZANDO
SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL**

Porto Alegre

Junho 2019

RAFAEL VINICIUS ZANELLA

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO TIPO DE TELHA NO
DESEMPENHO TÉRMICO DA EDIFICAÇÃO UTILIZANDO
SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Comissão de
Graduação do Curso de Engenharia Civil da Escola de Engenharia
da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos
requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientadora: Cristiane Sardin Padilla de Oliveira

Porto Alegre

Junho 2019

RAFAEL VINICIUS ZANELLA

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO TIPO DE TELHA NO
DESEMPENHO TÉRMICO DA EDIFICAÇÃO UTILIZANDO
SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pela Banca Examinadora, pela Professora Orientadora e pela Comissão de Graduação do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, junho de 2019

BANCA EXAMINADORA

Profa. Cristiane Sardin Padilla de Oliveira
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Profa. Luciani Somensi Lorenzi (UFRGS)
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Miguel Aloysio Sattler (UFRGS)
Ph.D. em Building Science pela University of Sheffield (Inglaterra)

Dedico este trabalho a minha família, que sempre me apoiou e me incentivaram a vencer novos desafios.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família e amigos pelo apoio e compreensão em momentos difíceis.

Agradeço em especial ao meu irmão por ter proporcionado parceria e qualidade de vida.

Agradeço ao meu amigo Mateus pela ajuda e disponibilidade de tempo transmitindo conhecimentos do Energy Plus.

Agradeço a minha namorada pela compreensão em momentos de ausência, pelo companheirismo e por estar sempre disponível.

O único lugar aonde o sucesso vem antes do trabalho é no
dicionário.

Albert Einstein

RESUMO

O desempenho térmico da edificação é definido pela capacidade desta isolar termicamente o meio interno do meio externo. Assim, é possível melhorar o conforto térmico para o usuário, muitas vezes, sem a necessidade de aparelhos de ar condicionado. Neste contexto, a edificação consome uma menor quantidade de energia e acaba tornando-se mais sustentável. A NBR 15575 (ABNT, 2013) estabeleceu critérios para avaliação do desempenho térmico da edificação, além de limitar as temperaturas máximas e mínimas em dias de verão e inverno. A partir de indicações desta norma, a utilização do software *Energy Plus* permite a modelagem da edificação e com isso, simular características térmicas da mesma, em todos os seus ambientes. Os resultados permitem uma adequação no planejamento e elaboração dos projetos, alterando os componentes construtivos ou o modelo arquitetônico da edificação em função do conforto desejado. Neste trabalho, elaborado no formato artigo, foi simulado o desempenho térmico de uma edificação genérica utilizando as informações climáticas da cidade de Porto Alegre, Rio Grande do Sul. A edificação foi elaborada com componentes comuns utilizados na cidade, compreendendo um modelo de concreto armado com alvenaria de vedação e, para fins de comparação, foram utilizados diferentes componentes no sistema de cobertura, sendo eles: telha sanduíche, telha de fibrocimento, telha cerâmica, telha de concreto e telha asfáltica (*shingle*). De uma forma geral, a telha sanduíche, com a camada central em lã de vidro (material comumente utilizado para isolamento térmico), proporcionou o melhor desempenho para a edificação, sendo atingido os níveis de desempenho térmico mínimo para todos os ambientes da mesma durante o dia mais quente e mais frio do ano. Por outro lado, a telha de fibrocimento foi a que apresentou os piores resultados em comparação as demais telhas. Normalmente utilizada como uma forma mais acessível para a vedação de coberturas, a mesma apresenta um desempenho térmico insatisfatório para todos os cômodos com influência direta. Porém, demonstra-se aqui que, com a utilização de camadas inferiores de acabamento (gesso acartonado por exemplo), é possível melhorar o desempenho térmico do ambiente. Por outro lado, em ambientes onde a influência do telhado não é direta (ambientes do primeiro pavimento, por exemplo), o desempenho térmico mínimo foi atingido para todos os sistemas de cobertura. Demonstra-se também que, para os demais sistemas de vedação da cobertura, foram encontrados valores de desempenho térmico intermediários, sendo os desempenhos térmicos superiores a telha de fibrocimento e inferiores a telha sanduíche.

Palavras-chave: Desempenho térmico. Simulação térmica. Energy Plus. Sistemas de cobertura.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Edificação genérica modelo de estudo.....	17
Figura 2 – Edificação modelada através do Sketchup/Euclid.....	17
Figura 3 – Vista do pavimento térreo em corte horizontal.....	18
Figura 4 – Vista do pavimento cobertura em corte horizontal.....	18
Figura 5 – Vista da edificação em corte vertical.....	19
Figura 6 – Vista em corte do sistema de vedação vertical externo (parede).....	22
Figura 7 – Comparação de desempenho térmico na cozinha com área de jantar do pavimento térreo para o dia típico de inverno.....	23
Figura 8 – Comparação de desempenho térmico na cozinha com área de jantar do pavimento térreo para o dia típico de verão.....	23
Figura 9 – Dormitório sul em dia típico de inverno.....	30
Figura 10 – Dormitório norte em dia típico de inverno.....	31
Figura 11 – Dormitório sul em dia típico de verão.....	31
Figura 12 – Dormitório norte em dia típico de verão.....	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Identificação dos componentes utilizados na estrutura das camadas construtivas.....	19
Tabela 2 – Resistência térmica da camada de ar.....	21
Tabela 3 – Valores máximos de temperatura interna no dormitório sul para o dia de inverno.....	24
Tabela 4 – Valores mínimos de temperatura interna no dormitório sul para o dia de inverno.....	25
Tabela 5 – Amplitude térmica interna no dormitório sul para o dia de inverno.....	25
Tabela 6 – Valores máximos de temperatura interna no dormitório norte para o dia de inverno.....	26
Tabela 7 – Valores mínimos de temperatura interna no dormitório norte para o dia de inverno.	26
Tabela 8 – Amplitude térmica interna no dormitório norte para o dia de inverno.....	27
Tabela 9 – Valores máximos de temperatura interna no dormitório sul para o dia de verão.....	27
Tabela 10 – Valores mínimos de temperatura interna no dormitório sul para o dia de verão.....	28
Tabela 11 – Amplitude térmica interna no dormitório sul para o dia de verão.....	28
Tabela 12 – Valores máximos de temperatura interna no dormitório norte para o dia de verão.	29
Tabela 13 – Valores mínimos de temperatura interna no dormitório norte para o dia de verão.	29
Tabela 14 – Amplitude térmica interna no dormitório norte para o dia de verão.....	30

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

NBR – Norma Brasileira

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

LISTA DE SÍMBOLOS

ε – Emissividade (adm)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 MÉTODO.....	16
2.1 Modelagem utilizando o Sketchup com a extensão do Euclid.....	17
2.2 Estrutura e Vedação.....	19
2.3 <i>Energy Plus</i>	21
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	22
4 CONCLUSÃO.....	32
REFERÊNCIAS.....	33

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO TIPO DE TELHA NO DESEMPENHO TÉRMICO DA EDIFICAÇÃO UTILIZANDO SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF TILE TYPE ON THERMAL PERFORMANCE OF BUILDING USING COMPUTATIONAL SIMULATION

RESUMO

O desenvolvimento da construção civil proporciona a oportunidade de serem utilizados diversos componentes construtivos visando tornar as edificações mais sustentáveis. Porém, com a crescente facilidade de se adquirir aparelhos de ar condicionado, esta opção tem sido o método mais utilizado para atingir o conforto térmico mínimo para os usuários. No entanto, a partir do software *Energy Plus*, é possível realizar simulações térmicas da edificação e determinar quais componentes são mais apropriados para a mesma, permitindo um melhor desempenho térmico e minimizando o uso de aparelhos de ar condicionado. O telhado estabelece uma influência direta em ambientes pertencentes a este e a utilização de telhas com isolamento térmico proporciona um desempenho térmico mais adequado para a edificação. Entre os componentes avaliados, compreendendo: telha sanduíche, telha de fibrocimento, telha cerâmica, telha de concreto e telha asfáltica, a telha sanduíche foi a que apresentou os melhores resultados, tanto para o dia típico de inverno quanto para o dia típico de verão. Por outro lado, a telha de fibrocimento mostrou-se pouco eficiente, permitindo uma variação de temperatura interna mais sensível às variações térmicas externas. Contudo, demonstra-se que é possível melhorar o desempenho térmico desta telha incluindo camadas de materiais de acabamento.

Palavras-chaves: Desempenho térmico. Simulação térmica. Energy Plus. Sistemas de cobertura.

