

INFLUÊNCIA DAS COMPOSIÇÕES DE COBERTURAS NO DESEMPENHO TÉRMICO DE HABITAÇÕES MULTIFAMILIARES

Giceli Tabarelli (1); Liége Garlet (2); Maraysa Woloszyn (3); Joaquim C. Pizzutti dos Santos (4)

(1) Arquiteta, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Eng. Civil e Preservação Ambiental, giceli.t@gmail.com

(2) Arquiteta, Mestranda do Programa de Pós-Grad. Eng. Civil e Preserv. Amb., liegeg9@gmail.com

(3) Arquiteta, Mestranda do Programa de Pós-Grad. Eng. Civil e Preserv. Amb., arq.maraysa@gmail.com

(4) PhD, Professor do Programa de Pós-Grad. Eng. Civil e Preserv. Amb., joaquimpizzutti@hotmail.com
Universidade Federal de Santa Maria, Pós-Graduação em Engenharia Civil, Centro de Tecnologia – CTLAB
– Sala 522, Av. Roraima, 1000, Cidade Universitária, Bairro Camobi, Santa Maria - RS, CEP: 97105-900
Tel.: +55 (55) 3220-8837.

RESUMO

A cobertura é o componente mais significativo da edificação no que diz respeito ao aumento da carga térmica interna no último pavimento de um edifício multifamiliar, por isso, o estudo de seu desempenho térmico auxilia na especificação adequada de materiais que reduzam gastos com energia. Nesse sentido, este trabalho analisa o desempenho térmico pela metodologia de simulação da NBR 15.575/2013 de uma habitação multifamiliar com 5 pavimentos, do padrão PAR (Programa de Arrendamento Residencial), localizada na cidade de Santa Maria/RS e inserida na Zona Bioclimática Brasileira 2 (ZB2), alterando as composições no sistema de cobertura. As unidades habitacionais são iguais em dimensão, variando apenas a sua orientação solar e o pavimento onde estão situadas, apresentando uma sala de estar, cozinha e área de serviço integradas, um dormitório de casal, um dormitório de solteiro e um banheiro. Para o estudo, foram comparados quatro modelos distintos de composições no sistema de cobertura, e em todas as situações a cobertura foi formada por telha de fibrocimento com 6,0 mm de espessura, laje de concreto armado de 10 cm e reboco salpicado com 1,0 cm de espessura, variando-se a presença e o material do isolamento térmico, ou seja, sua transmitância térmica. Os demais elementos da edificação não foram alterados. Seguindo as recomendações da Norma de Desempenho, variou-se também a absorvância solar da telha, sendo a das paredes externas fixadas no menor valor, para minimizar seu impacto. Para o não atendimento do desempenho mínimo de verão, alterou-se o número de renovações de ar e o sombreamento dos ambientes, a fim de obter o parâmetro mínimo recomendado pela Norma. Foram analisadas as unidades habitacionais mais críticas do ponto de vista térmico para o período de verão e inverno, representados pelo dia típico e arquivo climático da cidade em análise, com simulações termoenergéticas realizadas com software *EnergyPlus* 8.3 e auxílio da interface gráfica do *SketchupMake* 15 e *plugging* do *OpenStudio*. Com este estudo, pode-se observar que apesar da variedade de isolamentos testados e posicionados acima da laje de cobertura, sua presença nem sempre proporciona as melhores situações de desempenho térmico, ao contrário da absorvância solar, que se mostrou determinante.

Palavras-chave: desempenho térmico, composições de coberturas, habitações multifamiliares.

ABSTRACT

Roof is the most significant component of the building with respect the increase of the internal thermal load on the last floor of a multifamily building, therefore, the study of its thermal performance assists in the adequate specification of materials that reduce energy costs. Thus, this paper analyzes the thermal performance by the NBR 15.575/2013 simulation methodology of a multi-family dwelling with 5 floors of the PAR standard (residential lease program), located in the city Santa Maria/RS and inserted in Brazilian Bioclimatic Zone 2 (ZB2), changing the compositions in the roof system. The housing units are the same in size, varying only their solar orientation and the floor where they are situated, with a living room, kitchen and integrated service area, a double bedroom, a single bedroom and a bathroom. For the paper, four different composite models were compared in the roof system, and in all situations the cover was formed by

6.0 mm thick asbestos cement tile, 10 cm reinforced concrete slab and plaster splashed with 1,0 cm thick, varying the presence and the material of the thermal insulation, that is, its thermal transmittance. The other elements of the building were not altered. Following the recommendations of the Performance Standard, the solar absorptions of these roofs was also varied, the external walls being fixed at the lowest value to minimize their impact. For non-compliance with minimum summer performance, the number of air changes and ambient shading were changed in order to obtain the minimum parameter recommended by the Standard. Were analyzed the most critical thermal housing units for the summer and winter period, represented by the typical day and climatic file of the city under analysis, with thermoenergetic simulations performed by *EnergyPlus* 8.3 software, SketchupMake 15 graphical interface and OpenStudio plugin. With this study, can be observed that despite the variety of insulation tested and positioned above the cover slab, its presence doesn't always provide the best thermal performance situations, as opposed to solar absorptance, which was determinant.

Keywords: thermal performance, compositions of roofs, multifamily housing.

1. INTRODUÇÃO

As edificações sofrem considerável influência da radiação solar, temperatura do ar e condições climáticas. A cobertura é o elemento construtivo da edificação de maior influência no desempenho térmico, devido à área permanecer exposta por muitas horas à radiação solar. Ou seja, é a superfície opaca de onde se obtém os maiores ganhos de calor para o interior de edificações térreas ou, nas edificações em altura, para o último pavimento, sendo estes os ambientes mais críticos do ponto de vista térmico.

