

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

DESEMPENHO TÉRMICO DE UMA EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL PARA ZONAS  
BIOCLIMÁTICAS DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL FRENTE ÀS VARIAÇÕES  
DE ENVELOPE CONSTRUTIVO.

por

Alberto Togni

Monografia apresentada ao Departamento  
de Engenharia Mecânica da Escola de  
Engenharia da Universidade Federal do Rio  
Grande do Sul, como parte dos requisitos  
para obtenção do diploma de Engenheiro  
Mecânico.

Porto Alegre, dezembro de 2017

DESEMPENHO TÉRMICO DE UMA EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL PARA ZONAS  
BIOCLIMÁTICAS DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL FRENTE ÀS VARIAÇÕES  
DE ENVELOPE CONSTRUTIVO.

por

Alberto Togni

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS  
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE  
**ENGENHEIRO MECÂNICO**  
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Dra. Thamy Cristina Hayashi  
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: **Ciências Térmicas**

Orientador: Prof.Dr. Paulo Smith Schneider

Comissão de Avaliação:

Prof. Dr. Paulo Otto Beyer

Prof. Dr. Pedro Barbosa Mello

Prof.

Porto Alegre, dezembro de 2017.

Togni, A. **Desempenho térmico de uma edificação residencial para as zonas bioclimáticas do estado do Rio Grande do Sul frente às variações de envelope construtivo**. 2017. 22 fls. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

## **RESUMO**

Este trabalho avalia um total de cinco tipologias de envelopes construtivos para residências unifamiliares do tipo apartamento edificadas nas zonas climáticas 1 e 2 da NBR15220(2003). Esta análise baseou-se na utilização de simulação térmica no software EnergyPlus com arquivos climáticos das cidades de Vacaria e Santa Maria, Rio Grande do Sul. O desempenho do comportamento térmico de cada método construtivo é fundamentado na definição de graus hora de conforto térmico para residências sem sistemas de ar condicionado e carga térmica nos casos com condicionamento de ar. O trabalho conclui que as melhores condições de conforto térmico são obtidas através da utilização de paredes que possuem massa térmica colocada no lado interno à construção e isolamento térmico no lado externo para os casos em livre evolução de temperatura. Para Santa Maria e Vacaria, essa tipologia resultou em um aumento de graus hora de conforto térmico em comparação ao padrão de 15% e 33%, respectivamente. Nos casos com sistema de condicionamento de ar, a solução com massa térmica colocada no lado externo e isolamento no lado interno mostra-se como uma melhor opção na redução de carga térmica. Essa tipologia permite uma redução de carga térmica de 12% em Santa Maria e 37% em Vacaria na mesma base de comparação.

**PALAVRAS CHAVE:** desempenho térmico e energético de edificações, envelope construtivo, isolamento térmico, conforto térmico, EnergyPlus.

Togni, A. **Thermal performance of a residential edification in the climate zones of Rio Grande do Sul state regarding changes in the building envelope.** 2017. 22 fls. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

## **ABSTRACT**

This paper aims to evaluate the total of five construction envelopes for single-family residences built in the climate zone 1 and 2 of NBR15220 (2003). The analysis was based on simulations in the EnergyPlus software, with climate file of Vacaria and Santa Maria, Rio Grande do Sul. The thermal performance of each typology was estimated at hourly thermal comfort for unconditioned constructions and thermal load for residences with HVAC systems. It was concluded that for thermal comfort the constructions with internal thermal mass and external insulation performs better. Otherwise, for conditioned buildings, the best approach was to use external thermal mass and internal insulation. For Santa Maria and Vacaria, the typology with insulation on the external wall face generated an increase in degrees hour of thermal confort in comparison with the standard wall of 15% and 33%, respectively. In the other side, the construction with insulation on the external face of the envelope permitted a reduction in thermal load of 12% in Santa Maria and 37% in Vacaria, in the same comparison

**KEYWORDS:** Thermal performance in buildings; Building envelope, Thermal insulation, Thermal confort, EnergyPlus

# ÍNDICE

1.	INTRODUÇÃO.....	1
2.	FUNDAMENTAÇÃO DA SIMULAÇÃO ENERGÉTICA .....	2
2.1.	Definição de zonas térmicas no EnergyPlus e cálculo do balanço energético ..	2
3.	METODOLOGIA.....	3
4.	DETALHAMENTO DO PROBLEMA.....	5
4.1.	Objeto teste e tipologia de construção .....	5
4.2.	Tipologias de construção e propriedades dos materiais utilizados .....	5
4.3.	Padrões de ocupação dos ambientes e ganhos térmicos por pessoa. ....	6
4.4.	Padrão de iluminação.....	7
4.5.	Cargas térmicas internas devido à equipamentos elétricos.....	7
4.6.	<i>Setpoints</i> de temperatura para refrigeração e aquecimento.....	8
4.7.	Padrão de ventilação .....	8
4.8.	Localidades de simulação .....	8
5.	RESULTADOS .....	8
5.1.	Análise das simulações sem sistemas de ar condicionado.....	8
5.1.1.	<i>Porcentagem de horas de conforto térmico</i> .....	8
5.1.2.	<i>Análise do comportamento térmico da sala nos picos de temperatura</i> ....	10
5.2.	Análise das simulações com sistemas de ar condicionado .....	13
6.	CONCLUSÃO.....	14
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	16
	ANEXOS .....	17

## 1. INTRODUÇÃO

As cargas térmicas de uma edificação são o resultado de fatores provenientes dos ambientes externo e interno à edificação. A atuação sobre estes ganhos de calor pode ter como alvo a mudança de equipamentos elétricos, a relação com o comportamento de usuários ou através de mudanças do envelope e geometria construtiva. Para construções residenciais, as cargas térmicas externas tendem a ser significativamente maiores do que as internas devido à baixa ocupação de pessoas, a baixa utilização de eletrônicos e eletrodomésticos de uso contínuo e a iluminação de baixa intensidade. O emprego de diferentes composições de envelope construtivo tende a proporcionar melhores condições de conforto térmico nas habitações. A construção de edificações residenciais no Brasil tem como aspecto comum o uso de materiais similares, independente da zona climática local. Segundo a NBR15220 (2003), para as zonas climáticas 1 e 2, que representam a maior parte do Rio Grande do Sul, define-se somente a massa térmica das paredes enquanto não é tratado o isolamento térmico das mesmas.

Climas como o do estado do Rio Grande do Sul apresentam amplitude térmica importante, justificando o interesse na avaliação de tipologias construtivas que propiciem a amenização destas variações. Essa avaliação pode ser feita de forma sistematizada com o auxílio de softwares de simulação. Segundo Sorgato (2009), ferramentas computacionais como o *EnergyPlus* podem analisar a inserção de alternativas que podem melhorar o desempenho térmico. Esse autor avaliou diferentes modelos de construções residenciais com variações de absorvâncias e transmitâncias de materiais. Este trabalho foi baseado no arquivo climático de Florianópolis, que representa a zona número 3 da NBR15220 (2003). Neste estudo, não foram utilizadas paredes com isolamento térmico e a residência possuía contato com o solo. Constatou-se que o isolamento térmico da cobertura e a absorvância da mesma tem grande influência nas horas de conforto da habitação. Todos estes dados foram aferidos em modelos residências com ventilação natural seletiva.

Stazi *et al* (2014) simularam uma residência unifamiliar de construção histórica com diferentes tipos de melhorias no envelope externo. O clima de avaliação foi o mediterrâneo. Neste estudo avaliou-se qual seria a melhor localização do isolamento para uma parede sólida de alta capacitância térmica. Concluiu-se que a melhor opção reside em manter a massa térmica no interior da construção e isolar o exterior ou ainda com melhores resultados, utilização de isolamento térmico adaptativo conforme a estação. As opções de melhorias de envelope construtivo foram avaliadas através de dados de redução de carga térmica e aumento do número de horas de conforto com ventilação natural. Neste trabalho foi considerado o contato construção-solo bem como as trocas térmicas provenientes do ático.

Bojic *et al* (2000) utilizaram a simulação para avaliar a redução de consumo energético através da utilização de isolamento térmico para apartamentos na cidade de Hong Kong. O arquivo climático foi o subtropical úmido. Neste estudo constatou-se que a utilização de isolamento térmico teve um impacto menor do que 10% na carga térmica de ar condicionado para a habitação. O caso onde obteve-se melhor desempenho foi com isolamento em ambas as faces de uma parede sólida de concreto.

Aldawi *et al* (2012) estudaram duas composições de paredes para residências unifamiliares em diversas cidades australianas. Conforme a localidade simulada, o clima variou entre temperado, subtropical e desértico. A composição tradicional de paredes tipicamente de baixa massa térmica e com isolamento foi comparada com uma tipologia isolada no interior e com alta massa térmica

na face exterior. Concluiu-se que a adição de massa térmica pode contribuir significativamente na redução das cargas de condicionamento de ar.