ABSTRACT

The development of civil construction provides the opportunity to use various building components to make buildings more sustainable. However, with the increasing ease of obtaining air conditioners, this option has been the most widely used method to achieve minimal thermal comfort for users. However, with Energy Plus software, it is possible to conduct thermal simulations of the building and determine which components are most suitable for it, allowing better thermal performance and minimizing the use of air conditioners. The roof establishes a direct influence in environments belonging to this and the use of tiles with thermal insulation provides a thermal performance more suitable for building. Among the evaluated components, including: sandwich tile, fiber cement tile, ceramic tile, concrete tile and asphalt tile, the sandwich tile was the one that presented the best results, both for the typical winter day and for the typical summer day. On the other hand, the fiber cement tile showed little efficiency, allowing an internal temperature variation more sensitive to external thermal variations. However, it has been shown that it is possible to improve the thermal performance of this tile by including layers of finishing materials.

Keywords: Thermal performance. Thermal simulation. Energy Plus. Roofing system.

1 INTRODUÇÃO

Devido as crescentes exigências quanto ao desempenho térmico de edificações, que tem por finalidade reduzir o consumo energético e propiciar um ambiente sustentável e habitável, torna-se necessário conhecer o desempenho dos componentes empregados na construção civil. Por meio da simulação computacional é possível verificar o comportamento da edificação de acordo com diferentes componentes construtivos. Nesse contexto, a NBR 15575 (ABNT, 2013) estabelece os critérios de temperaturas mínimas e máximas para o desempenho térmico da edificação.

A ASHRAE Standard 55 (2010), norma americana para condições térmicas de ocupação humana, define o conforto térmico como: “Aquela condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico e é avaliada de forma subjetiva”. Esta citação resume bem a importância de se estabelecer um ambiente adequado para uma condição de aceitabilidade térmica. Com a evolução tecnológica e os aparelhos de ar condicionado se tornando cada vez mais acessíveis, busca-se, de forma imediata, resolver os problemas de conforto térmico. No entanto, o uso excessivo destas tecnologias traz outras complicações, tais como: aumento no consumo energético, necessidade de manutenção de aparelhos de ar condicionado e dependência de aparelhos eletrônicos para atingir o conforto desejado.

Segundo a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD, 1991), “O desenvolvimento sustentável é aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem a suas próprias necessidades”. Assim sendo, a busca por sustentabilidade um constante conflito entre as limitações tecnológicas, energéticas e as necessidades apresentadas pela população. Neste contexto, considerando o avanço recente da tecnologia em comparação ao tempo de utilização das edificações atuais, o uso de aparelhos de ar condicionado tem crescido de forma descontrolada, muitas vezes superando a capacidade de geração de energia da região. Por outro lado, devido a atual possibilidade de se realizar simulações térmicas e a grande variedade de “novos” componentes adequados à construção civil, é possível encontrar a solução construtiva mais sustentável, ou seja, capaz de fornecer conforto com o menor consumo de energia elétrica.

Neste trabalho foi adotado o método de análise de desempenho térmico por meio de simulação computacional, utilizando o software *EnergyPlus* (versão 8.7), sendo a edificação modelada através da versão 2016 *SketchUp Pro* com a extensão do *Euclid* (versão 0.9.3). A pesquisa objetiva avaliar o comportamento térmico da edificação com a variação do componente do sistema de cobertura e mantendo o sistema de vedação vertical composto de paredes de blocos cerâmicos com estrutura em concreto armado como padrão construtivo. Os componentes do sistema de cobertura que foram avaliados são: telha sanduíche, telha de fibrocimento, telha cerâmica, telha de concreto e telha asfáltica (também denominada americana ou *shingle*).

Considerou-se a edificação, modelo de simulação, situada na cidade de Porto Alegre/RS onde o clima é subtropical úmido. Conforme Porto Alegre (2019), no verão as temperaturas ficam em torno de 25° a 35° Célsius e durante o inverno entre 2° e 20° Célsius. Desta forma, esta é uma região com grande amplitude térmica e, portanto, torna a escolha de componentes construtivos um critério importante durante a fase de projeto.

Dentro do contexto normativo, a NBR 15575 (ABNT, 2013) é dividida em seis partes. Na parte 1 da norma, no item 11, são apresentados os principais métodos de análise de desempenho térmico, definindo a simulação computacional como o método mais adequado para análise do desempenho térmico da edificação. No item 11.1 é apontada a verificação do atendimento dos requisitos normativos por medição da temperatura *in loco* como caráter

meramente informativo. Além deste, também é considerado o método de cálculo, onde a norma (ABNT, 2013a) destaca: “Para os casos em que a avaliação de transmitância térmica e capacidade térmica, conforme os critérios e métodos estabelecidos na ABNT NBR 15575 parte 4 e ABNT NBR 15575 parte 5, resultem em desempenho térmico insatisfatório, o projetista deve avaliar o desempenho térmico da edificação como um todo pelo método da simulação computacional conforme o item 11.2”.

Além destas informações, a NBR 15575 parte 1 (ABNT, 2013a) apresenta dados importantes para a avaliação do desempenho térmico quanto a localização e aspectos climáticos correspondentes aos dias de projeto, dia típico de verão e dia típico de inverno, da cidade em análise. Por definição, o dia típico de inverno será o dia mais frio do ano segundo a média representativa dos últimos dez anos e o dia típico de verão será o dia mais quente do ano segundo a média representativa dos últimos dez anos. Da mesma forma, a norma destaca a necessidade de se obter, em laboratório, dados de desempenho térmicos dos componentes construtivos e, no caso em que estes dados não estão disponíveis, utilizar as informações fornecidas pela tabela B.3 da NBR 15220 parte 2 (ABNT, 2005a).

Conforme descrito anteriormente, a NBR 15575 (ABNT, 2013a), parte 1, item 11, define o limite superior máximo e inferior mínimo para temperaturas internas da edificação, em dias de verão e inverno respectivamente. Estes valores são dependentes da zona bioclimática apresentada nesta norma e também no anexo A da NBR 15220 parte 3 (ABNT, 2005b). A cidade de Porto Alegre está localizada na zona bioclimática 3, sendo, para dias de verão, a temperatura interna da edificação, em dependência de permanência prolongada (salas e dormitórios) e sem a incidência de fontes de calor internas, sempre igual ou inferior a máxima temperatura externa do ar. Quanto ao inverno, a temperatura interna, com os mesmos parâmetros de ocupação, deve ser maior ou igual a mínima temperatura externa acrescida de 3° Celsius.

Conforme NBR 15575 parte 4 (ABNT, 2013b), em função das zonas bioclimáticas, são estabelecidos valores mínimos quanto ao desempenho de componentes constituintes da vedação vertical da edificação, compreendendo paredes, portas e janelas. Sendo nesta parte da norma, novamente citado o método de cálculo simplificado, apresentado pela NBR 15220 parte 2 (ABNT, 2005b).

Por fim, a NBR 15575 parte 5 (ABNT, 2013c) aborda os requisitos mínimos dos componentes do sistema de cobertura. Considerando novamente o método simplificado para avaliação do desempenho térmico. Da mesma forma, considera a necessidade de se realizar simulações, na edificação como um todo, caso os resultados apresentem-se insatisfatórios.

2 MÉTODO

Conforme mencionado anteriormente, o método de análise do desempenho térmico será por meio da simulação computacional. Para a realização da simulação foram utilizados dois softwares e uma extensão. Conforme Gomes (2007), “o *Energy Plus* é um software de simulação numérica capaz de verificar o desempenho térmico da edificação. No entanto, por não apresentar uma interface gráfica, a modelagem da edificação torna-se complexa”. Contudo, a partir do *Sketchup* foram desenvolvidas extensões capazes de minimizar as dificuldades de manuseio do *Energy Plus*. Desta forma, utilizando a interface do *Sketchup* com a extensão do *Euclid*, originalmente desenvolvida pelo National Renewable Energy Laboratory (NREL) e atualmente mantido pelo Bigladder Software, conforme Bigladder Software (2019), é possível criar um modelo gráfico da edificação e, a partir deste, exportar um arquivo em formato IDF (necessário para edições no *Energy Plus*).

Por se tratar de um estudo de desempenho térmico de telhados, foi considerada uma edificação com grande influência de área do telhado em relação ao ambiente interno. A edificação em análise está apresentada na Figura 1.

Figura 1 – Edificação genérica modelo de estudo.

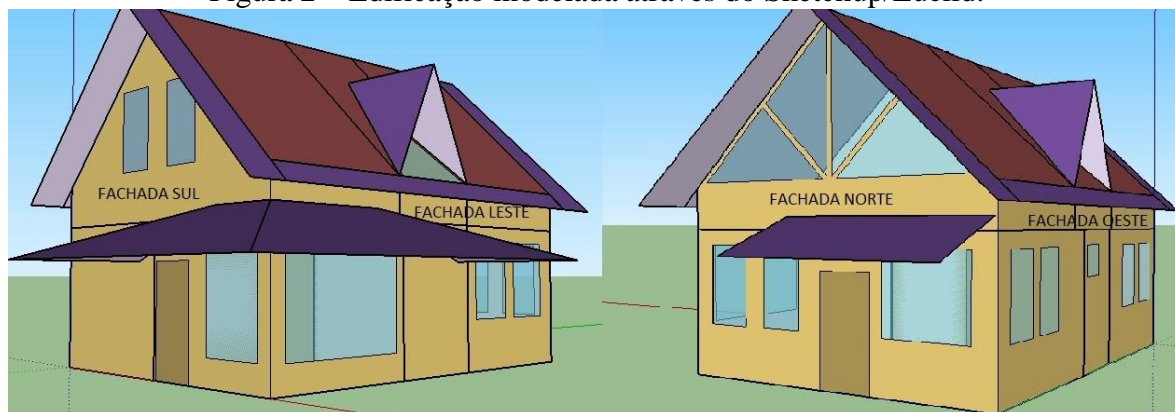


Fonte: 3D WAREHOUSE (2019).