Nas cidades brasileiras é comum essa exposição das edificações à grande incidência solar e às altas temperaturas, ocasionando aumento da temperatura interna dos ambientes. Com isso, tornou-se cada vez mais comum adotar sistemas de climatização para a obtenção de conforto térmico e qualidade de vida nas edificações. O uso de condicionadores de ar do tipo split é a tipologia mais utilizada na climatização residencial, porém, em contrapartida, gera um aumento significativo no consumo de energia no setor. Esta informação é ratificada pelos dados do Balanço Energético Nacional de 2015, que confirmam que cerca de 25,1% da energia elétrica total consumida é oriunda do setor residencial (BRASIL, 2016).

No contexto de crise energética que o país enfrenta, há uma grande necessidade de economizar energia como forma de preservar o meio ambiente. Para isso, é interessante que se adotem estratégias bioclimáticas nos projetos de edificações, que visem o uso racional da energia e o conforto dos seus usuários, por meio de uma arquitetura adaptada ao clima, especificando os materiais adequados, uso de ventilação natural, entre outros aspectos (MEIRIÑO, 2004).

Segundo Lamberts, Pereira e Dutra (2014), a eficiência energética é definida como um atributo inerente à edificação, além do dever de possibilitar conforto térmico, visual e acústico aos usuários com baixo consumo de energia. Os autores então concluem que um edifício é considerado mais eficiente quando proporciona as mesmas condições ambientais que outro, porém, com menor consumo de energia.

A eficiência energética está diretamente ligada ao bom desempenho térmico do projeto. Assim, a proposição de uma boa composição do sistema de cobertura de uma edificação afetará diretamente o consumo de energia e o conforto dos usuários. A cobertura deve ter um estudo detalhado englobando sua composição e as propriedades termofísicas dos materiais envolvidos, levando em consideração às condições climáticas do local.

A existência de normas técnicas relacionadas ao desempenho térmico é indispensável para nortear a qualidade da edificação. No Brasil, existem duas normativas principais que orientam o desempenho térmico de edificações: a NBR 15.220 – Desempenho térmico de edificações (ABNT, 2005) e NBR 15.575-Edificações habitacionais: Desempenho (ABNT, 2013).

A NBR 15.575 (ABNT, 2013), cuja utilização é obrigatória, apresenta os critérios de avaliação do desempenho térmico, sendo sua classificação de acordo com a transmitância térmica, absorptância e capacidade térmica, conforme a zona bioclimática onde situa a edificação, zona esta determinada pela NBR 15.220-3 (ABNT, 2005). Estas orientações são para a avaliação de desempenho térmico pelo método simplificado.

Já no método de simulação para avaliação do desempenho térmico, a NBR 15.575 (ABNT, 2013), afere índices de desempenho baseados numa relação de temperatura externa versus temperatura interna de ambientes de permanência prolongada, considerados críticos do ponto de vista térmico. Utilizando-se de simulação computacional, por meio do software *EnergyPlus* sugerido pela Norma, verifica-se o atendimento

de melhores condições térmicas no interior da edificação em relação ao ambiente exterior, para os dias típicos de verão e de inverno da cidade a qual pertence.

O tratamento das coberturas influencia no comportamento térmico do edifício e pode reduzir a carga térmica no ambiente, para isso, é importante especificar corretamente os materiais a fim de se obter melhoria no desempenho térmico. Segundo Lamberts; Pereira e Dutra (2014), os materiais de construção tem uma forte influência sobre as condições de conforto do ambiente interno de uma edificação. Algumas das formas de se reduzir o ganho térmico é fazendo uso de isolantes térmicos, adotando cores com alta refletância na pintura de telhas, ventilando o ático das edificações, entre outras.

Dentre os trabalhos existentes, alguns utilizam simulações computacionais para verificação da influência da envoltória no consumo de edificações, porém, de edificações comerciais, tal como o de Melo (2007), ou são voltados para outras zonas bioclimáticas brasileiras que não a sugerida por este estudo, tal como Sorgato *et al.* (2014).

Nesse sentido, este trabalho analisa a influência de diversas composições do sistema de cobertura no desempenho térmico de unidades habitacionais, utilizando-se a metodologia de simulação computacional da NBR 15.575 (ABNT, 2013), para um edifício residencial multifamiliar localizado na cidade de Santa Maria/RS, Zona Bioclimática Brasileira 2. Este trabalho é parte de uma pesquisa mais ampla, que estuda além das recomendações feitas pela NBR 15.5575 (ABNT, 2013), a possibilidade de ventilação na cobertura e o que isso impacta para amenizar as temperaturas internas no verão, estação mais crítica de análise.

2. OBJETIVO

Avaliar o desempenho térmico das unidades habitacionais, conforme a metodologia de simulação computacional da NBR 15.575/2013, de uma edificação multifamiliar do padrão PAR (Programa de Arrendamento Residencial) inserida na cidade de Santa Maria, Zona Bioclimática Brasileira 2, considerando variações na composição do sistema de cobertura.

3. MÉTODO

A metodologia aborda a caracterização do objeto de estudo e sua avaliação de desempenho térmico, conforme os procedimentos do método de simulação computacional da NBR 15.575/2013.