Assim, percebe-se que as melhores soluções de redução de carga térmica e aumento do conforto térmico estão intrinsicamente relacionadas ao clima onde a construção foi edificada. Identifica-se que regiões com altas diferenças de temperaturas diurnas e noturnas o conforto é beneficiado pelo aumento da massa térmica da construção. Por outro lado, esta capacidade térmica elevada, em construções com sistemas de condicionamento de ar de uso intermitente, pode haver impacto negativo na redução da carga térmica anual.

Com base nesses trabalhos, estabeleceu-se como objetivo do presente trabalho a identificação de tipologia paredes que ofereçam melhor resposta em termos de horas de conforto térmico e redução da carga de condicionamento de ar em relação ao padrão definido hoje por meio de simulação numérica de um caso escolhido.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO DA SIMULAÇÃO ENERGÉTICA

### 2.1. Definição de zonas térmicas no EnergyPlus e cálculo do balanço energético

A modelagem física do comportamento térmico de uma edificação multipeças no EnergyPlus é baseada na identificação de zonas térmicas, constituídas por um ambiente com pressão e temperaturas uniformes. As zonas são acopladas através de trocas de ar e condução de calor entre suas superfícies divisórias, como as paredes, pisos ou tetos. O acoplamento entre zonas térmicas é criado automaticamente no momento de geração da geometria assim definindo as condições de contorno para cada zona térmica.

Aqui deves colocar as equações de balanço da 1 zona, primeiro, e depois as funções de transferência entre as zonas

Para realizar o cálculo de balanço de energia interna e externa, o EnergyPlus utiliza as seguintes funções de transferência, respectivamente:

$$q''_{ki}(t) = -Z_o T_{i,t} - \sum_{j=1}^{nz} Z_j T_{i,t-j\delta} + Y_o T_{o,t} + \sum_{j=1}^{nz} Y_j T_{o,t-j\delta} + \sum_{j=1}^{nq} \Phi_j q''_{ki,t-j\delta}$$

$$q''_{ko}(t) = -Y_o T_{i,t} - \sum_{j=1}^{nz} Y_j T_{i,t-j\delta} + X_o T_{o,t} + \sum_{j=1}^{nz} X_j T_{o,t-j\delta} + \sum_{j=1}^{nq} \Phi_j q''_{ko,t-j\delta}$$

A solução destas equações é acoplada à condução através de paredes, e seus coeficientes são calculados para cada tipologia construtiva segundo o EnergyPlus Engineering Reference (2015).

A criação do modelo simulado foi realizada através do *plugin* OpenStudio inserido no software de criação SketchUp. A interação desses softwares permite a criação do envelope construtivo externo bem como as divisões internas da residência, aberturas e defini-se as zonas térmicas da construção. Este modelo inicial deve ser então acoplado ao EnergyPlus através da geração de um arquivo de formato próprio.

### 3. METODOLOGIA

O caso escolhido para o presente trabalho foi uma edificação residencial unifamiliar, baseada no modelo de Matos (2007) e Sorgato (2009) para então submetê-los a simulações em base anual em *EnergyPlus*. Nesta construção, foram escolhidos 5 tipos de paredes externas, sendo uma delas correspondente à tipologia correspondente ao padrão construtivo indicado para a zona térmica da localidade e outras 4 tipologias com variações de resistência térmica e capacitância térmica.

Foram simuladas paredes de a) alta resistência térmica, b) alta capacitância térmica e c) duas combinações de resistência térmica e capacitância térmica com variação da localização da última propriedade (face externa ou interna do fechamento). Todas as composições dos envelopes construtivos foram baseadas em materiais encontrados comumente no mercado nacional. A espessura das paredes de todas as tipologias foi idêntica, exceto para o padrão de comparação. Também foi definido que os efeitos de transferência de calor pelo teto e piso seriam desprezados (adiabáticos), emulando o comportamento térmico de apartamentos em pisos intermediários. Todas as paredes internas das construções foram previstas como sendo *drywall*, composta por duas placas de gesso com câmara de ar interna. Os perfis de ocupação e iluminação foram tomados do trabalho de Sorgato (2009), e o perfil climático foi das zonas climáticas 1 e 2 da NBR15220 (2003), representadas pelas cidades de Vacaria e Santa Maria, respectivamente. Conduziram-se os testes para residências com e sem sistemas de ar condicionado.

Os resultados das simulações foram medidos segundo dois aspectos:

1- Conforto térmico adaptativo categoria 3, segundo norma EN15251(2007) para as habitações sem sistemas de condicionamento de ar (flutuação livre de temperatura), acompanhado dos picos de alta e baixa temperatura encontrados nos cômodos durante o inverno e o verão. A norma utilizada é avaliada conforme a próxima figura.

2- Carga térmica de aquecimento e de refrigeração em cada cômodo climatizado e habitado. A soma anual tanto de aquecimento quanto de refrigeração determinou os melhores tipos construtivos.

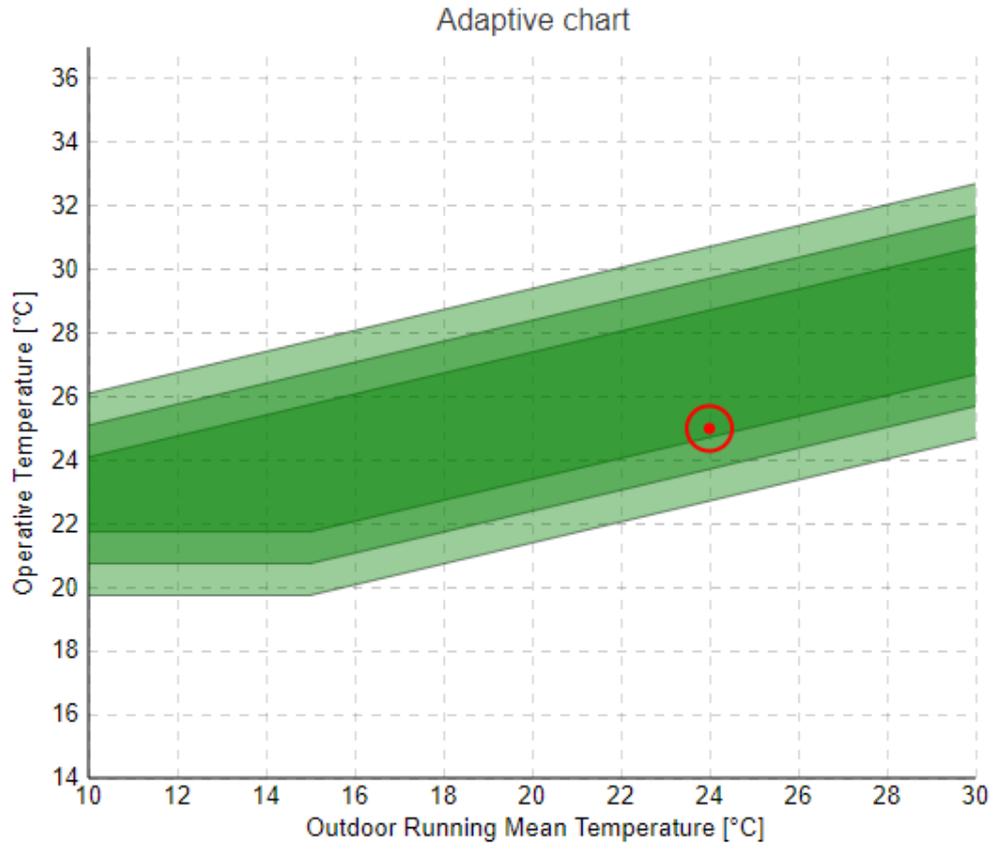


Figura 1. Limites de conforto adaptativo, com a temperatura operativa do ambiente em função da temperatura externa média dos últimos 30 dias (norma EN15251)

## 4. DETALHAMENTO DO PROBLEMA

### 4.1. Objeto teste e tipologia de construção

Uma habitação foi escolhida baseada no modelo desenvolvido por Matos (2007) e Sorgato (2009) para realizar as simulações dos elementos do envelope, como mostrado na próxima figura.

Nesta unidade residencial, cada ambiente foi considerado uma zona térmica. As dimensões de todas as janelas são de 1.5 metro de largura por 1 metro de altura. O altura para todos os cômodos é de 2.8 metros.