2.1 Modelagem utilizando o Sketchup com a extensão do Euclid.

Utilizando as ferramentas disponíveis no *Sketchup* e *Euclid* foi possível criar um modelo geométrico separando os ambientes (zonas térmicas) da edificação. O modelo, conforme dimensões apresentadas na edificação padrão da Figura 1, pode ser visualizado na Figura 2.

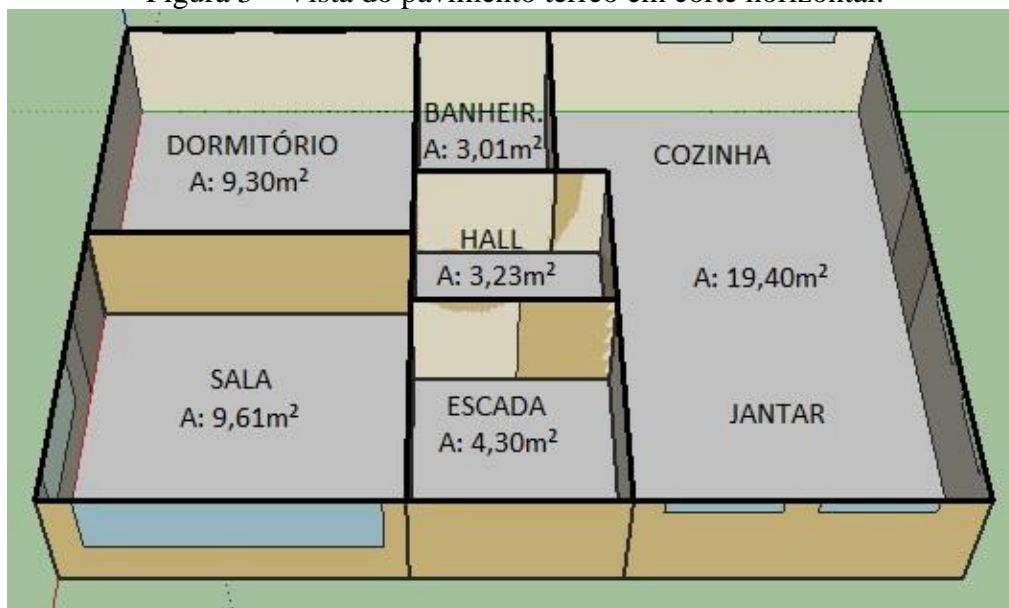
Figura 2 – Edificação modelada através do Sketchup/Euclid.



Fonte: Autor.

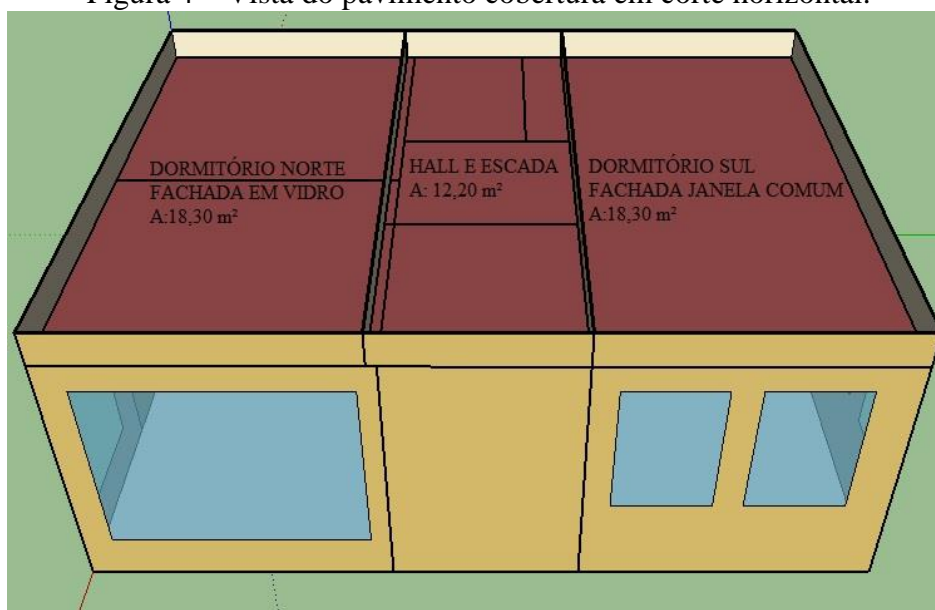
A edificação em questão apresenta dois pavimentos, sendo o primeiro pavimento formado por: sala de estar, dormitório, banheiro, hall, escada e cozinha com área de jantar. Na Figura 3 estão representadas as dependências com informação das áreas, em planta, de cada uma delas. Da mesma forma, também foi dimensionado o segundo pavimento, sendo este composto por dois dormitórios e uma escadaria com hall de acesso aos mesmos. Os dormitórios apresentam a mesma área em planta, no entanto, são diferenciados pela composição da fachada e a orientação solar da edificação. Assim, os mesmos serão denominados como dormitório norte e dormitório sul, conforme Figura 4.

Figura 3 – Vista do pavimento térreo em corte horizontal.



Fonte: Autor.

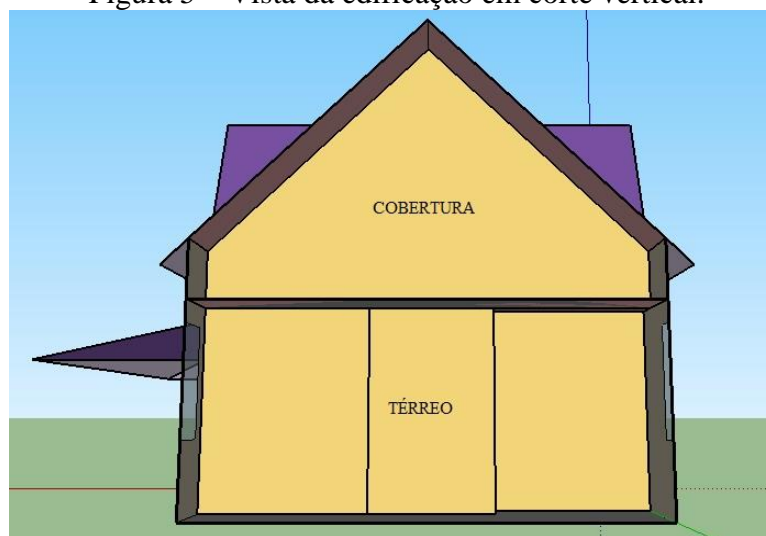
Figura 4 – Vista do pavimento cobertura em corte horizontal.



Fonte: Autor.

O pé direito da edificação tem 2,8 metros com os pavimentos separados por laje de concreto. O segundo pavimento apresenta design arquitetônico estilo sótão, sem laje. Os dormitórios, conforme apresentado na Figura 4, apresentam área, em planta, igual a 18,30m². Por outro lado, a área de telhado, responsável por boa parte da transmissão de calor do meio externo para o meio interno, equivale a 25,68m². A Figura 5 apresenta uma vista da edificação em corte vertical, onde pode ser verificada a influência do telhado no desempenho térmico da cobertura.

Figura 5 – Vista da edificação em corte vertical.



Fonte: Autor.

2.2 Estrutura e Vedação.

Com a edificação modelada é necessário definir os materiais que irão compor a estrutura da mesma. Desta forma, o *Energy Plus* pode determinar a variação da temperatura em cada ambiente da edificação. Neste contexto, é importante destacar que os componentes escolhidos para a edificação são de caráter usuais da cidade em estudo e estão apresentados na Tabela 1 colocados em ordem, do lado externo para o lado interno do elemento construtivo, conforme sentido de preenchimento de dados do *Energy Plus*. Além disso, é necessário considerar a espessura, densidade, condutividade térmica e o calor específico dos componentes. Estas informações são apresentadas pela NBR 15220 parte 2 (ABNT, 2005a), Tabela B.3, conforme mencionado anteriormente.

Tabela 1 – Identificação dos componentes utilizados na estrutura das camadas construtivas.