3.1. Caracterização do objeto de estudo

O objeto de estudo é uma habitação multifamiliar com 5 pavimentos, contendo 4 apartamentos por pavimento, os quais estão dispostos em torno de uma circulação vertical, formando um H, conforme as Figuras 1 e 2. Esse modelo de edificação, segundo estudos de Fagundes (2014), é o exemplo mais comum do padrão considerado PAR (Programa de Arrendamento Residencial), financiados pelos programas habitacionais da Caixa Econômica Federal nos últimos anos na região de Santa Maria/RS. Cada apartamento possui área útil de 43,19 m² e área total de 47,40 m², sendo o pé-direito de 2,50 m.

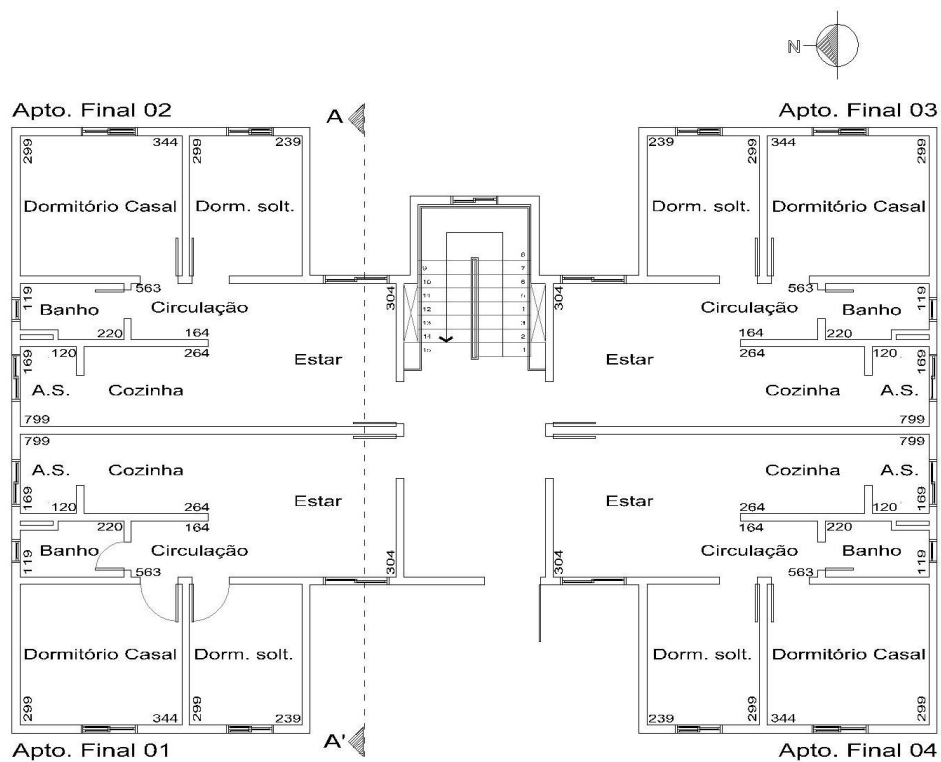


Figura 1 – Planta baixa do pavimento térreo (FAGUNDES, 2014).

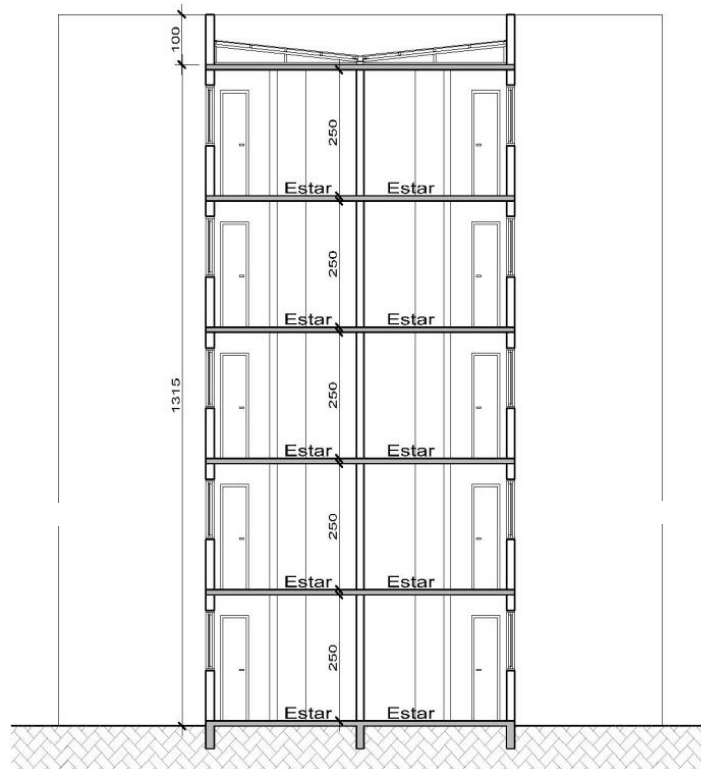


Figura 2 – Corte da edificação (FAGUNDES, 2014).

As unidades habitacionais são todas iguais em dimensão e rebatidas na distribuição espacial, variando apenas a sua orientação solar e o pavimento. Elas são constituídas por uma sala de estar, cozinha e área de serviço integradas, um dormitório de casal, um dormitório de solteiro e um banheiro, conforme a planta baixa demonstrada na Figura 3.