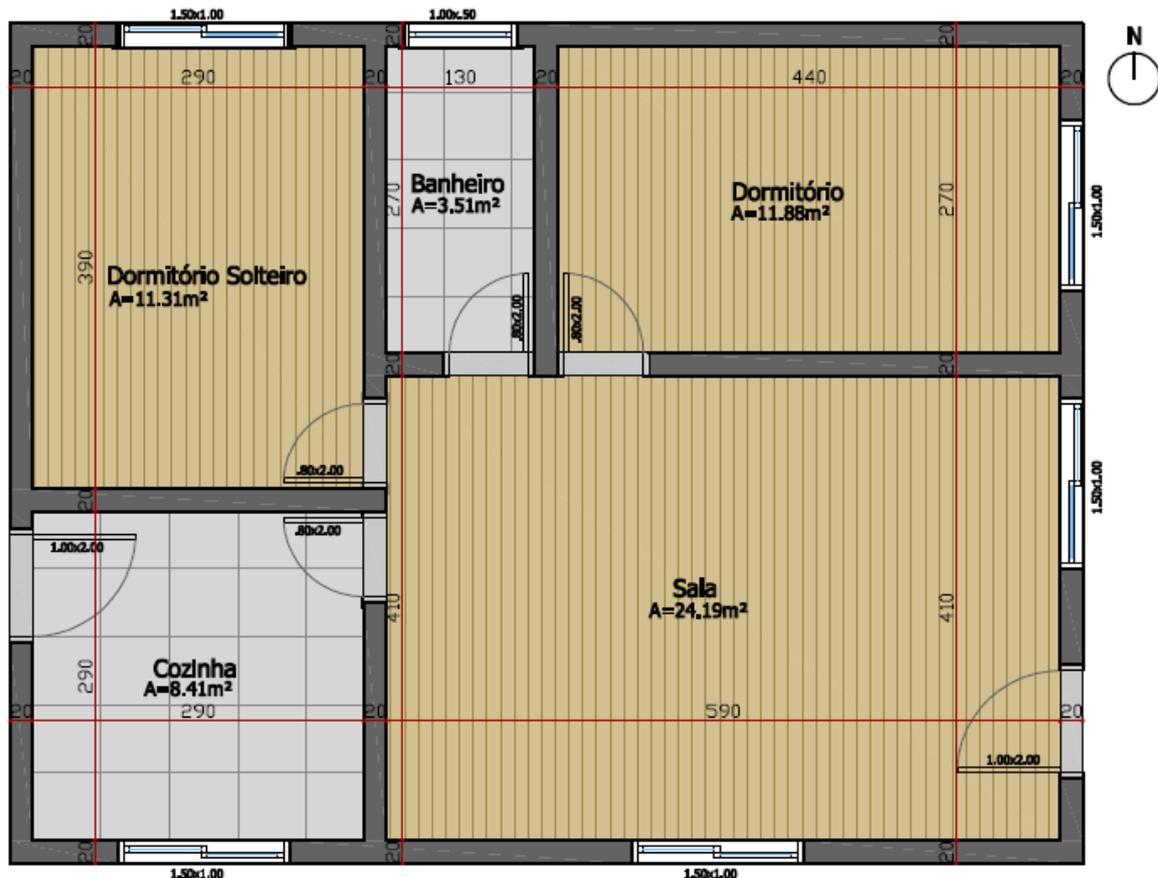


Figura 2. Planta baixa do modelo simulado

### 4.2. Tipologias de construção e propriedades dos materiais utilizados

Todas as paredes possuem a mesma espessura com exceção da tipologia padrão (TP1), sendo este o modelo construtivo mais encontrado nas zonas climáticas 1 e 2 da NBR15220 (2003). Definiu-se que as paredes teriam uma absorvância ( $\alpha$ ) de 0,4 independente do material de acabamento. As simulações basearam-se em 5 padrões construtivos de envelope externo e as paredes internas são edificadas através de placas de *drywall* (TP6).

As propriedades térmicas de todos os materiais empregados seguem a norma NBR15220 (2003), conforme declarado na tabela 01 do anexo. Salienta-se que a espessura de todas as paredes é a mesma de 279,1 mm com exceção de TP1(200mm) que representa o padrão típico de construção comumente praticado hoje no Brasil.

As camadas da próxima figura encontram-se nomeadas seguindo a ordem da face externa da parede para a face interna, isto é, o primeiro material listado em cada parede representa a superfície externa.

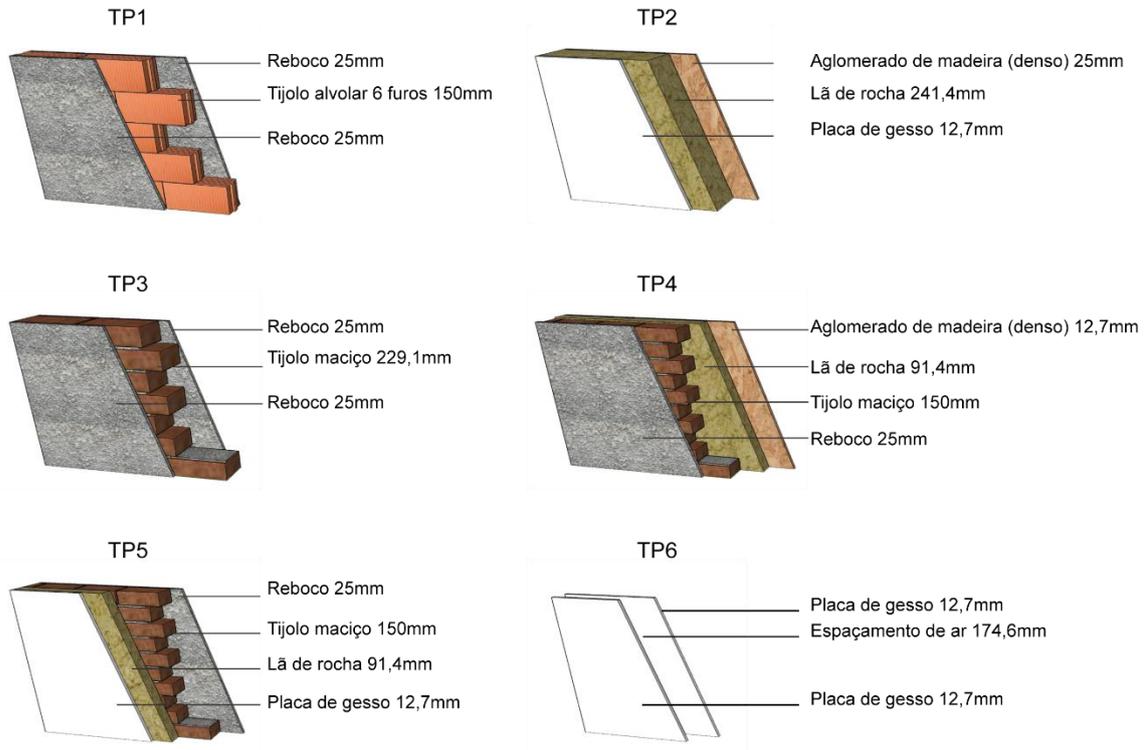


Figura 3. Camadas de material aplicados em cada tipologia construtiva.

#### 4.3. Padrões de ocupação dos ambientes e ganhos térmicos por pessoa.

O padrão de ocupação dos ambientes também foi baseado no modelo de Sorgato (2009), composto por uma residência ocupada por uma família de 4 pessoas. Os ganhos térmicos por habitante em cada ambiente foram baseados na AHSRAE (2009), sendo estes 108W para a sala, 171W para a cozinha e 81W para os dormitórios. O padrão de ocupação para o banheiro não foi especificado pois o tempo de uso é inferior ao do passo da simulação. As ocupações de cada cômodo para os períodos de dia de semana bem como para o fim de semana estão representadas na próxima figura 4.

Pode-se perceber que o padrão de habitação dos dois dormitórios é muito semelhante e que durante a maior parte do dia a residência está ocupada por pelo menos uma pessoa. Durante o final de semana, espera-se maiores ganhos térmicos devido à superior quantidade de pessoas durante o período.

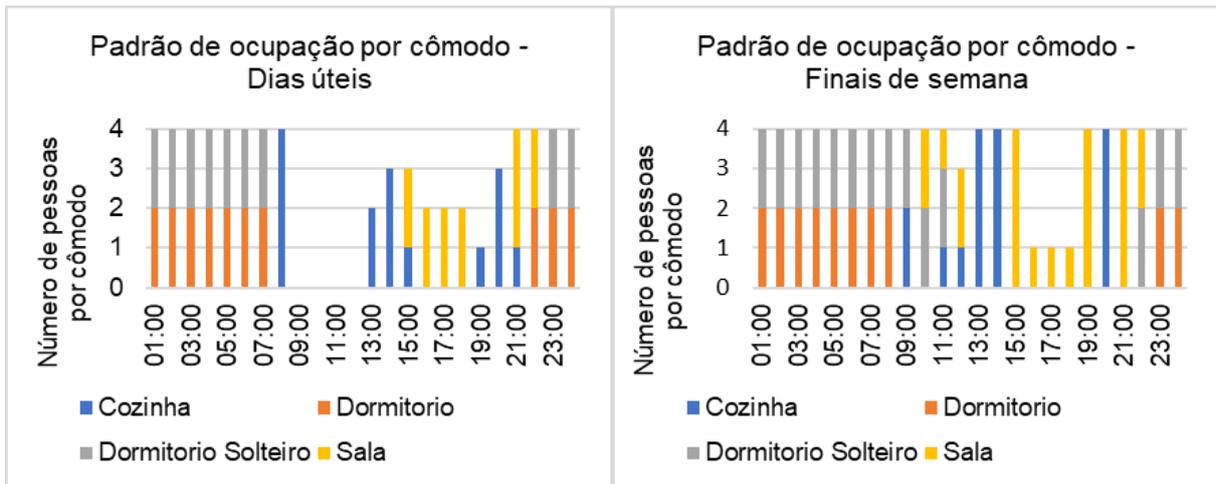


Figura 4. Padrão de ocupação por cômodo da residência para dias úteis (esquerda) e finais de semana (direita).