ELEMENTO	COMPONENTES	ESPESURA (m)	CONDUTIVIDADE DE TÉRMICA (W/(m.K))	DENSIDADE DE MASSA APARENTE (Kg/m ³)	CALOR ESPECÍFICO (J/(kg.K))
PISO TÉRREO	Concreto piso	0.1	1.75	2400	1000
	Argamassa de contrapiso	0.03	1.15	2000	1000
PAREDES	Argamassa de revestimento externo	0.03	1.15	2000	1000
	Bloco cerâmico 6 furos	0.14	0.9	1600	920
	Argamassa de revestimento interno	0.015	1.15	2000	1000

Continua

ELEMENTO	COMPONENTES	ESPESSURA (m)	CONDUTIVIDADE DE TÉRMICA (W/(m.K))	DENSIDADE DE MASSA APARENTE (Kg/m ³)	CALOR ESPECÍFICO (J/(kg.K))
LAJE	Argamassa de revestimento inferior	0.01	1.15	2000	1000
	Laje de concreto	0.1	1.75	2400	1000
	Argamassa de contrapiso	0.03	1.15	2000	1000
PORTAS	Madeira	0.03	0.15	500	1340
TELHA SANDUÍCHE	Lâmina de aço	0.00065	55	7800	460
	Lã de vidro	0.05	0.045	18	700
	Lâmina de aço	0.00065	55	7800	460
FIBROCIMENTO	Fibrocimento	0.006	0.65	1600	840
FIBROCIMENTO COM FORRO DE GESSO	Fibrocimento	0.006	0.65	1600	840
	Vão de ar	0.05	-	-	-
	Chapa de gesso acartonado	0.0125	0.35	750	840
TELHA CERÂMICA	Telha cerâmica	0.015	1,05	2000	920
	Vão de ar	0.19	-	-	-
	Forro de madeira	0.01	0.15	480	1340
TELHA DE CONCRETO	Concreto	0.04	1.75	2200	1000
	Vão de ar	0.19	-	-	-
	Forro de madeira	0.01	0.15	480	1340
TELHA ASFÁLTICA	Telha <i>shingle</i>	0.005	0.15	1121,3	1256
	Subcobertura (Membrana bet.)	0.003	0.23	1100	1460
	Madeira Compensada	0.0112	0.15	550	2300
	Vão de ar	0.05	-	-	-
	Chapa de gesso acartonado	0.0125	0.35	750	840

Fonte: NBR 15220 (ABNT, 2005a).

Todas as janelas foram consideradas com vidro duplo, para minimizar o efeito das esquadrias nos ambientes. A espessura de cada lâmina de vidro é de 3 milímetros separadas por um vão de ar com espessura de 8 milímetros. A própria biblioteca do *Energy Plus* fornece informações térmicas do vidro, entretanto, as especificações da camada de ar foram coletadas da NBR 15220 (ABNT, 2005a), conforme Tabela 2. Como o vidro considerado é incolor, a norma considera o mesmo como superfície de alta emissividade. Portanto, para um fluxo de calor horizontal, a resistência térmica é 0,14 m².K/W.

Além de se determinar as características de resistência térmica do ar para as janelas, conforme Tabela 2, também é possível determinar as características térmicas do ar nos vãos do telhado. A NBR 15220 (ABNT, 2005a) traz informações de emissividade dos materiais do telhado, sendo possível, desta forma, estabelecer os valores de resistência térmica do ar da camada construtiva segundo a direção do fluxo descendente.

Tabela 2 – Resistência térmica da camada de ar.

Natureza da superfície da câmara de ar	Espessura "e" da câmara de ar cm	Resistência térmica m ² .K/W		
		Direção do Fluxo de calor		
		Horizontal	Ascendente	Descendente
Superfície de alta emissividade $\varepsilon > 0,8$	$1 \leq e \leq 2$	0.14	0.13	0.15
	$2 < e \leq 5$	0.16	0.14	0.18
	$e > 5$	0.17	0.14	0.21
Superfície de baixa emissividade $\varepsilon < 0,2$	$1 \leq e \leq 2$	0.29	0.23	0.29
	$2 < e \leq 5$	0.37	0.25	0.43
	$e > 5$	0.34	0.27	0.61

Fonte: NBR 15220 (ABNT, 2005a).

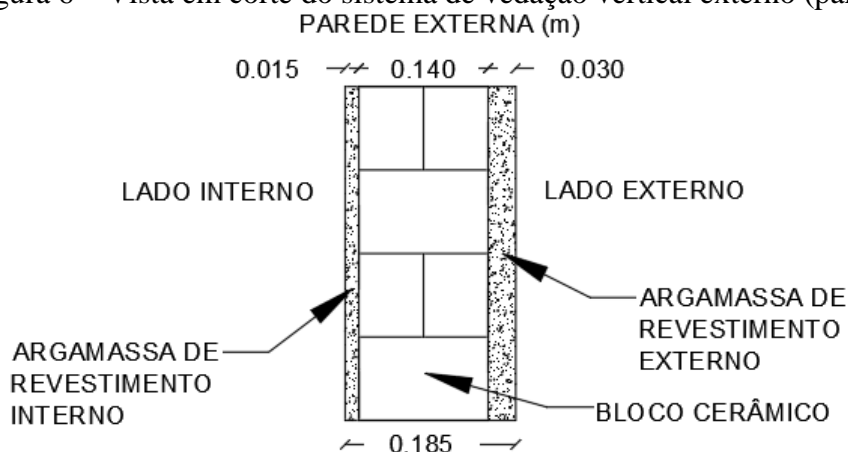
2.3 Energy Plus.

Após a modelagem e definição de cada ambiente como uma zona climática, o arquivo foi exportado em formato IDF para ser modificado conforme critérios do *Energy Plus*. Inicialmente é fundamental inserir as coordenadas conforme latitude, longitude e altitude da região, além de informações habitacionais. A NBR 15575 parte 1 (ABNT, 2013a) apresenta estas informações na Tabela A1.

Para o preenchimento das informações climáticas referentes aos dias de projeto (verão e inverno), foram utilizados dados fornecidos pela Universidade Federal de Santa Catarina, LABEEE (2019), para a cidade de Porto Alegre. “O arquivo climático, em formato EPW, foi desenvolvido pelo professor Mauricio Roriz da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), com dados de 411 estações climáticas entre os anos de 2000 e 2010”, conforme descrito por Madruga (2016). Com estas informações é possível definir as características climáticas representativas dos dias típicos de inverno e verão.

Conforme descrito anteriormente, para avaliar o desempenho da edificação como um todo, é necessário definir os componentes dos elementos construtivos da mesma. Na Tabela 1, apresentada anteriormente, foram identificados todos os componentes da edificação. A partir destas informações, os componentes são incluídos no Energy Plus e distribuídos conforme elementos construtivos. Um elemento construtivo pode compreender mais de um componente, conforme ilustra a Figura 6, onde está detalhado o elemento construtivo “parede”.

Figura 6 – Vista em corte do sistema de vedação vertical externo (parede).



Fonte: Autor.

Após inserção de componentes e colocação dos mesmos nas posições conforme descrito anteriormente, é necessário fazer a identificação das zonas térmicas. Zonas térmicas são os ambientes da edificação que tem como finalidade simular a variação da temperatura. É importante destacar que não devem ser inseridas aberturas entre os ambientes pois o software não consegue calcular as trocas térmicas entre os mesmos. Assim, em vãos de escada e aberturas do hall, onde não existem esquadrias, foram consideradas lâminas de chumbo com condutividade térmica elevada (380W/m.K), conforme valores fornecidos pela NBR 15220 (ABNT, 2005a), e espessura mínima recomendada pelo *Energy Plus* (3 milímetros). Desta forma, o software consegue calcular a transmissão de calor entre os materiais que envolvem a zona térmica. Para considerar a renovação de ar no ambiente, deve-se inserir uma taxa mínima de 1ren/h, conforme definição da NBR 15575 parte 1 (ABNT, 2013a). Neste trabalho, não foram consideradas taxas de renovação do ar. O *Energy Plus* apresenta métodos numéricos para identificação das zonas térmicas, porém, as mesmas foram identificadas utilizando meios gráficos no *Sketchup/Euclid*, assim, estas informações são carregadas no *Energy Plus* quando o arquivo é exportado em formato IDF.

Além disso, o *Energy Plus* apresenta funções que permitem variações de temperatura com cargas internas, compreendendo uma diversidade de materiais elétricos, frequência de ocupação e frequência de fechamento e abertura das janelas. No entanto, como o presente trabalho visa comparar a variação de temperatura devido aos componentes do sistema de cobertura, estas variáveis não foram consideradas.