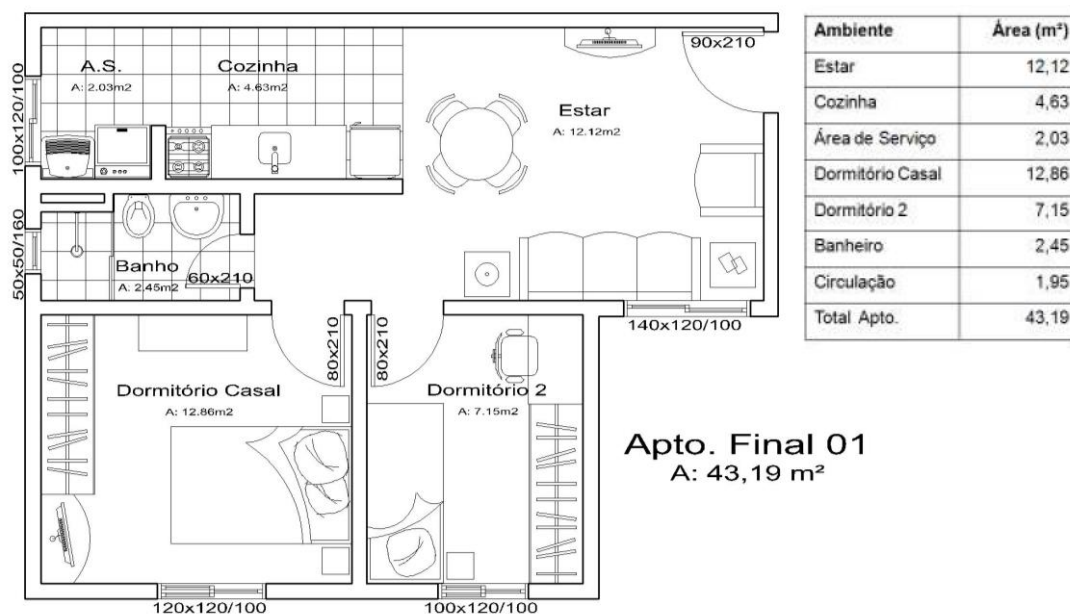


Figura 3 – Planta baixa e dimensões de uma unidade habitacional (FAGUNDES, 2014).

Para o estudo, foram comparados quatro modelos distintos de composições no sistema de cobertura, adotando a inclinação da telha (12%) e a altura da platibanda (1,0 m) conforme projeto arquitetônico. Em todas as situações a cobertura foi formada por telha de fibrocimento com 6,0 mm de espessura ($\lambda = 0,65$ W/m.K), laje de concreto armado de 10,0 cm ($\lambda = 1,75$ W/m. K) e argamassa salpicada com 1,0 cm de espessura ($\lambda = 1,15$ W/m.K), variando-se a presença e o material do isolamento térmico, ou seja, a transmitância térmica do sistema. Seguindo as recomendações da Norma de Desempenho, foram alteradas as absorvâncias solares destas coberturas, o número de renovações de ar por hora e o sombreamento das janelas externas, como será exposto no próximo item, correspondente à metodologia de simulação da NBR 15.575/2013.

Nos modelos em análise, a cobertura foi considerada como uma zona térmica, tanto para a obtenção de resultados mais precisos do sistema de coberturas quanto para seguir a modelagem da Norma de Desempenho que recomenda que ela possua 1 renovação de ar por hora. Porém, a título de informação, foi calculada a transmitância térmica e capacidade térmica dos conjuntos seguindo o procedimento da NBR 15.220-3 (ABNT, 2005).

O modelo de cobertura 01 considerou a composição sem isolamento térmico, sendo formada pela telha de fibrocimento, laje de concreto e reboco ($U=2,02$ W/m².K). No modelo 02, além da composição anterior a cobertura recebeu uma camada isolante de 1,0 cm de poliestireno expandido (isopor) acima da laje ($U=1,34$ W/m².K). O modelo 03 diferencia-se do modelo 2 por receber isolamento térmico em lã de vidro com espessura de 2,5 cm ao invés do isopor ($U= 0,95$ W/m²). Já o modelo 04 recebeu isolamento térmico em lã de vidro com espessura de 5,0 cm ($U= 0,62$ W/m².K). Na Tabela 1 estão demonstrados os modelos, suas composições e transmitâncias térmicas.

Tabela 1– Descrição dos modelos de cobertura e valores de transmitância térmica (Autoras, 2017).

Modelo de Cobertura	Descrição da Cobertura	Transmitância Térmica “U” (W/m ² .K)
Modelo 01	Telha de fibrocimento 6,0mm + laje de concreto 10,0cm + argamassa 1,0cm	2,02
Modelo 02	Telha de fibrocimento 6,0mm + laje de concreto 10,0cm + argamassa 1,0cm + isolamento térmico de isopor 1,0cm	1,34
Modelo 03	Telha de fibrocimento 6,0mm + laje de concreto 10,0cm + argamassa 1,0cm + isolamento térmico de lã de vidro 2,5cm	0,95
Modelo 04	Telha de fibrocimento 6,0mm + laje de concreto 10,0cm + argamassa 1,0cm + isolamento térmico de lã de vidro 5,0cm	0,62

Os demais elementos construtivos da habitação não foram alterados nos modelos simulados. As especificações dos materiais que a compõe e suas propriedades termofísicas podem ser observadas na Tabela 2, os quais foram retirados da NBR 15.220 (ABNT, 2005).

Tabela 2– Características termofísicas dos materiais da edificação (ABNT, 2005).