#### 4.4. Padrão de iluminação

Todos os ambientes simulados utilizaram a mesma potência de iluminação de  $5 \text{ W/m}^2$ . Esta baixa potência de iluminação deve-se à maciça utilização de lâmpadas fluorescentes compactas ou mesmo LED em habitações residenciais. O padrão de utilização de iluminação foi simulado conforme *schedule* abaixo e baseou-se no trabalho desenvolvido por Sorgato (2009):

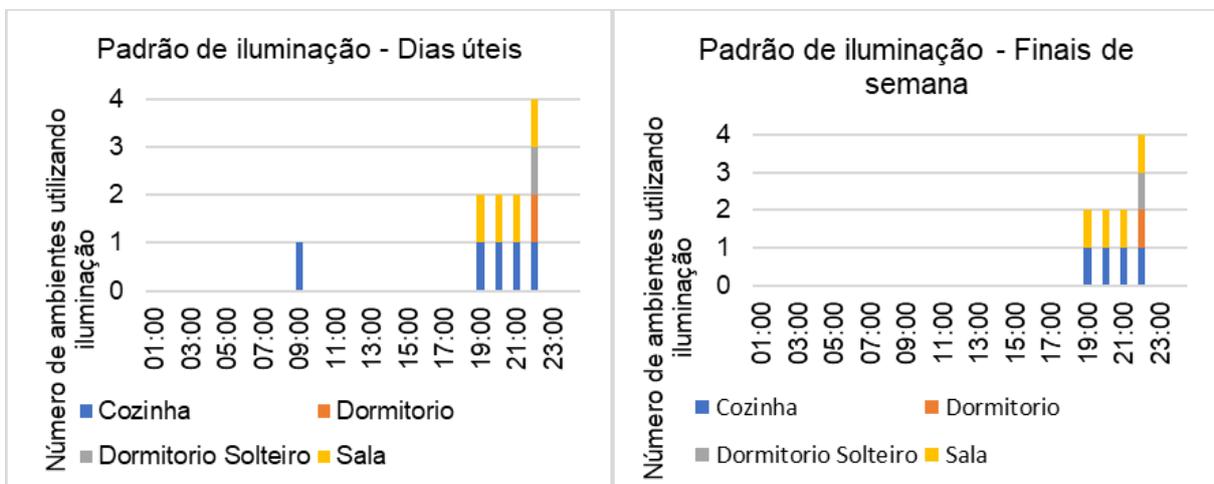


Figura 5. Padrão de iluminação por cômoda da residência para dias úteis (esquerda) e finais de semana (direita).

Pode-se observar pelos gráficos que os habitantes utilizam de iluminação natural, pouco acionando as luzes durante o dia. A diferença em utilização de iluminação entre dias úteis e finais de semana é muito pequena, representada somente por um breve acionamento da iluminação da cozinha às 9:00 da manhã.

#### 4.5. Cargas térmicas internas devido à equipamentos elétricos

Definiu-se que as cargas internas para sala e cozinha seriam de  $54 \text{ W}$  por ambiente. Esta carga deve-se principalmente ao funcionamento contínuo do refrigerador na cozinha bem como a utilização

esporádica de outros equipamentos elétricos (liquidificador, cafeteira e etc). Não foi considerada a utilização de fogão nesta simulação. Para a sala, considera-se o calor emitido por equipamentos eletrônicos como televisão e computador. Para estas cargas, não foi definido tempo de utilização e sim que as mesmas estariam emitindo continuamente calor. Nos outros ambientes, devido à natureza de baixa carga térmica constante, não foi adicionada esta variável.

#### 4.6. *Setpoints* de temperatura para refrigeração e aquecimento

Utilizou-se dois *setpoints* diferentes de temperatura para refrigeração conforme a zona térmica da residência. Para os dormitórios, a temperatura a qual o sistema de refrigeração inicia funcionamento dá-se em 22 graus, sendo esta temperatura o limite máximo da faixa de temperatura de maior conforto para ambientes de sono conforme pesquisa realizada por Song *et al* (2015). Para a sala, optou-se pela utilização da temperatura de refrigeração de 24°C, segundo recomendação da AHSRAE (2009) para o tipo de ambiente.

Para aquecimento, definiu-se a temperatura de 20°C como *setpoint* para todas as zonas térmicas, sendo esta aproximadamente a menor temperatura aceitável segundo a norma de conforto adaptativo EN15251 (2007). Como a norma pressupõe que os usuários utilizam de variações de vestuário conforme temperatura, esta torna-se adequada para avaliação da temperatura mínima de conforto em ambientes residenciais.

#### 4.7. Padrão de ventilação

Para todas as simulações definiu-se taxa de renovação de ar constante à 0,5 trocas de ar por ambiente por hora conforme trabalho de Stein (2011). Tal escolha deve-se a necessidade de avaliar o comportamento do envelope externo livre de influências de variações nas taxas de renovação de ar do ambiente causada por agentes atmosféricos. Esta grandeza de troca de ar pode ser considerada compatível também com a faixa encontrada nos modelos utilizados por Sorgato (2009) na mesma arquitetura com aberturas fechadas.

#### 4.8. Localidades de simulação

Devido a maior parte do estado do Rio Grande do Sul estar contida nas zonas climáticas número 1 e 2 da NBR15220 (2003), escolheu-se como cidades representantes para a simulação Vacaria e Santa Maria, respectivamente. A cidade de Porto Alegre não foi incluída na simulação pois a mesma é uma das únicas cidades do estado que se encontra na zona climática número 3.

## 5. RESULTADOS

### 5.1. Análise das simulações sem sistemas de ar condicionado

#### 5.1.1. *Porcentagem de horas de conforto térmico*

A porcentagem de horas onde houve conforto térmico em cada cômodo da construção foi avaliado segundo a norma EN15251 (2007). A simulação anual do *EnergyPlus* revela saídas em base horária somente para o período de ocupação do ambiente. O valor de 1 na saída de dados horários da simulação significa que houve conforto térmico na hora avaliada e 0 significa que não houve. Para os gráficos abaixo, os meses de verão são representados pela porção vermelha das barras, inverno através da porção azul e

as estações amenas (outono e primavera), em bege. Em cada mês, se houve conforto térmico durante todas as horas ocupadas do ambiente em questão, a barra terá altura de uma unidade do gráfico (eixo Y). Desta forma, em um cômodo onde houve conforto térmico durante todos os meses do ano, a barra atingirá o valor de 12 através da soma da unidade de cada mês. Barras maiores nesta comparação podem ser considerados resultados melhores.

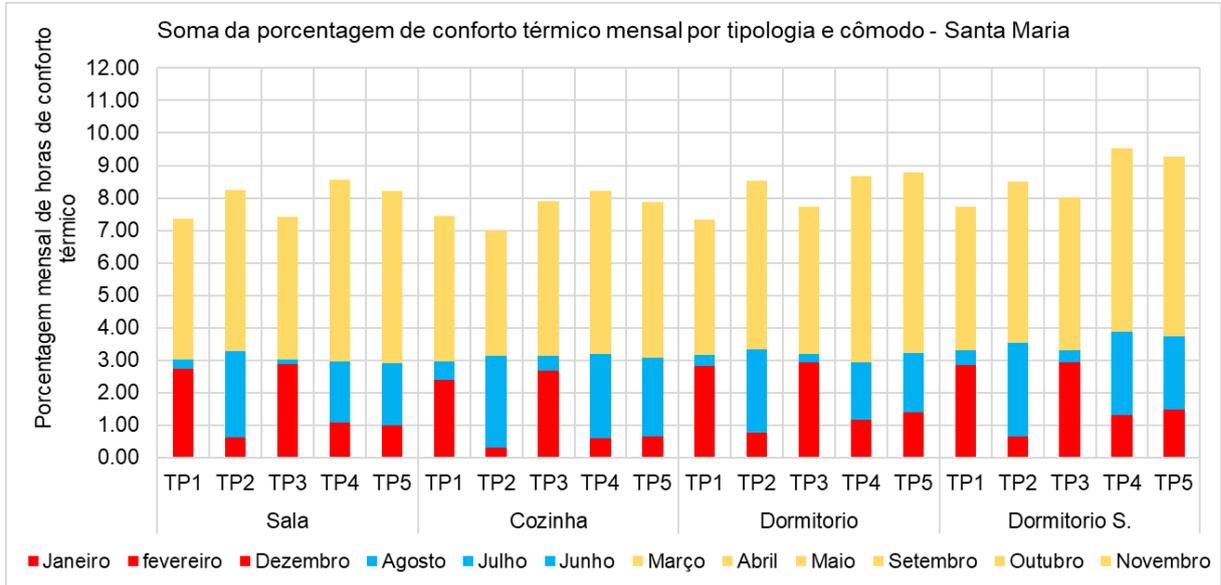


Figura 6. Porcentagem de conforto térmico em períodos com ocupação em cada cômodo para as tipologias construtivas. Clima de Santa Maria.