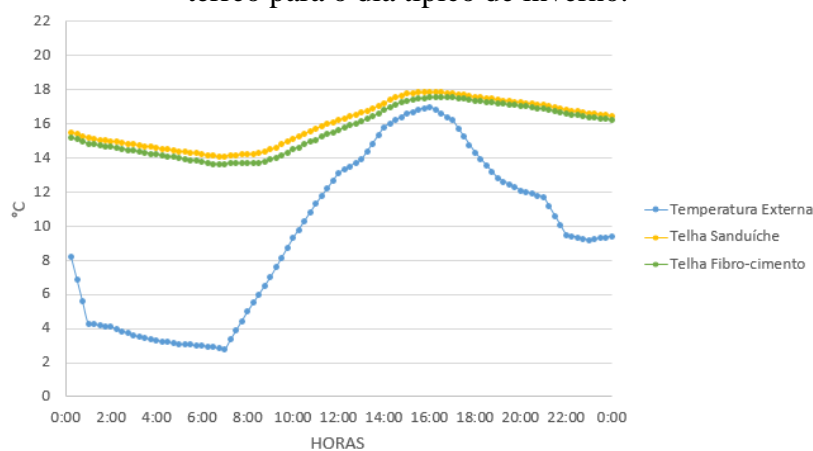
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados de temperatura apresentados a seguir correspondem ao dia mais frio (22 de agosto) e mais quente (08 de janeiro) do ano para a cidade de Porto Alegre. Conforme descrito anteriormente, o desempenho térmico, da edificação como um todo, deve ser simulado a partir da situação mais desfavorável para a mesma. Assim, os resultados foram considerados para as temperaturas externas mínima em um dia de inverno e máxima em um dia de verão durante o ano de projeto.

De uma forma geral pode-se afirmar que, para dias de inverno, a variação da temperatura nas dependências do pavimento térreo não depende exclusivamente do tipo de telhado utilizado. A maior variação encontrada foi de 0,65° Celsius às 10 horas da manhã. Esta diferença se deu entre os modelos construtivos com a telha sanduíche e a telha de fibrocimento, na dependência da cozinha com área de jantar. A estrutura com a telha de fibrocimento apresentou uma variação térmica mais sensível a variação externa, ou seja, a curva de

temperatura, para este sistema, ficou mais próxima a curva de temperatura externa, conforme pode ser verificado na Figura 7.

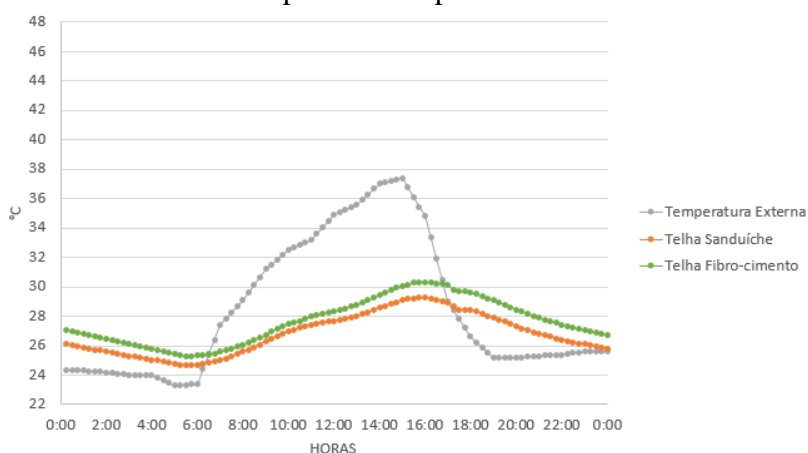
Figura 7 – Comparação de desempenho térmico na cozinha com área de jantar do pavimento térreo para o dia típico de inverno.



Fonte: Autor.

Para dias de verão a distribuição de temperaturas dos ambientes do térreo não foi muito diferente do apresentado para os dias de inverno. Neste caso, os modelos construtivos compostos pelas telhas sanduíche e fibrocimento continuam estabelecendo os limites máximos e mínimos de temperatura entre os sistemas simulados. No entanto, a diferença de temperatura máxima atingida entre os dois modelos construtivos foi de 1,27° Celsius às 17:30 horas no ambiente cozinha com área de jantar. Mesmo com um ganho considerável em relação à camada de ar do segundo pavimento, já é possível verificar uma grande influência causada pelo tipo de material utilizado na cobertura. Na Figura 8 estão apresentados os valores de temperatura encontrados para estes dois sistemas. Nesta simulação a telha sanduíche se demonstrou mais adequada em questões de conforto pois conseguiu manter um isolamento térmico melhor para a edificação em dias de verão.

Figura 8 – Comparação de desempenho térmico na cozinha com área de jantar do pavimento térreo para o dia típico de verão.



Fonte: Autor.

Em nenhuma situação estas variações foram superadas, no pavimento térreo, quando considerados os demais métodos construtivos, tanto para dias de inverno quanto para dias de verão. Conforme níveis de conforto estabelecidos pela NBR 15575, parte 1 (ABNT, 2013a), todos os métodos construtivos atendem aos critérios de desempenho térmico mínimo no

pavimento térreo, sendo, os valores de temperatura interna sempre superiores em mais de 3°C ao valor mínimo da temperatura externa para dias de inverno e sempre inferiores ao valor máximo de temperatura externa para dias de verão.

Por outro lado, na cobertura, foram identificadas grandes variações em relação ao desempenho térmico dos ambientes. Neste caso, a cobertura está dividida entre dois dormitórios de mesma área e um hall que faz a separação entre ambos, conforme foi apresentado na Figura 4. Embora os dormitórios apresentem a mesma área, ambos são diferenciados pelo tipo de janela presente na fachada. Desta forma, os dormitórios foram divididos em: dormitório sul, composto por janelas comuns retangulares e dormitório norte, onde as janelas englobam praticamente toda a fachada do mesmo, conforme descrito anteriormente. Portanto, devido à localização geográfica da edificação, a incidência dos raios solares é mais forte na fachada norte durante o período de inverno.

As curvas de temperatura sempre se comportam em forma de onda, onde é possível verificar apenas um valor máximo e um valor mínimo de temperatura. Desta forma, para melhor entendimento dos resultados obtidos, serão apresentadas tabelas comparando os picos inferior e superior de temperatura. Além disso, as mesmas serão classificadas em ordem decrescente em função dos materiais construtivos utilizados, sendo, o primeiro material aquele que apresentou o melhor desempenho dentro da edificação em comparação às temperaturas externas. Portanto, para o dia de inverno, considera-se mais adequado o material que condicionar a edificação a uma temperatura mais elevada durante o período mais frio do dia e mais amena durante o período mais quente do dia. Da mesma forma, para o dia de verão, considera-se mais adequado o material capaz de manter a edificação na menor temperatura, seja quando comparado a temperatura máxima ou mínima do dia.

Na Tabela 3 estão apresentados os valores máximos de temperatura para o dia de inverno no dormitório sul. Para uma temperatura externa de 17,00° Celsius, são esperados valores próximos a este, viabilizando o maior conforto da edificação. Verifica-se que a telha sanduíche apresenta comportamento distinto em relação a telha de fibrocimento, sendo a diferença de temperatura entre ambas de 3,71° Celsius, comprovando isolamento térmico da telha sanduíche. Por outro lado, a variação da temperatura dos demais tipos de telha, incluindo a própria telha de fibrocimento com o acréscimo de camada de ar e forro, foi muito pequena.

Tabela 3 – Valores máximos de temperatura interna no dormitório sul para o dia de inverno.

	Dormitório Sul	
	Temperatura (°C)	Horário (h)
Telha Sanduíche	15.47	15:00:00
Telha de Concreto	16.25	16:15:00
Telha <i>Shingle</i>	16.39	15:30:00
Telha Cerâmica	16.62	15:15:00
Telha Fibro-cimento com Forro	16.95	14:45:00
Temperatura Externa	17.00	16:00:00
Telha Fibrocimento	19.18	14:30:00

Fonte: Autor.

Para o mesmo ambiente, mas agora comparando as temperaturas mínimas, conforme Tabela 4, é possível destacar a grande vantagem da telha sanduíche em relação às demais. Com uma temperatura externa crítica de 2,80° Celsius, a telha sanduíche apresentou uma vantagem de mais de 1,00° Celsius em relação ao segundo melhor desempenho, referente a telha de concreto. Da mesma forma, a vantagem desta telha torna-se ainda mais expressiva quando comparada com a telha de fibrocimento onde a diferença de temperatura foi de 4,60 °Celsius.

Tabela 4 – Valores mínimos de temperatura interna no dormitório sul para o dia de inverno.

	Dormitório Sul	
	Temperatura (°C)	Horário (h)
Telha Sanduíche	11.96	06:45:00
Telha de Concreto	10.44	07:30:00
Telha <i>Shingle</i>	10.29	07:15:00
Telha Cerâmica	9.94	07:00:00
Telha Fibrocimento com Forro	9.45	06:45:00
Telha Fibrocimento	7.36	06:45:00
Temperatura Externa	2.80	07:00:00

Fonte: Autor.