Material	Condutividade térmica [W/m.K]	Densidade [kg/m ³]	Calor específico [J/kg.K]	Absortância solar
Tijolo cerâmico (14x19x29 cm)	0,90	1600	920	0,65
Argamassa int/ext (2,5 cm)	1,15	2000	1000	0,3
Laje de concreto (10,0 cm)	1,75	2400	1000	0,8
Fibrocimento (0,6 cm)	0,65	1900	840	(variações)
Poliestireno expandido (1,0 cm)	0,035	40	142	0,2
Lã de vidro (2,5 e 5,0 cm)	0,045	50	700	0,3

3.2. Avaliação de desempenho térmico segundo o método de simulação da NBR 15.575/2013

A NBR 15.575 (ABNT, 2013) considera como forma de metodologia para avaliação de desempenho térmico a simulação computacional. Ela classifica os ambientes em quatro formas quanto ao desempenho: o não atendimento, atendimento em nível mínimo, intermediário ou superior. Estas classificações diversificam-se de acordo com o período que está sendo avaliado, verão ou inverno, levando em consideração os dias típicos de verão e de inverno para a cidade a qual está inserido o objeto de análise.

Além disso, a avaliação deverá ser realizada por um software recomendado por ela, já que possuem configurações específicas. Para este trabalho, considerou-se a utilização do *software EnergyPlus 8.3* com auxílio da interface gráfica do *Sketchup Make 15* e *plugin do OpenStudio*.

As análises foram feitas para os dias típicos de verão e de inverno da cidade de Santa Maria/RS, com características ambientais representadas pelo arquivo climático *Swera*. Segundo Flores (2014), para o nível 2,5%, o dia típico de verão é 20/2, com horário crítico da temperatura externa às 15h e máxima de 33,20°C, e o de inverno dia 9/7 às 5h com mínima de 2,49°C.

Para a modelagem da simulação térmica foi avaliado apenas o último pavimento da edificação, por estar em contato direto com a cobertura, objeto de análise. A NBR 15.575 (ABNT, 2013) também recomenda que se analise uma unidade deste pavimento, dita a mais crítica do ponto de vista térmico. Como o pavimento não possui contato com o solo, o piso dos apartamentos foi configurado como adiabático. O modelo simulado no *software* está exposto na Figura 4.

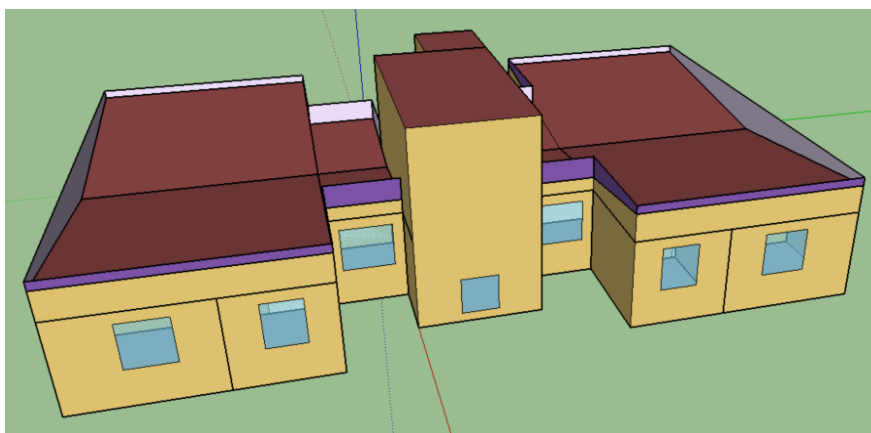


Figura 4 – Modelagem do último pavimento da edificação em estudo (autoras, 2017).

Segundo a NBR 15.575 (ABNT, 2013), as orientações das unidades habitacionais devem ser tais que haja, pelo menos, um dos dormitórios ou sala com duas paredes expostas, devendo ser preferencialmente: no verão a janela do compartimento voltada para oeste e a outra parede a norte, no inverno a janela do compartimento orientada a sul e a outra parede a leste. Caso essas situações não sejam possíveis, a Norma recomenda que o ambiente deva ter pelo menos uma janela voltada para oeste, no caso de verão, ou uma janela voltada para o sul, no caso de inverno.

Comparando-se as orientações da NBR 15.575 (ABNT, 2013) sobre classificação de unidade habitacional com desempenho térmico crítico e o edifício multifamiliar estudado, percebe-se que para o verão, a unidade habitacional mais desfavorável seria o apartamento 01, pois o dormitório de casal possui uma janela voltada a oeste e a outra parede voltada a norte. Já para o inverno, a unidade habitacional mais próxima é o apartamento 03, onde a sala de estar tem uma das janelas orientada a sul e a outra parede voltada a leste, conforme Figura 5.