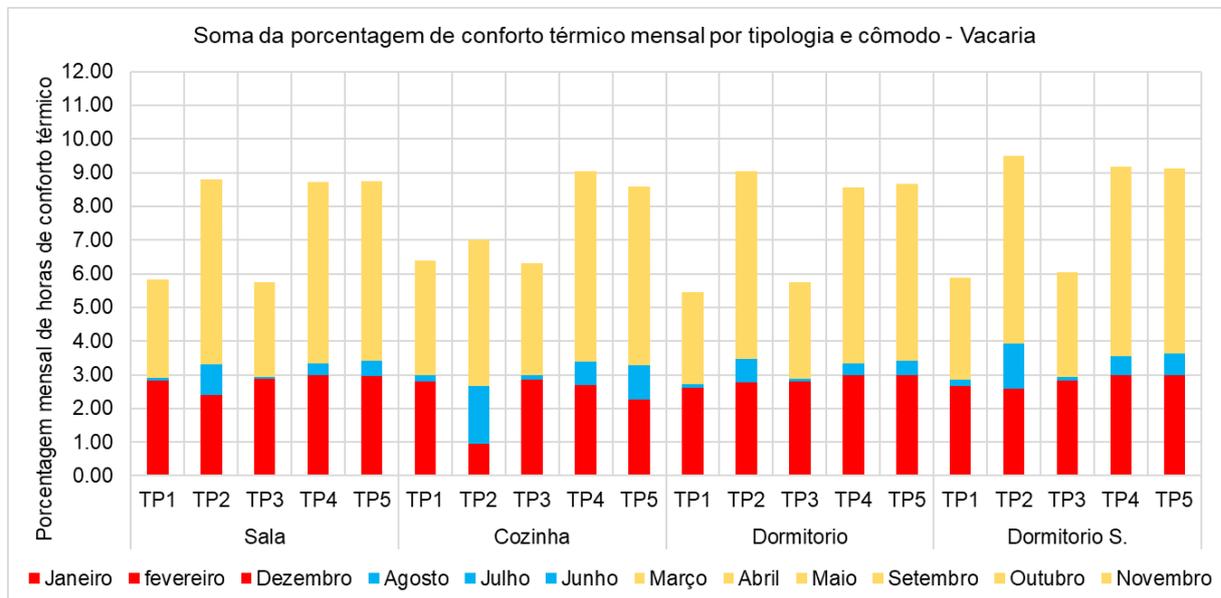


Figura 7. Porcentagem de conforto térmico em períodos com ocupação em cada cômodo para as tipologias construtivas. Clima de Vacaria.

Pode-se observar a diferença de conforto térmico para as duas localidades. Enquanto para a região fria de Vacaria tem-se conforto quase que total durante verão para todas as tipologias, em Santa Maria esta barra permanece muito inferior. Por outro lado, em Vacaria, devido ao rigoroso inverno, tem-se pouco conforto térmico, mesmo para as residências com isolamento.

Para Santa Maria, observa-se que as tipologias com isolamento térmico (TP2, TP4 e TP5), tem um comportamento muito superior as demais tipologias durante os meses de inverno, enquanto as mesmas têm uma performance inferior durante o verão. Para o verão, as tipologias que mais desenvolveram conforto térmico foram TP1 e TP3 com leve vantagem para TP3. Desta forma, pode-se concluir que em situações de verão nesta localidade, a propriedade de capacitância térmica acoplada à baixa resistência térmica proporciona melhores condições aos ocupantes dos ambientes. Por outro lado, para o inverno, pode-se inferir claramente que a resistência térmica tem um papel decisivo. Na soma anual de conforto, a TP4 teve superioridade para todos os ambientes com 15% a mais de horas do que a construção padrão (TP1).

Em Vacaria, devido às temperaturas reduzidas enfrentadas durante o inverno, teve-se uma baixa quantidade de horas de conforto térmico para os meses de inverno em todas as tipologias. Observa-se que em construções isoladas termicamente (TP3, TP4 e TP5) o número de horas de conforto tende a ser maior. Por outro lado, para o verão, observa-se que diferentemente de Santa Maria, tem-se menor diferença de conforto entre as tipologias testadas. Este efeito possivelmente relaciona-se ao clima mais ameno da cidade bem como ao elevado resfriamento durante o período noturno. Pode-se citar que a cozinha teve uma baixa performance durante o verão, muito provavelmente influenciada pelos ganhos térmicos internos maiores em relação à sua área. Novamente, pela média de conforto térmico anual para cada ambiente, a TP4 teve desempenho 33% superior em horas de conforto térmico em comparação à TP1.

#### *5.1.2. Análise do comportamento térmico da sala nos picos de temperatura*

A avaliação da tipologia construtiva das paredes pode ser observada pelo comportamento do ambiente da zona durante extremos de temperatura externa nas Figuras 8 e 9, para as duas cidades analisadas.

Pode-se observar a amplitude de temperatura exterior, sendo essa mais pronunciada para a cidade de Santa Maria. Percebe-se que para essa cidade alternam-se picos de temperatura com dias mais amenos.

Percebe-se claramente na figura 9 que as tipologias com isolamento térmico e baixa capacitância térmica (TP2 e TP5) tendem a atingir temperaturas do ar interno mais altas durante o período. Seguido destas tipologias, a TP4, tende a valores intermediários entre as paredes sem e com isolamento, evidenciando o comportamento atenuador da massa térmica interna. Para Santa Maria, a tipologia que apresentou maiores condições de conforto térmico às demais é a TP3, que teve elevação de temperatura interna inferior a TP1 durante os picos de temperatura enquanto possibilitou rápido resfriamento após o período.

Em Vacaria, percebe-se que a habitação tende a estabilizar em temperaturas inferiores devido ao grande resfriamento durante o período noturno, pode-se observar também que nas tipologias de paredes de maior capacitância térmica (TP3 e TP4) as temperaturas são levemente atenuadas. No caso da tipologia altamente isolada (TP2) há superaquecimento no ambiente em alguns períodos.

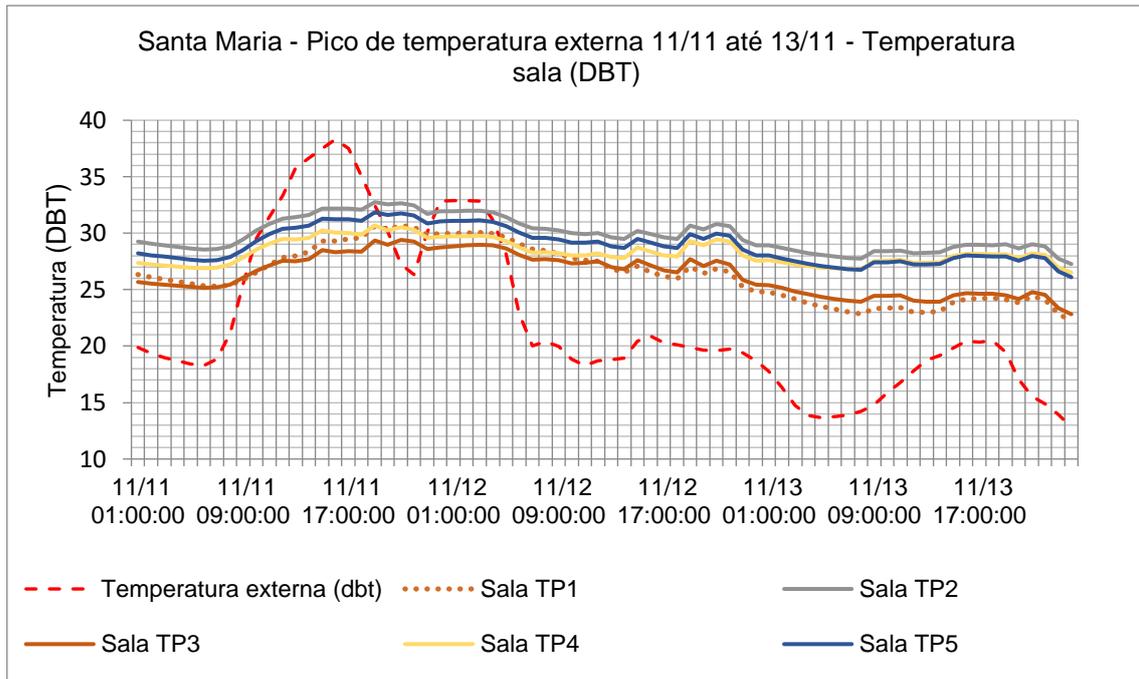


Figura 8. Temperaturas ambientes da sala para cada tipologia durante período de pico de temperatura externa do arquivo climático simulado para Santa Maria.