A partir dos resultados apresentados nas Tabelas 3 e 4, é possível determinar a amplitude térmica e o tempo que cada método construtivo levou para que a temperatura interna variasse de um valor mínimo para um valor máximo. Conforme Tabela 5, a temperatura externa apresentou uma amplitude de 14,20° Celsius dentro de um intervalo de 9 horas. Comparando novamente os dois extremos, a telha sanduíche apresentou uma amplitude de 3,51° Celsius em um intervalo de 8 horas e 15 minutos e a telha de fibrocimento apresentou uma amplitude de 11,82° Celsius em um intervalo de 7 horas e 45 minutos. Considerando que o isolamento térmico de um material depende da capacidade do mesmo impedir trocas de calor entre meios diferentes, a telha sanduíche estabelece uma grande vantagem em relação às demais telhas, impedindo a entrada e saída excessiva de calor durante o dia típico de inverno.

Tabela 5 – Amplitude térmica interna no dormitório sul para o dia de inverno.

	Dormitório Sul	
	Temperatura (°C)	Tempo entre picos (H)
Telha Sanduíche	3.51	08:15:00
Telha de Concreto	5.81	08:45:00
Telha <i>Shingle</i>	6.11	08:15:00
Telha Cerâmica	6.68	08:15:00
Telha Fibrocimento com Forro	7.50	08:00:00
Telha Fibrocimento	11.82	07:45:00
Temperatura Externa	14.20	09:00:00

Fonte: Autor.

Conforme descrito anteriormente, a fachada norte é a que receberá a maior quantidade de raios solares durante o dia típico de inverno e, além disso, devido a fachada ser basicamente de vidro, o dormitório apresenta uma maior capacidade de realizar trocas térmicas com o meio externo, em comparação ao dormitório sul.

A Tabela 6 apresenta os valores de temperatura máxima para o dia típico de inverno, no dormitório norte. Com uma maior insolação sobre o ambiente, é possível perceber que as temperaturas, em todos os métodos construtivos, foram superiores a temperatura externa. Além disso, para estas condições e para a análise de temperaturas máximas, a telha de concreto proporciona um desempenho térmico pouco melhor para o ambiente em comparação a telha sanduíche. Contudo, essa variação consolida a necessidade de se realizar simulações térmicas para a análise do desempenho térmico de edificações, pois, mesmo que um material apresente desempenho térmico melhor em uma determinada situação, não significa que será a

melhor opção em outras. Os demais métodos construtivos se mantem com uma variação decrescente inferior a $0,50^{\circ}$ Celsius, com exceção da telha de fibrocimento, construída de forma convencional atingindo uma diferença de $1,68^{\circ}$ Celsius em relação ao mesmo tipo de telha acrescida de uma camada de ar e forro de gesso.

Tabela 6 – Valores máximos de temperatura interna no dormitório norte para o dia de inverno.

	Dormitório Norte	
	Temperatura ($^{\circ}$ C)	Horário (H)
Temperatura Externa	17.00	16:00:00
Telha de Concreto	18.97	15:15:00
Telha Sanduíche	19.01	14:45:00
Telha <i>Shingle</i>	19.40	15:00:00
Telha Cerâmica	19.60	14:45:00
Telha Fibrocimento com Forro	19.87	14:45:00
Telha Fibrocimento	21.55	14:30:00

Fonte: Autor.

Ao comparar as temperaturas mínimas, o método construtivo com telha sanduíche encontra-se novamente como o método mais adequado para a edificação. Conforme Tabela 7, este método construtivo apresenta uma vantagem de $1,52^{\circ}$ Celsius em relação ao segundo melhor método, com telha de concreto, e de $4,70^{\circ}$ Celsius em relação ao pior desempenho, com a telha de fibrocimento. Quando analisadas as temperaturas mínimas da edificação, entende-se o modelo como um meio capaz de limitar a perda de calor para o meio externo, já que a temperatura vem decrescendo com o passar do tempo. Desta forma, mesmo que a temperatura máxima tenha apresentado valores pouco maiores, no método construtivo com telha sanduíche, a perda de calor para o meio externo é consideravelmente menor em comparação ao modelo com telha de concreto.

Tabela 7 – Valores mínimos de temperatura interna no dormitório norte para o dia de inverno.

	Dormitório Norte	
	Temperatura ($^{\circ}$ C)	Horário (H)
Telha Sanduíche	11.84	06:45:00
Telha de Concreto	10.33	07:15:00
Telha <i>Shingle</i>	10.14	07:00:00
Telha Cerâmica	9.77	07:00:00
Telha Fibrocimento com Forro	9.27	06:45:00
Telha Fibrocimento	7.14	06:45:00
Temperatura Externa	2.80	07:00:00

Fonte: autor.

Levando em consideração a orientação da edificação e conseqüentemente o maior recebimento de energia solar além do aumento na perda de calor para o meio externo causada pela fachada em vidro, espera-se um aumento na amplitude térmica neste ambiente. A Tabela 8 apresenta os valores de amplitude térmica relacionados ao dia típico de inverno. Comparando os resultados obtidos na Tabela 8 com os resultados apresentados na Tabela 5, é possível verificar um aumento de aproximadamente 3° Celsius em todos os métodos construtivos. Esta diferença deve-se principalmente ao aumento na temperatura máxima do ambiente, visto que, a diferença de temperatura mínima ficou muito próxima a 0° Celsius.

Destaca-se aqui que, mesmo com uma variação de materiais utilizados na vedação do ambiente e uma maior incidência de raios solares sobre o mesmo, os materiais compostos do telhado se apresentam na mesma ordem de desempenho térmico, sendo, portanto, para dias de inverno, a telha sanduíche considerada a mais adequada para esta edificação.

Tabela 8 – Amplitude térmica interna no dormitório norte para o dia de inverno.

	Dormitório Norte	
	Temperatura (°C)	Tempo entre picos (H)
Telha Sanduíche	7.17	08:00:00
Telha de Concreto	8.64	08:00:00
Telha <i>Shingle</i>	9.26	08:00:00
Telha Cerâmica	9.82	07:45:00
Telha Fibrocimento com Forro	10.60	08:00:00
Temperatura Externa	14.20	09:00:00
Telha Fibrocimento	14.41	07:45:00

Fonte: autor.

Além das simulações para verificação de temperatura interna no dia típico de inverno, a edificação também foi simulada para o dia típico de verão, com os mesmos modelos construtivos adotados anteriormente. Neste contexto, considerando o posicionamento geográfico da edificação, a posição do sol não estabelece uma insolação maior na fachada norte e sim, uma incidência bem distribuída e pouco maior na fachada sul.

A Tabela 9 apresenta os valores máximos de temperatura interna do dormitório sul. Para uma temperatura externa máxima de 37,40° Celsius, são esperados valores de pico inferiores a este para que o desempenho mínimo definido pela norma seja atendido. Neste contexto, apenas os dois últimos métodos construtivos apresentaram valores superiores a temperatura externa da edificação, sendo necessário utilizar aparelhos de ar condicionado para atingir o conforto desejado. Destaca-se aqui a grande vantagem do método construtivo com telha sanduíche onde, a diferença de temperatura para o método com a telha *shingle* foi de 3,79° Celsius e para a telha de fibrocimento foi de 12,16° Celsius. Comparando os resultados e considerando que o verão é o período do ano onde as condições energéticas da região são mais críticas, a escolha do material poderá trazer grandes vantagens para a edificação. Além disso, o incremento de camadas construtivas para qualquer tipo de telha, trará benefícios consideráveis nos dias mais quentes do ano. A diferença de temperatura entre os modelos com telha de fibrocimento, com e sem forro de gesso foi de 6,62° Celsius.

Tabela 9 – Valores máximo de temperatura interna no dormitório sul para o dia de verão.

	Dormitório Sul	
	Temperatura (°C)	Horário (H)
Telha Sanduíche	32.76	15:00:00
Telha <i>Shingle</i>	36.55	15:15:00
Telha de Concreto	36.94	15:45:00
Telha Cerâmica	37.31	14:45:00
Temperatura Externa	37,40	15:00:00
Telha Fibrocimento com Forro	38.30	14:15:00
Telha Fibrocimento	44.92	13:45:00

Fonte: Autor.

Da mesma forma, foram analisados os valores de temperatura mínima no dormitório sul. Nesta situação espera-se atingir o menor valor possível de temperatura, desta forma, a edificação estaria sendo dimensionada considerando o conforto térmico do usuário no período da noite que, neste caso, é o período de maior uso do ambiente. Conforme Tabela 10, a telha de fibrocimento é capaz de fornecer a menor temperatura para o ambiente durante o período de resfriamento externo. A diferença de temperatura é de 1,14° Celsius em comparação a telha de concreto.

Tabela 10 – Valores mínimos de temperatura interna no dormitório sul para o dia de verão.

	Dormitório Sul	
	Temperatura (°C)	Horário (H)
Temperatura Externa	23,03	05:00:00
Telha Fibrocimento	26.13	05:30:00
Telha Fibrocimento com Forro	26.75	05:30:00
Telha Cerâmica	26.88	05:45:00
Telha Sanduíche	26.91	05:30:00
Telha Shingle	26.96	05:45:00
Telha de Concreto	27.27	06:00:00

Fonte: Autor.