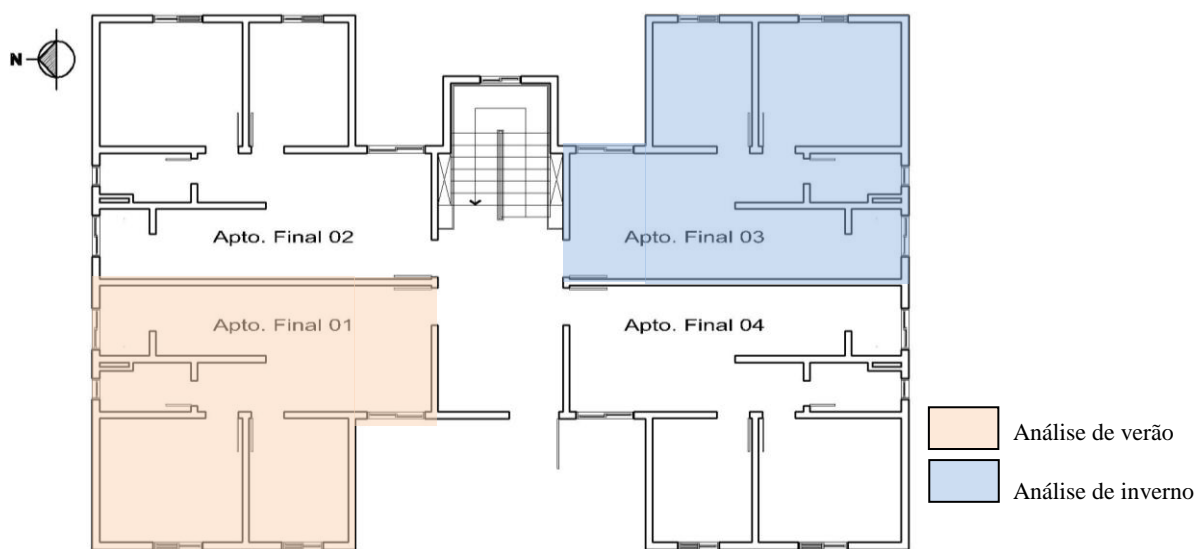


Figura 5 – Planta baixa com definições de unidades habitacionais críticas: apartamento final 01 no verão e final 03 no inverno (autoras, 2017).

Para cada ambiente do pavimento analisado, a norma recomenda que se considere a taxa inicial de ventilação em 1 ren/h e, se os critérios não forem atendidos, altere-se a ventilação e o sombreamento dos compartimentos. Já no caso da cobertura, a ventilação deve ser fixa em 1 ren/h, por isso ela foi configurada como uma zona térmica.

Outra recomendação da Norma é que haja a variação da absorvância (α) à radiação solar das paredes, caso elas ainda não tenham coloração definida no projeto, em 0,3 para cores claras, 0,5 para cores médias e 0,7 para cores escuras. Como o estudo é baseado no impacto térmico que a cobertura proporciona à edificação, a variação da absorvância solar foi simulada para a cobertura e não para as paredes. O valor adotado para as paredes externas foi o menor recomendado pela Norma, 0,3, a fim de interferir o mínimo possível nas análises da contribuição pelo telhado. Além do exposto pela norma, optou-se por considerar também a absorvância solar com valor 0,85, o que segundo Silveira *et. al.* (2012) é o valor correspondente a um telhado envelhecido de fibrocimento, tal como se encontram muitos edifícios.

Os parâmetros de aceitabilidade de desempenho térmico da NBR 15.575 (ABNT, 2013) estão relacionados à zona bioclimática da edificação, bem como o solstício. Para a zona bioclimática 2 (ZB 2), correspondente a cidade de Santa Maria, as condições estão expostas na Tabela 3.

Tabela 3 – Critérios de avaliação de desempenho térmico para condições de verão e inverno (ABNT, 2013).

Solstício	Nível de desempenho térmico	Critérios – ZB 2
Verão	Mínimo	$T_{i, \max} \leq T_{e, \max}$
	Intermediário	$T_{i, \max} \leq (T_{e, \max} - 2 \text{ } ^\circ\text{C})$
	Superior	$T_{i, \max} \leq (T_{e, \max} - 4 \text{ } ^\circ\text{C})$
Inverno	Mínimo	$T_{i, \min} \geq (T_{e, \min} + 3 \text{ } ^\circ\text{C})$
	Intermediário	$T_{i, \min} \geq (T_{e, \min} + 5 \text{ } ^\circ\text{C})$
	Superior	$T_{i, \min} \geq (T_{e, \min} + 7 \text{ } ^\circ\text{C})$

Nos casos de não atendimento ao desempenho mínimo no verão pelo método da simulação, a NBR 15.575 (ABNT, 2013) orienta simular novamente seguindo mais três opções até que uma delas atenda aos critérios estabelecidos na Tabela 3:

- substituir a taxa de ventilação de 1,0 para 5,0 ren/h;
- inserção de proteção solar externa ou interna da esquadria externa com sombreamento de, no mínimo, 50% da radiação solar direta e taxa de ventilação de 1,0 ren/h;
- inserção de proteção solar externa ou interna da esquadria externa com sombreamento de, no mínimo, 50% da radiação solar direta e taxa de ventilação de 5,0 ren/h.

4. RESULTADOS

Os resultados das temperaturas internas nas unidades habitacionais analisadas, de acordo com cada solstício, tiveram seus valores comparados com os critérios de avaliação de desempenho térmico da NBR 15.575 (ABNT, 2013), já especificados na Tabela 3 deste artigo.

Para a análise dos níveis de desempenho, as temperaturas internas dos ambientes analisados são

comparadas à temperatura máxima externa para verão e mínima externa para inverno nos seus respectivos dias típicos. No verão, a temperatura máxima do dia típico no nível 2,5 %, em 20/2 às 15h, é de 33,20°C. No inverno, a temperatura mínima do dia típico no nível 2,5 %, em 9/7 às 5h, é de 2,49°C.

Para a situação de inverno, pode-se observar o desempenho térmico dos compartimentos da unidade habitacional 3 da edificação no Quadro 1.

Quadro 1 – Análise do desempenho térmico para o dia típico de inverno 2,5% (autoras, 2017).