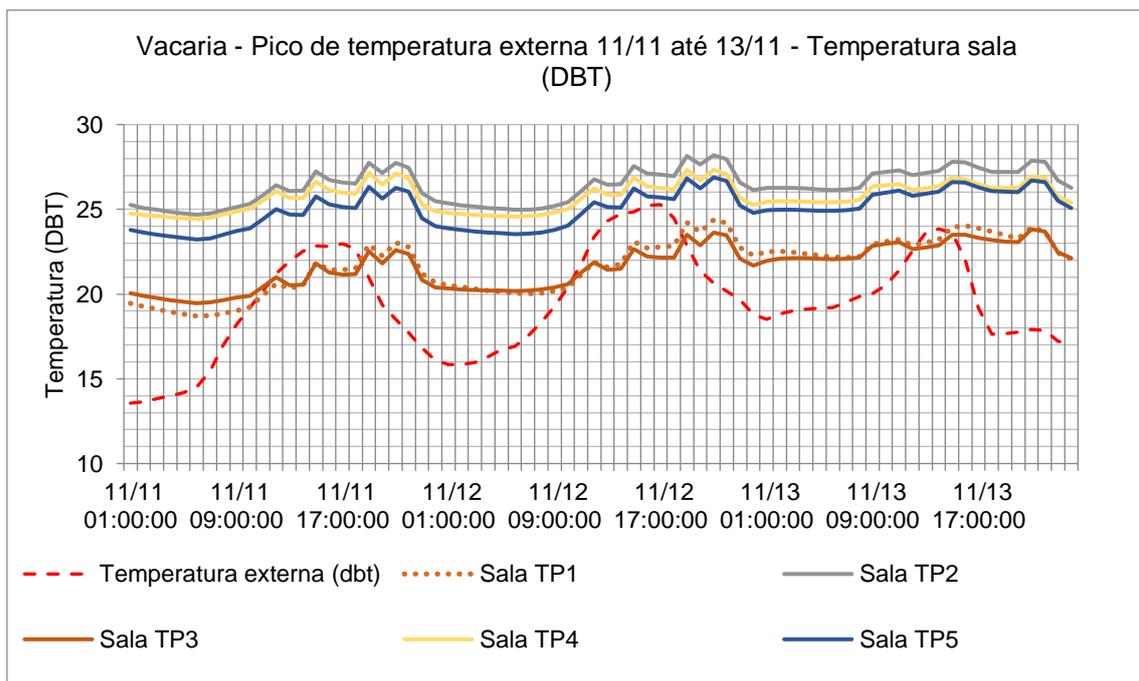


Figura 9. Temperaturas ambientes da sala para cada tipologia durante período de pico de temperatura externa do arquivo climático simulado para Vacaria.

Seguem figuras ilustrando os picos de baixas temperaturas enfrentadas pelas duas localidades no período de inverno:

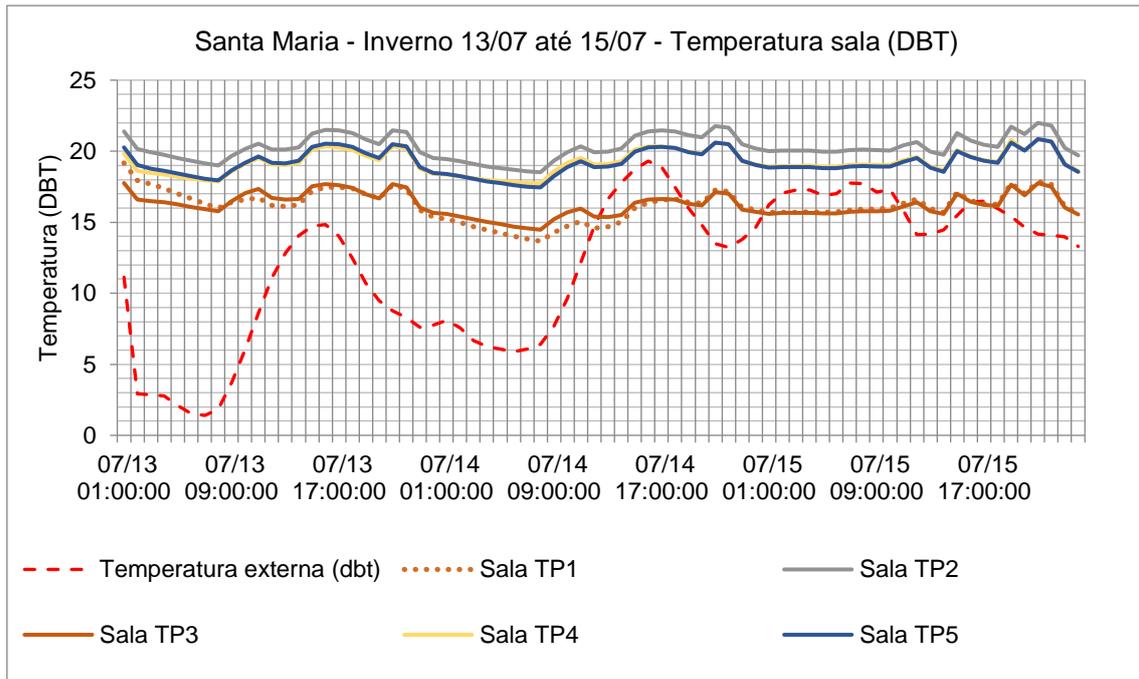


Figura 10. Temperaturas ambientes do ar da sala para cada tipologia durante período de inverno para Santa Maria.

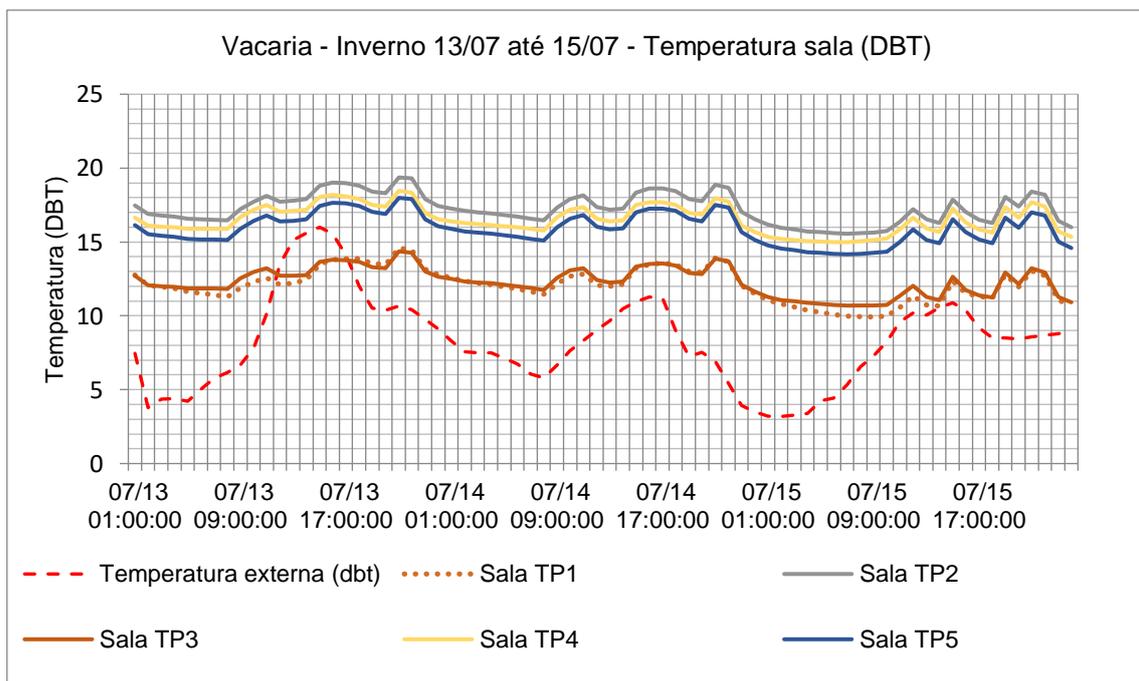


Figura 11. Temperaturas ambientes do ar da sala para cada tipologia durante período de inverno para Vacaria.

Nas duas localidades, durante o inverno, pode-se perceber que as tipologias com isolamento térmico têm uma performance muito superior em conforto. Além disso, o efeito da maior resistência térmica de TP2 tem maior impacto no conforto do que as paredes com maior massa interna e externa respectivamente TP4 e TP5.