Considerando agora a amplitude térmica para cada um dos métodos construtivos, a telha sanduíche apresenta uma grande vantagem em relação aos demais métodos, conforme está apresentado na Tabela 11. Com uma diferença de 3,75° Celsius para o método com telha *shingle* e de 12,94° Celsius em comparação a telha de fibrocimento, é inevitável afirmar que o modelo construtivo com telha sanduíche apresenta um isolamento térmico superior aos demais métodos sendo que o mesmo tem maior limitação de trocas térmicas com o meio externo. Além disso, comparando novamente os resultados intermediários, verifica-se uma variação inferior a 1,15° Celsius e um ganho considerável de 7,24° Celsius em relação aos dois modelos com telha de fibrocimento.

Tabela 11 – Amplitude térmica interna no dormitório sul para o dia de verão.

	Dormitório Sul	
	Temperatura (°C)	Tempo entre picos (H)
Telha Sanduíche	5.84	09:30:00
Telha <i>Shingle</i>	9.60	09:30:00
Telha de Concreto	9.66	09:45:00
Telha Cerâmica	10.43	09:00:00
Telha Fibrocimento com Forro	11.55	08:45:00
Temperatura Externa	14.10	10:00:00
Telha Fibrocimento	18.79	08:15:00

Fonte: Autor.

Para o dormitório norte, embora a incidência de raios solares não ocorra de forma direta sobre a fachada nos dias de verão, a mesma apresenta uma construção mais favorável a ocorrência

de trocas térmicas com o meio externo, espera-se obter valores de temperatura superiores durante o período mais quente do dia.

Analisando os impactos causados pela fachada em vidro, conforme apresentado na Tabela 12, verifica-se que apenas o método construtivo com telha sanduíche consegue estabelecer níveis mínimos de conforto térmico conforme exigência normativa. Além disso, a temperatura interna do dormitório, aumentou aproximadamente 1,5° Celsius, em relação ao dormitório sul, para todos os métodos construtivos. A diferença entre os extremos causados pela telha sanduíche e a telha de fibrocimento atingiu 11,53° Celsius e a temperatura do dormitório com o método construtivo em fibrocimento chegou a 46,10° Celsius, um aumento de temperatura igual a 8,70° Celsius em comparação a temperatura externa.

Tabela 12 – Valores máximos de temperatura interna no dormitório norte para o dia de verão.

	Dormitório Norte	
	Temperatura (°C)	Horário (H)
Telha Sanduíche	34.58	15:00:00
Temperatura Externa	37.40	15:00:00
Telha <i>Shingle</i>	38.09	15:00:00
Telha de Concreto	38.37	15:30:00
Telha Cerâmica	38.82	14:45:00
Telha Fibrocimento com Forro	39.78	14:15:00
Telha Fibrocimento	46.10	13:45:00

Fonte: Autor.

Para dias de verão, considerando a temperatura mínima do dia, a variação de temperatura entre os dormitórios norte e sul, para todos os métodos construtivos, foi inferior a 0,2° Celsius. De uma forma geral, não houveram alterações significativas no desempenho térmico da edificação, conforme pode ser verificado na Tabela 13.

Tabela 13 – Valores mínimo de temperatura interna no dormitório norte para o dia de verão.

	Dormitório Norte	
	Temperatura (°C)	Horário (H)
Temperatura Externa	23.03	05:00:00
Telha Fibrocimento	26.08	05:30:00
Telha Fibrocimento com Forro	26.81	05:30:00
Telha Cerâmica	26.94	05:45:00
Telha <i>Shingle</i>	27.04	05:45:00
Telha Sanduíche	27.08	05:30:00
Telha de Concreto	27.33	06:00:00

Fonte: Autor.

Como a temperatura interna máxima aumentou significativamente e a temperatura interna mínima se manteve quase constante, é possível afirmar que a amplitude térmica interna no dormitório norte tende a aumentar. Conforme Tabela 14, o aumento na amplitude térmica é de aproximadamente 1,5° Celsius em relação ao dormitório Sul, para todos os modelos construtivos. Este aumento deve-se a maior absorção de calor dada pelo tipo de material empregado na fachada. Mesmo assim, verifica-se a não alteração na ordem de desempenho

dos materiais empregados. No entanto, destaca-se novamente o ganho de desempenho causado pelo incremento de camadas construtivas no modelo com telha de fibrocimento. A diferença entre ambos foi de 7,05° Celsius, onde o método com forro de gesso apresentou uma amplitude térmica menor que a amplitude térmica externa.

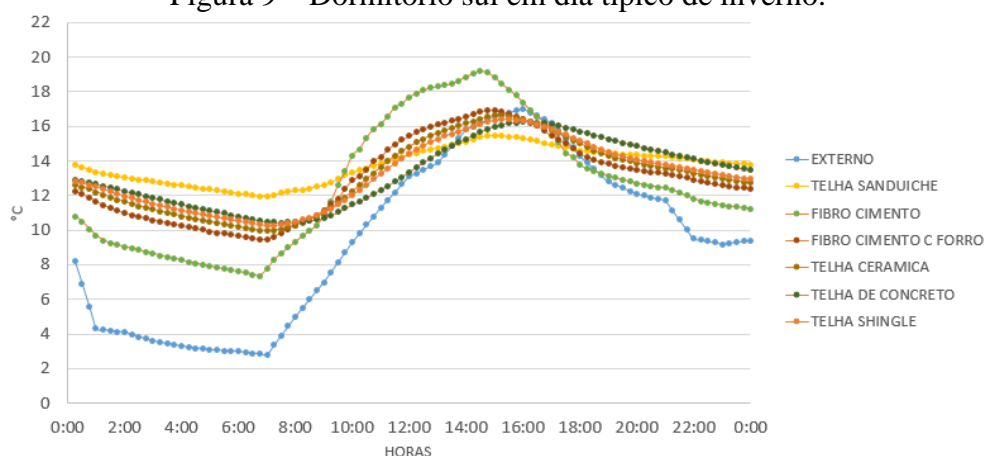
Tabela 14 – Amplitude térmica interna no dormitório norte para o dia de verão.

	Dormitório Norte	
	Temperatura (°C)	Tempo entre picos (H)
Telha Sanduíche	7.50	09:30:00
Telha de Concreto	11.04	09:30:00
Telha <i>Shingle</i>	11.05	09:15:00
Telha Cerâmica	11.88	09:00:00
Telha Fibrocimento com Forro	12.97	08:45:00
Temperatura Externa	14.10	10:00:00
Telha Fibrocimento	20.03	08:15:00

Fonte: Autor.

Como complemento as análises realizadas acima, serão apresentados os resultados em meio gráfico. Conforme descrito anteriormente, as tabelas apresentam os valores de pico inferiores e superiores, mas não demonstram valores de transição. Desta forma, conforme pode ser verificado na Figura 9, para o dormitório sul em dias típicos de inverno, ocorre uma transição de temperatura mais brusca no modelo construtivo com telha de fibrocimento e a transição de temperatura no modelo com telha sanduíche é mais suave. Além disso, conforme descrito anteriormente, os demais modelos apresentam uma variação intermediária, não estabelecendo grandes diferenças de temperatura entre ambos.

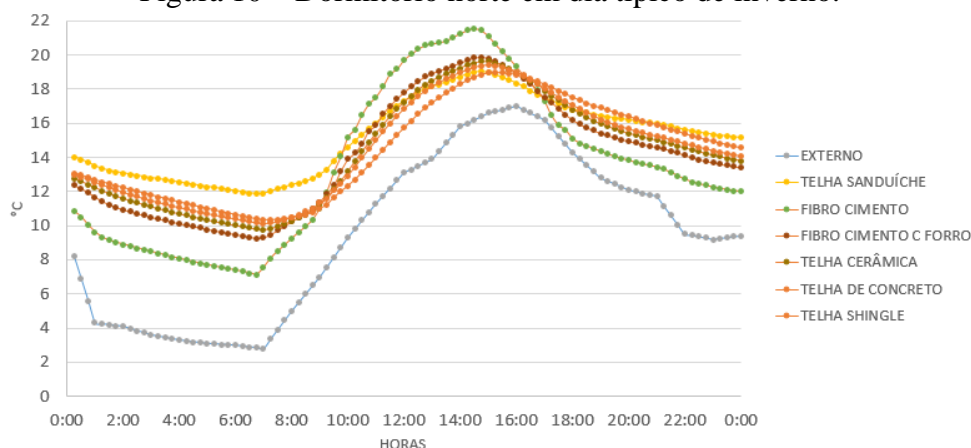
Figura 9 – Dormitório sul em dia típico de inverno.



Fonte: Autor.