UNIDADE HABITACIONAL 3					
INVERNO (09/07) - 5hs - Temp. Ext. Mín. = 2,49 °C					
Modelo de Cobertura	Ventilação da Norma	α	Temperatura Interna Mínima por ambiente (°C)		
			Sala de Estar	Dorm. Casal	Dorm. Solteiro
Modelo 1	1 Ren/h	0,85	9,56	8,85	9,20
		0,70	8,72	8,22	8,58
		0,50	7,56	7,35	7,73
		0,30	6,24	6,33	6,75
Modelo 2	1 Ren/h	0,85	9,37	8,71	9,08
		0,70	8,69	8,20	8,60
		0,50	7,64	7,44	7,87
		0,30	6,63	6,70	7,14
Modelo 3	1 Ren/h	0,85	9,13	8,54	8,94
		0,70	8,46	8,06	8,48
		0,50	7,69	7,51	7,95
		0,30	6,87	6,93	7,39
Modelo 4	1 Ren/h	0,85	8,73	8,29	8,71
		0,70	8,31	7,99	8,43
		0,50	7,74	7,59	8,05
		0,30	7,14	7,17	7,64

NÃO APROVA

APROVA MÍNIMO

APROVA INTERMEDIÁRIO

APROVA SUPERIOR

Avaliando-se os resultados, pode-se constatar que todos os modelos de cobertura analisados foram aprovados para a situação de inverno. A configuração de absorvância solar igual a 0,3 é a de pior desempenho térmico quando comparada às demais. Já o acréscimo de isolamento térmico na cobertura da edificação causa uma diminuição nas temperaturas mínimas, se compararmos as mesmas absorvâncias com valores mais elevados. Em geral, pode-se dizer que quanto maior a absorvância solar da cobertura, menor é a necessidade de se ter uma transmitância térmica baixa, para a avaliação de simulação computacional no período de inverno para o objeto estudado.

Para o período de verão, pode-se observar os resultados do desempenho térmico da edificação por meio das temperaturas máximas do dia típico no Quadro 2.

Analisando os resultados das temperaturas máximas dos ambientes da unidade habitacional 1 para o dia típico de verão, verificou-se que o Modelo 01 alcançou o nível mínimo de desempenho térmico somente para o dormitório de solteiro e a sala de estar, quando a absorvância foi igual a 0,3, considerando-se 5 ren/h para a ventilação mais o sombreamento de 50% das aberturas. Mesmo assim, a unidade habitacional não foi aprovada, já que o dormitório de casal deste apartamento apresentou temperatura interna maior que a temperatura máxima externa. Ou seja, para a configuração original da cobertura ($U = 2,02 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$) a edificação não seria aprovada perante a NBR 15.575 (ABNT, 2013) pelo método de simulação computacional.

Para o Modelo 02, com 1,0 cm de polipropileno expandido acima da laje de cobertura, repetiram-se os mesmos resultados que a situação do Modelo 1, porém com temperaturas ligeiramente mais baixas que o modelo anterior. No Modelo 03, com isolamento em lã de vidro de 2,5 cm, a situação se repete, e as temperaturas internas são suavemente menores que os outros dois. Já no Modelo 04, com isolamento em lã de vidro de 5,0 cm, verifica-se o total atendimento do desempenho térmico mínimo da unidade habitacional 3, quando esta possui a absorvância 0,3, ventilação de 5 ren/h e sombreamento de 50% das aberturas.

Quadro 2 – Análise do desempenho térmico para o dia típico de verão 2,5% (autoras, 2017).

UNIDADE HABITACIONAL 1					
VERÃO (20/02) - 15hs - Temp. Ext. Máx. = 33,20 °C					
Modelos de Cobertura	Norma	α	Temperatura Interna Máxima por ambiente (°C)		
			Sala de Estar	Dorm. Casal	Dorm. Solteiro
Modelo 01	1 Ren/h	0,85	44,90	43,59	42,89
		0,70	42,49	41,58	40,96
		0,50	39,17	38,86	38,34
		0,30	35,86	36,21	35,73
	5 Ren/h	0,85	38,86	38,53	38,16
		0,70	37,43	37,30	36,96
		0,50	35,54	35,67	35,35
		0,30	33,70	34,12	33,79
	1 Ren/h + Somb.	0,85	43,57	42,36	41,61
		0,70	41,13	40,34	39,68
		0,50	37,78	37,63	37,04
		0,30	34,43	34,96	34,40
	5 Ren/h + Somb.	0,85	37,98	37,71	37,27
		0,70	36,57	36,51	36,07
		0,50	34,72	34,95	34,52
		0,30	32,96	33,40	33,00
Modelo 02	1 Ren/h	0,85	42,41	41,17	40,57
		0,70	40,78	39,91	39,35
		0,50	38,53	38,20	37,67
		0,30	36,13	36,40	35,89
	5 Ren/h	0,85	36,93	36,84	36,49
		0,70	36,05	36,10	35,76
		0,50	34,87	35,12	34,77
		0,30	33,70	34,16	33,81
	1 Ren/h + Somb.	0,85	40,53	39,69	38,98
		0,70	38,88	38,42	37,75
		0,50	36,61	36,69	36,05
		0,30	34,21	34,88	34,26
	5 Ren/h + Somb.	0,85	35,85	35,87	35,43
		0,70	34,98	35,18	34,71
		0,50	33,89	34,25	33,79
		0,30	32,81	33,29	32,86
Modelo 03	1 Ren/h	0,85	41,10	40,01	39,43
		0,70	39,87	39,10	38,54
		0,50	38,18	37,85	37,31
		0,30	36,43	36,54	36,01
	5 Ren/h	0,85	36,00	36,01	35,66
		0,70	35,37	35,52	35,16
		0,50	34,53	34,85	34,48
		0,30	33,71	34,16	33,80
	1 Ren/h + Somb.	0,85	38,95	38,37	37,67
		0,70	37,72	37,45	36,77
		0,50	36,02	36,19	35,53
		0,30	34,19	34,84	34,20
	5 Ren/h + Somb.	0,85	34,84	35,05	34,56
		0,70	34,28	34,58	34,10
		0,50	33,53	33,92	33,46
		0,30	32,74	33,23	32,30
Modelo 04	1 Ren/h	0,85	39,92	39,01	38,45
		0,70	39,09	38,40	37,85
		0,50	37,92	37,55	37,01
		0,30	36,68	36,65	36,12
	5 Ren/h	0,85	35,21	35,37	34,99
		0,70	34,80	35,05	34,67
		0,50	34,26	34,61	34,24
		0,30	33,71	34,15	34,08
	1 Ren/h + Somb.	0,85	37,53	37,23	36,54
		0,70	36,69	36,61	35,93
		0,50	35,52	35,76	35,09
		0,30	34,29	34,86	34,21
	5 Ren/h + Somb.	0,85	34,06	34,38	33,89
		0,70	33,70	34,06	33,59
		0,50	33,21	33,63	33,17
		0,30	32,68	33,18	32,73