Para a cidade de Santa Maria, observa-se que somente com isolamento térmico tem-se condições de conforto dentro do ambiente para grande parte do tempo considerado. Além disso, as paredes TP1 e TP3, apresentam comportamento muito similar.

Em Vacaria, no período de inverno, as construções sem isolamento (TP1 e TP3) tem uma performance muito fraca, com períodos onde o ambiente interno esteve somente a 12 °C. Todavia, com isolamento térmico, este mínimo de temperatura foi de 14.5 °C na TP5. Durante este período avaliado, a resistência térmica da TP2 mostra-se superior em conforto para todos os momentos, seguido pela performance da TP4 e TP5.

## 5.2. Análise das simulações com sistemas de ar condicionado

A simulação da mesma edificação foi efetuada para a situação em que o ar condicionado operou nos dormitórios e na sala nos momentos onde houve ocupação do ambiente. Os resultados de carga térmica para as diferentes tipologias são apresentados na próxima figura:

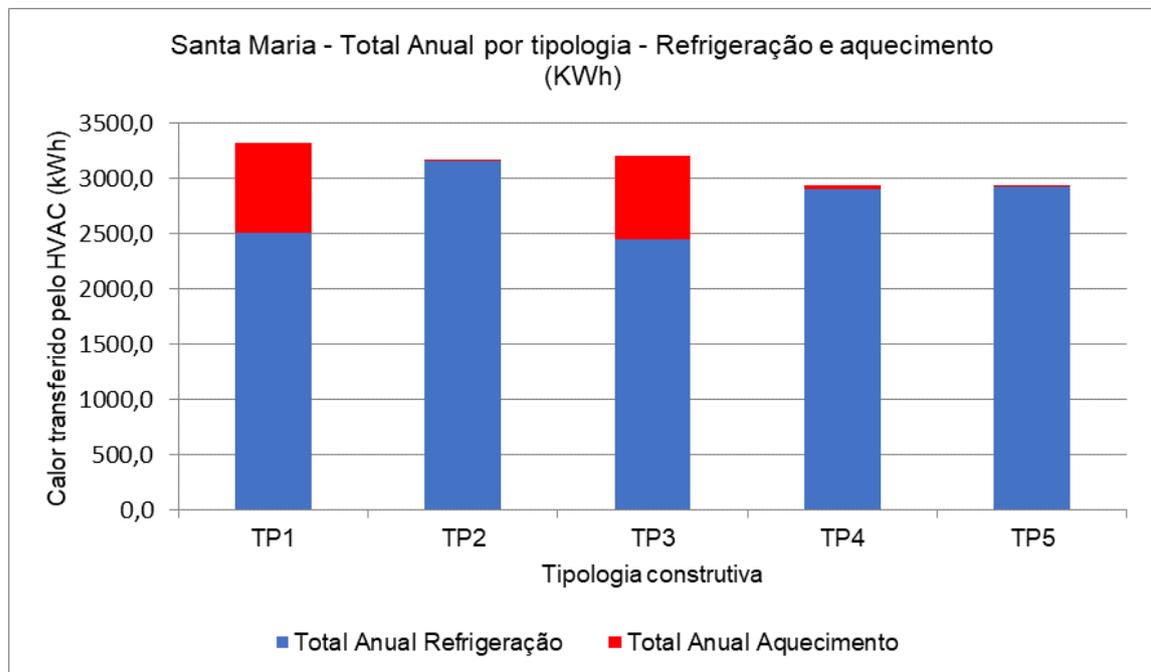


Figura 12. Carga térmica anual para aquecimento e refrigeração para a cidade de Santa Maria

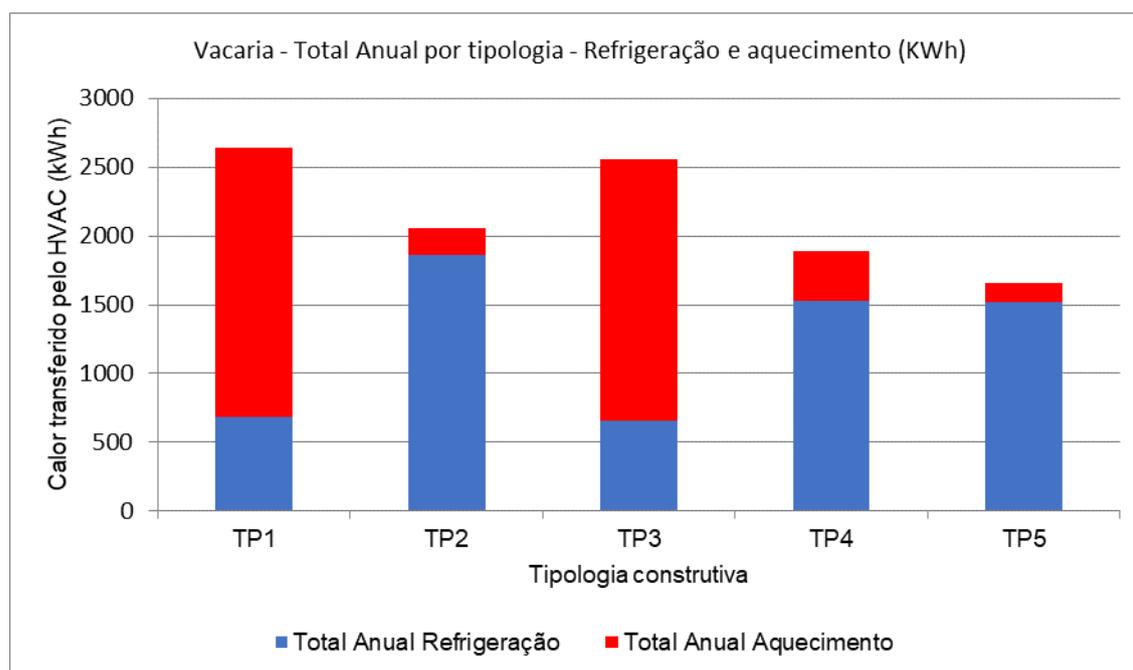


Figura 13. Carga térmica anual para aquecimento e refrigeração para a cidade de Vacaria.

Verifica-se a maior necessidade de refrigeração em Santa Maria, enquanto que o aquecimento é predominante para Vacaria nas construções não isoladas.

Para o caso de Santa Maria, observa-se que as tipologias com isolamento têm uma demanda maior de refrigeração. Neste caso, a TP3 teve uma melhor performance sendo esta equivalente à de TP1. Em relação ao aquecimento, o isolamento térmico teve forte papel, onde todos os envelopes com esta característica tiveram performance semelhante. Neste local, a TP5 apresentou a melhor performance na redução da carga térmica com desprezível diferença em relação à TP4. Considerando a redução anual de carga térmica, TP4 ou TP5 apresentaram redução de 11% em relação ao padrão TP1.

Em Vacaria, observa-se a necessidade de isolamento térmico para a redução da carga de aquecimento. Percebe-se que ao passo que as construções sem isolamento térmico têm uma boa performance durante o verão, ela é prejudicada no inverno. Neste local, as maiores reduções de carga térmica foram obtidas por TP5 e TP4, respectivamente, mostrando uma diferença de 37% em relação à TP1.

## 6. CONCLUSÃO

Pode-se concluir com este trabalho que para os climas 1 e 2 da NBR15220 (2003), representados pelas cidades de Vacaria e Santa Maria, a solução para aumento de conforto térmico e redução de carga de ar condicionado pode não ser óbvia.

Percebeu-se que as duas tipologias construtivas, representadas por paredes de tijolos maciços revestidos por isolamento térmico na parte externa (TP4) e a inversão desta configuração (TP5), tendem a ter uma performance térmica maior que o padrão construtivo definido por uma parede simples de tijolos alveolares (TP1). Utilizaram-se estas configurações de paredes para o envelope construtivo de uma residência unifamiliar do tipo apartamento composta por dois quartos, sala, cozinha e banheiro.

Verificou-se que para aumento dos graus horas de conforto térmico é necessário o emprego de massa térmica dentro do envelope construtivo através de paredes maciças (TP4). Por outro lado, para permitir a redução da carga térmica de sistemas de ar condicionado de uso intermitente, a solução é exatamente o contrário: Massa térmica externa e isolamento interno (TP5). Com estas soluções, pode-se obter um aumento de 15% em horas de conforto térmico e 12% de redução de carga térmica para o clima de Santa Maria. Em Vacaria, estes resultados são ainda mais atraentes, com aumento de 33% e redução de 37% em graus hora conforto e carga térmica, respectivamente. Todos estes dados foram obtidos comparando-se o padrão construtivo hoje e a melhor tipologia testada. Para futuros trabalhos, seria de grande interesse adicionar ventilação seletiva, que poderia beneficiar ainda mais as construções com grande capacidade térmica interna.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALDAWI, F; ALAM, F; DATE, A; KUMAR, A; RASUL, M. **Thermal performance modelling of residential house wall systems**. Procedia Engineering, 49, pp. 161-168. 2012.