Da mesma forma, no dormitório norte, também são verificadas variações expressivas na temperatura interna. Neste caso, destaca-se um aumento significativo da temperatura máxima, em relação ao dormitório sul, para todos os métodos construtivos. Onde a principal diferença é causada pelo método de vedação adotado na fachada, conforme apresentado na Figura 10.

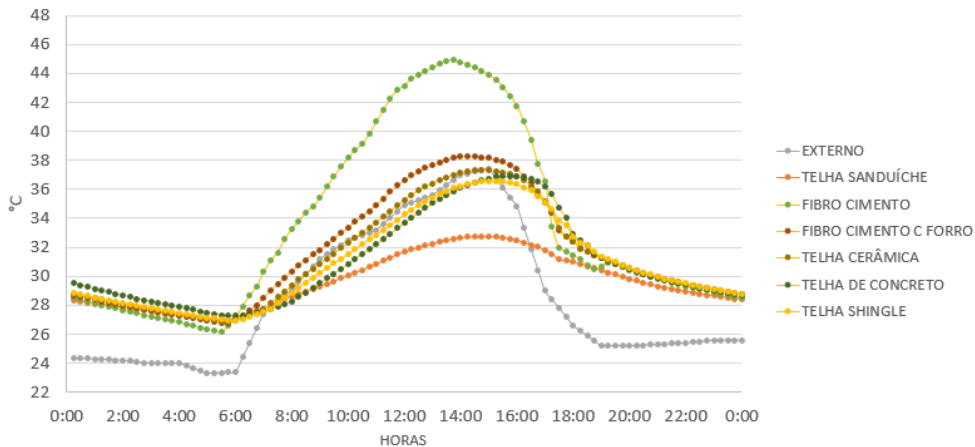
Figura 10 – Dormitório norte em dia típico de inverno.



Fonte: Autor.

Para o dia típico de verão, ocorrem grandes variações na temperatura máxima do ambiente e as temperaturas mínimas apresentam pouca variação entre si. Conforme Figura 11, a temperatura interna para o método construtivo com telha de fibrocimento sofre uma transição rápida quando comparada com a telha sanduíche. Por outro lado, a inserção de camadas adicionais no método construtivo utilizando telha de fibrocimento, proporciona um isolamento térmico muito superior quando comparado ao método convencional, com a telha isolada.

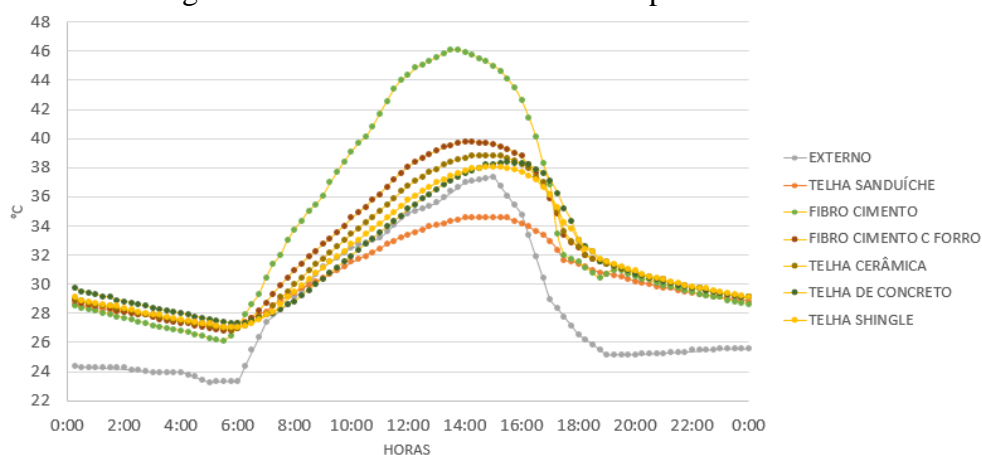
Figura 11 – Dormitório sul em dia típico de verão.



Fonte: Autor.

Por fim, a partir da colaboração ao acréscimo de temperatura em função da fachada de vidro, ocorrem grandes aumentos na temperatura interna do dormitório, estabelecendo apenas o método construtivo com telha sanduíche dentro dos valores mínimos de desempenho térmico permitidos pela norma. Verifica-se novamente uma transição brusca no modelo com telha de fibrocimento tornando-se mais suave até o modelo com telha sanduíche, conforme Figura 12.

Figura 12 – Dormitório norte em dia típico de verão.



Fonte: Autor.

4 CONCLUSÃO

A pesquisa descreve a importância de se realizar simulação não apenas para comparar diferentes componentes construtivos do sistema de cobertura, mas também para analisar a capacidade de melhorar o desempenho térmico da edificação habitacional alterando os mesmos. O conhecimento a respeito de programas computacionais, capazes de gerar perspectivas da edificação ainda na fase de projeto, traz inúmeras vantagens na construção civil. Desta forma, é possível adequar as possibilidades construtivas da região com o objetivo de atender o conforto térmico necessário para a satisfação do usuário.

Os resultados de temperatura interna obtidos para as dependências do térreo, no dia típico de inverno, demonstram-se pouco influenciados pelo tipo de material utilizado na vedação do telhado. A diferença de temperatura entre o pior e o melhor método construtivo (telha de fibrocimento e telha sanduíche respectivamente) foi muito pequena, sendo que, para o método construtivo com telha de fibrocimento, a temperatura interna da edificação apresentou valor de até 0,65° Celsius menor do que no modelo construtivo com telha sanduíche. Para dias de verão esta diferença se torna um pouco mais expressiva e, o modelo com telha de fibrocimento apresenta resultados de temperatura de até 1,27° Celsius superior em relação ao método construtivo com telha sanduíche.

Por outro lado, as dependências da cobertura sofrem uma influência direta do telhado e com isso, o modelo construtivo com telha sanduíche apresenta uma vantagem térmica superior a 4,50° Celsius para o dia típico de inverno e 11,00° Celsius para o dia típico de verão, quando comparado aos piores resultados, obtidos pelo modelo construtivo com telha de fibrocimento. Contudo, foi demonstrado que é possível melhorar o desempenho térmico dos ambientes da cobertura acrescentando forro de gesso ao modelo construtivo com telha de fibrocimento. A vantagem térmica do modelo com forro de gesso foi superior 2° Celsius para o dia típico de inverno e 6° Celsius para o dia típico de verão. Os resultados obtidos para os demais sistemas de cobertura foram intermediários a estes, assim, a edificação apresentou resultados de desempenho térmico melhores do que os resultados apresentados no modelo com telha de fibrocimento e piores do que os resultados apresentados no modelo com telha sanduíche.

Portanto, como em alguns ambientes as temperaturas não variam expressivamente em função do componente empregado no sistema de cobertura, verifica-se que, por meio da simulação computacional, é possível planejar a utilização do ambiente, definindo as áreas com maior índice de ocupação através do critério do melhor desempenho térmico.

Por outro lado, quando busca-se adequar um projeto arquitetônico à realidade habitacional, é necessário conhecer as possibilidades e identificar as vantagens que os componentes podem oferecer. Os resultados desta pesquisa indicam a possibilidade de melhorar as condições

térmicas da edificação alterando apenas a composição do sistema de cobertura. No entanto, muitas outras possibilidades estão disponíveis, compreendendo: revestimentos, vedação vertical, isolamentos e sistemas naturais de recirculação de ar, que apresentam maior ou menor influência conforme a solução arquitetônica adotada para a edificação.

REFERÊNCIAS

3D WAREHOUSE. **Casa de Campo**. Disponível em:

<https://3dwarehouse.sketchup.com/model/2c4d187b84892e6ef0fd08db34affe1f/Casa-de-Campo>. Acesso em: 05 fevereiro 2019.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). **ASHRAE Standard 55**: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2**: desempenho térmico de edificações - parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3**: desempenho térmico de edificações - parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**: edificações habitacionais: Desempenho - Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-4**: edificações habitacionais: Desempenho - Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações. Rio de Janeiro, 2013b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-5**: edificações habitacionais: Desempenho - Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas. Rio de Janeiro, 2013c.

BIGLADER SOFTWARE Biglader Software. **Euclides**. Disponível em:

<https://bigladdersoftware.com/projects/euclid/>. Acesso em: 13 janeiro 2019.

COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. CMMD: **Nosso futuro comum** - 2ª Edição. Rio de Janeiro, 1991.

GOMES, A. P. **Avaliação do desempenho térmico de edificações unifamiliares em Light Steel Framing**. 2007. 172 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) –Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2007.

LABEEE. **Arquivos climáticos**: Porto Alegre. Florianópolis, [2016]. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/inmet2016>>. Acesso em: 13 janeiro 2019.

MADRUGA, E. L. **Desempenho térmico: Comparativo de edificações em light steel framing com edificações em bloco cerâmico através da simulação computacional**. 2016. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE. **Informações climáticas de Porto Alegre**. Porto Alegre, [2019]. Disponível em:

<http://www2.portoalegre.rs.gov.br/turismo/default.php?p_secao=260>. Acesso em: 30 março 2019.