	NÃO APROVA
	APROVA MÍNIMO
	APROVA INTERMEDIÁRIO
	APROVA SUPERIOR

5. CONCLUSÕES

O estudo verificou o desempenho térmico de uma edificação multifamiliar, localizada na ZB 2, pelo método de simulação computacional da NBR 15.575 (ABNT, 2013), nos períodos de verão e inverno, com variadas composições de coberturas e pode-se constatar que, apesar da variação na transmitância térmica (com isolantes térmicos posicionados acima da última laje), conhecidos na bibliografia como boas soluções para o conforto térmico, sua presença não proporcionou uma melhora significativa no seu desempenho térmico.

A absorvância solar da telha de cobertura mostrou-se decisiva na influência da temperatura interna dos ambientes avaliados, sendo as absorvâncias mais baixas favoráveis para o verão e as mais altas, para o período de inverno. Outro fator importante a ser considerado é a taxa de ventilação interna nos ambientes para o período de verão. Nota-se que para um mesmo modelo, o aumento da ventilação de 1 para 5 ren/h chega a diminuir em mais de 6°C as temperaturas internas máximas de verão quando a transmitância térmica é alta. Logo, para o verão, comparando-se as duas alterações recomendadas pela NBR 15.575, ventilação interna e sombreamento, o sombreamento mostrou-se ter menor influência na diminuição da temperatura máxima interna do que a ventilação.

No inverno, as absorvâncias solares mais baixas se comportam melhor nas configurações de cobertura com transmitância térmica menor, pois, o isolamento impede que o calor dos ambientes recebido por radiação solar pela cobertura durante o dia seja dissipado a noite para o exterior. Já no caso de valores altos de absorvâncias solares das telhas, estes elevam a temperatura mínima dos ambientes quanto maior a transmitância térmica do telhado e maior for sua área de cobertura. Por isso, a sala de estar, obteve sempre temperaturas mais altas que os dormitórios nos quatro modelos sugeridos para o dia típico de inverno.

Dessa forma, para um prédio multipiso, próximo da edificação escolhida, e pertencente a ZB 2, conclui-se que o ideal é o emprego de coberturas com baixa absorvância solar e baixa transmitância térmica (isolada), com a possibilidade de ventilação e sombreamento dos ambientes de permanência prolongada no período de verão, sendo descobertos e fechados no solstício de inverno.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.220** – Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.
- _____. **NBR 15.575** – Edificações habitacionais: Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional: ano-base 2015**. Brasília: MME, 2016. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2016.pdf>. Acesso em: 06 fev. 2017.
- FAGUNDES, Renata Magalhães. **Aplicação do RTQ-R na avaliação da eficiência energética de edificações multifamiliares de interesse social para as Zonas Bioclimáticas Brasileiras**. Dissertação submetida ao curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM/RS) para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental. 2014.
- FLORES, Michelle Gomes. **Geração da base climática de Santa Maria - RS – Para Análise de Desempenho Térmico e Eficiência Energética de Edificações**. Dissertação submetida ao curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM/RS) para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental. 2014.
- LAMBERTS, Roberto; PEREIRA, Fernando; e DUTRA, Luciano. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3ª Edição. 2014.
- MEIRIÑO, Marcelo J. **Arquitetura e sustentabilidade**. Revista digital Vitruvius. Abril, 2004. Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/04.047/595>>. Acesso em 22 fev. 2017.
- MELO, Ana Paula. **Análise da influência da transmitância térmica no consumo de energia de edificações comerciais**. Dissertação submetida ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC/SC) para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil Florianópolis. 2007.
- SILVEIRA, Ricardo; MARINOSKI, Deivis Luis; LAMBERTS, Roberto. **Avaliação da absorvância à radiação solar e temperatura superficial de telhas de fibrocimento utilizadas nas coberturas de edificações do campus da UFSC**. XIV ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Juiz de Fora, MG, 2012.
- SORGATO, Marcio José; MELO, Ana Paula; MARINOSKI, Deivis Luis; LAMBERTS, Roberto. **Análise do procedimento de simulação da NBR 15575 para avaliação do desempenho térmico de edificações residenciais**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 83-101, out./dez., 2014.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos recursos do PIIQP do Instituto Federal Farroupilha/RS.