ASHRAE – AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. **2009 ASHRAE Handbook – Fundamentals**. Atlanta, 2009.

BOJIC, M; YIK, F; SAT, P. **Influence of thermal insulation position in building envelope on the space cooling of high-rise residential buildings in Hong Kong**. Energy and Buildings, 33 (6), pp. 569-581. 2000.

ENERGYPLUS. **Engineering Reference** – F The University Of Illinois And The Regents Of The University Of California Through The Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, 2015

EUROPEAN STANDARD. **EN15251**. Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics. Brussels. Comité Européen de Normalisation, 2007.

MATOS, M. **Simulação computacional do desempenho térmico de residências em Florianópolis utilizando a ventilação natural**. Dissertação (Mestrado). Centro Tecnológico - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

**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, 2005.

**NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações** – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

SORGATO, M. J. **Desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares ventiladas naturalmente**. Dissertação (Mestrado). Centro Tecnológico - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

SONG, C; LIU, Y; ZHOU, X; LIU, J. **Investigation of Human Thermal Comfort in Sleeping Environments Based on the Effects of Bed Climate**. Procedia Engineering, 121, pp. 1126-1132. 2015.

STAZI, F; BONFIGLI, C; TOMASSONI, E; DI PERNA, C; MUNAFO, P. **The effect of high thermal insulation on high thermal mass: Is the dynamic behaviour of traditional envelopes in Mediterranean climates still possible?** Energy and Buildings, 88, pp. 367-383. 2015.

STEIN, T. S. **Impacto das Soluções de Arquitetura e climatização no Consumo de Energia de uma Edificação**. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

## ANEXOS

	Condutividade ( $\frac{W}{m \cdot K}$ )	Massa específica ( $\frac{kg}{m^3}$ )	Calor específico ( $\frac{J}{kg \cdot K}$ )
<b>Reboco</b>	1.150	1950	1000
<b>Aglomerado de madeira(denso)</b>	0.200	1000	2300
<b>Lã de rocha</b>	0.045	91	750
<b>Tijolos alveolares</b>	0.700	1000	920
<b>Tijolos maciços</b>	1.050	2000	920
<b>Placa de gesso</b>	0.350	1000	840

Tabela 1 - Propriedades térmicas dos materiais utilizados nas tipologias.

Santa Maria - Porcentagem de horas de conforto térmico - Conforto adaptativo categoria 3 segundo CEN15251																				
	Sala					Cozinha					Dormitorio					Dormitorio S.				
	TP1	TP2	TP3	TP4	TP5	TP1	TP2	TP3	TP4	TP5	TP1	TP2	TP3	TP4	TP5	TP1	TP2	TP3	TP4	TP5
Janeiro	0.91	0.00	0.95	0.02	0.02	0.71	0.00	0.87	0.00	0.00	0.94	0.00	0.96	0.01	0.09	0.93	0.01	0.95	0.08	0.17
fevereiro	0.85	0.23	0.93	0.35	0.31	0.72	0.03	0.82	0.10	0.21	0.94	0.26	0.97	0.35	0.48	0.94	0.23	0.98	0.33	0.41
Março	1.00	0.45	1.00	0.78	0.76	1.00	0.14	1.00	0.44	0.43	1.00	0.55	1.00	0.89	0.88	1.00	0.34	1.00	0.75	0.72
Abril	0.82	1.00	0.90	1.00	1.00	0.82	0.89	0.92	1.00	1.00	0.78	1.00	0.94	1.00	1.00	0.88	0.98	0.96	1.00	1.00
Maio	0.34	1.00	0.31	1.00	0.94	0.42	0.98	0.46	1.00	0.96	0.33	1.00	0.40	1.00	0.89	0.40	1.00	0.45	1.00	1.00
Junho	0.10	0.91	0.03	0.67	0.68	0.21	0.97	0.16	0.93	0.88	0.07	0.91	0.06	0.67	0.68	0.14	0.99	0.14	0.91	0.78
Julho	0.04	0.80	0.02	0.47	0.53	0.16	0.91	0.07	0.75	0.68	0.08	0.82	0.03	0.45	0.49	0.11	0.93	0.04	0.77	0.65
Agosto	0.14	0.92	0.11	0.74	0.68	0.20	0.95	0.22	0.91	0.85	0.18	0.86	0.17	0.66	0.68	0.22	0.98	0.20	0.88	0.84
Setembro	0.34	0.97	0.29	0.89	0.87	0.45	0.95	0.46	0.96	0.93	0.30	0.92	0.33	0.86	0.88	0.35	0.99	0.40	0.93	0.92
Outubro	0.88	0.92	0.88	1.00	1.00	0.88	0.62	0.93	0.95	0.86	0.82	0.96	0.88	1.00	0.98	0.86	0.91	0.91	1.00	0.97
Novembro	0.96	0.65	1.00	0.93	0.76	0.91	0.26	1.00	0.66	0.61	0.93	0.74	0.99	0.99	0.91	0.94	0.75	0.99	0.99	0.92
Dezembro	0.99	0.40	1.00	0.72	0.67	0.97	0.28	0.99	0.50	0.45	0.95	0.49	0.99	0.80	0.82	0.96	0.40	1.00	0.89	0.90
Média	0.61	0.69	0.62	0.71	0.69	0.62	0.58	0.66	0.68	0.66	0.61	0.71	0.64	0.72	0.73	0.64	0.71	0.67	0.80	0.77

Tabela 2 - Porcentagem de graus hora de conforto térmico para as residências sem sistemas de ar condicionado localizadas em Santa Maria. O valor de 1 (unidade) significa que para a determinada tipologia, mês e cômodo houve conforto térmico durante todas as horas habitadas. Os meses de verão estão representados em vermelho, inverno azul e amarelo as estações intermediárias.

Vacaria - Porcentagem de horas de conforto térmico - Conforto adaptativo categoria 3 segundo CEN15251																				
	Sala					Cozinha					Dormitorio					Dormitorio S.				
	TP1	TP2	TP3	TP4	TP5	TP1	TP2	TP3	TP4	TP5	TP1	TP2	TP3	TP4	TP5	TP1	TP2	TP3	TP4	TP5
Janeiro	0.87	0.94	0.89	1.00	1.00	0.86	0.50	0.88	1.00	0.95	0.77	0.99	0.87	1.00	1.00	0.80	0.99	0.87	1.00	1.00
fevereiro	0.98	0.74	0.99	1.00	1.00	0.96	0.26	0.99	0.88	0.70	0.92	0.90	0.97	1.00	1.00	0.92	0.88	0.98	1.00	1.00
Março	0.97	0.95	1.00	1.00	1.00	0.95	0.34	1.00	0.97	0.92	0.97	0.99	0.98	1.00	1.00	0.97	0.90	0.99	1.00	0.99
Abril	0.59	1.00	0.61	1.00	1.00	0.68	0.84	0.73	1.00	1.00	0.61	1.00	0.66	1.00	1.00	0.70	0.98	0.75	1.00	1.00
Maio	0.00	0.91	0.00	0.78	0.71	0.12	0.93	0.05	0.91	0.80	0.00	0.86	0.00	0.75	0.72	0.03	0.93	0.02	0.89	0.83
Junho	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.49	0.00	0.00	0.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.24	0.00	0.00	0.02
Julho	0.00	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.41	0.00	0.12	0.21	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.34	0.00	0.00	0.03
Agosto	0.10	0.64	0.05	0.33	0.47	0.19	0.81	0.13	0.59	0.60	0.11	0.64	0.08	0.32	0.44	0.17	0.76	0.12	0.55	0.60
Setembro	0.07	0.86	0.04	0.70	0.70	0.16	0.92	0.13	0.86	0.82	0.07	0.85	0.07	0.64	0.63	0.12	0.89	0.09	0.82	0.76
Outubro	0.30	0.94	0.20	0.90	0.92	0.52	0.92	0.43	0.95	0.96	0.20	0.94	0.19	0.85	0.91	0.28	0.94	0.29	0.91	0.91
Novembro	0.98	0.81	0.99	1.00	0.98	0.96	0.40	0.99	0.95	0.80	0.88	0.95	0.96	1.00	0.99	0.92	0.94	0.97	1.00	1.00
Dezembro	0.98	0.72	0.99	1.00	0.96	0.98	0.19	0.99	0.80	0.61	0.94	0.89	0.96	1.00	0.99	0.95	0.72	0.96	1.00	0.99
Média	0.49	0.73	0.48	0.73	0.73	0.53	0.58	0.53	0.75	0.72	0.46	0.75	0.48	0.71	0.72	0.49	0.79	0.50	0.76	0.76

Tabela 3 - Porcentagem de graus hora de conforto térmico para as residências sem sistemas de ar condicionado localizadas em Vacaria. O valor de 1(unidade) significa que para a determinada tipologia, mês e cômodo houve conforto térmico durante todas as horas. Os meses de verão estão representados em vermelho, inverno azul e amarelo as estações intermediárias.