

ANÁLISE TÉRMICA SIMPLIFICADA DA ENVOLTÓRIA SEGUNDO AS NORMAS NBR15220 E NBR15575 - ESTUDO DE CASO

Patrícia Geittones Tondelo (1); Fernando Barth (2)

(1) mestrande, arquiteta e urbanista, ptondelo@gmail.com, UFSC, Rua Laguna 222, Apto. 1802, Fazenda, Itajaí (SC), (47) 99743-2151

(2) PhD, engenheiro civil, fernando.barth@ufsc.br, UFSC, Departamento de Arquitetura, Campus Universitário, Trindade, Florianópolis (SC), (48) 03319393

RESUMO

O desempenho térmico de uma edificação depende das interações entre os sistemas construtivos empregados em seu invólucro e meio ambiente. O conhecimento das propriedades térmicas dos materiais empregados nos sistemas de vedações permite estabelecer estratégias projetuais para que o edifício possa responder de forma eficiente às variações do clima. O presente artigo tem por objetivo avaliar o desempenho térmico de uma edificação corporativa localizada na cidade de Itajaí, Santa Catarina, por meio de análises em três sistemas construtivos utilizados no projeto: fachada ventilada, cobertura de telha sanduíche e telhado verde. A avaliação consiste em analisar a resistência térmica, transmitância térmica, capacidade térmica, atraso térmico e fator solar por meio do método de cálculo simplificado da NRB15220, verificando se seus requisitos são atendidos, assim como os requisitos exigidos pela NBR15575. Dentre as duas coberturas analisadas, verificou-se que o telhado verde atingiu classificação Superior segundo a NBR15575, enquanto que a cobertura de telha sanduíche se classificou como Intermediária. O resultado mais significativo encontrado diz respeito à capacidade térmica da fachada ventilada, que atingiu índice 85% superior ao mínimo exigido pela norma NBR15575, demonstrando, assim, o potencial do sistema em retardar a transferência de calor entre o ambiente externo e o interno.

Palavras-chave: Estudo de caso; Desempenho térmico; NBR15220; NBR15575

ABSTRACT

The thermal performance of a building depends on the interactions between the building systems used in its envelope and the environment. The knowledge of the thermal properties of the materials used in the fence systems allows the establishment of design strategies so that the building can respond efficiently to the climate variations. This paper aims to evaluate the thermal performance of a corporate building located in the city of Itajaí, Santa Catarina, by means of analyzes in three construction systems used in the project: ventilated façade, sandwich roofing and green roof. The evaluation consists of analyzing the thermal resistance, thermal transmittance, thermal capacity, thermal delay and solar factor using the simplified calculation method of NRB15220, verifying if its requirements are met, as well as the requirements required by NBR15575. Between the two roofs analyzed, it was verified that the green roof reached a Superior classification according to NBR15575, while the roofing of the sandwich tile was classified as Intermediate. The most significant result was the thermal capacity of the ventilated façade, which reached 85% higher than the minimum required by NBR15575, demonstrating the system's potential of delaying heat transfer between the external and internal environment.

Keywords: Case study; Thermal performance; NBR15220; NBR15575

1. INTRODUÇÃO

Projetos sustentáveis podem ser entendidos como aqueles que consideram todo o ciclo de vida de um edifício, desde a sua concepção, forma de utilização, manutenção, bem como origem e descarte de forma adequada dos materiais empregados na sua construção. Associada à arquitetura sustentável, tem-se o conceito do que vem a ser a arquitetura bioclimática. A bioclimatologia busca estudar as condições climáticas locais com intuito de subsidiar a escolha dos materiais e sistemas construtivos mais apropriados a à aplicação no invólucro das edificações. Para Corbella e Yannas (2009, grifo nosso) “*A Arquitetura sustentável é a continuidade mais natural da Bioclimática*, considerando também a integração do edifício à totalidade do meio ambiente.”

Paredes e coberturas definem a envoltória de uma edificação e são a forma como o edifício se comunica com o ambiente externo. O conhecimento das propriedades térmicas dos materiais empregados nos sistemas de vedações permite estabelecer estratégias projetuais para que o edifício possa responder de forma eficiente às variações do clima. No Brasil, há duas normas que tratam deste assunto, a NBR15220 Desempenho térmico nas edificações (2005) e a NBR15575 Edificações habitacionais – Desempenho (2013). A primeira aborda especificamente o desempenho térmico das edificações, bem como faz recomendações técnico-construtivas por zonas bioclimáticas pré-estabelecidas, enquanto a segunda aborda o desempenho de forma geral, estabelecendo um patamar mínimo a ser atingido em função da análise dos sistemas de estrutura, piso, vedação vertical, cobertura e instalação hidrossanitária.

O estudo dos níveis de desempenho térmico do envelope, seja através de normativas, ou por meio de simulações computacionais, tem por objetivo auxiliar a compreensão do comportamento deste frente às variações climáticas, assim como servir de suporte para o desenvolvimento de sistemas construtivos que sejam constituídos por materiais e mecanismos com poder de uniformizar o gradiente de temperatura entre os ambientes interno e externo, como por exemplo as fachadas ventiladas, os telhados sanduíches e as coberturas vegetais.

Segundo Muller (2003), a fachada ventilada é um sistema caracterizado pela existência de uma câmara de ar entre os subsistemas construtivos de vedação interna e revestimento externo. O potencial isolante deste sistema se dá pelo fluxo de ar ascendente no interior da câmara e pela utilização de manta isolante térmica junto à vedação interna. A parede interna fica protegida da umidade gerada pela chuva através do efeito chaminé, que ocorre devido às diferenças de pressão, que renovam o ar e retardam o aquecimento da parede ligada aos ambientes internos.

Assim como as fachadas, as coberturas também podem ser dotadas de materiais que potencializam seu poder isolante, como no caso do telhado sanduíche e das coberturas verdes. A composição das telhas sanduíches se dá por duas chapas de alumínio externas a uma camada de material isolante térmico com espessura em torno de 5 a 7cm, enquanto que as coberturas verdes são genericamente compostas pelas camadas de vegetação, solo/substrato, filtro geotêxtil, drenagem (seixo), proteção mecânica, manta impermeabilizante e contrapiso. Segundo Castelon, *et al.* (2010) as coberturas vegetais podem ser divididas em dois tipos básicos: extensivas e intensivas. As do tipo extensivo são formadas por uma camada fina de substrato, em torno de 10 a 15cm, com plantas rasteiras, como suculentas e gramas. As do tipo intensivo são aquelas em que a camada de substrato é mais espessa (15 a 120cm). A espessura maior potencializa a capacidade isolante, permite o cultivo de plantas de porte médio como raízes mais profundas como arbustos e pequenas árvores.

As coberturas verdes têm sido amplamente estudadas há anos como uma ferramenta capaz de resolver ou minimizar diversos problemas do ambiente urbano, tais como a gestão do escoamento das águas pluviais, a atenuação do efeito das ilhas de calor e a melhoria da qualidade do ar. Além disso, destacam-se estudos investigativos que buscaram esclarecer o potencial do sistema construtivo para melhorar a eficiência energética dos edifícios através de cálculos matemáticos (PARIZOTTO; LAMBERTS, 2011; CASTELON, *et al.* 2010). Alguns pesquisadores também buscaram comparar o desempenho térmico das coberturas vegetais com outras tipologias de coberturas. Parizotto e Lamberts (2011) demonstraram por meio de um estudo de caso que os telhados verdes têm capacidade de reduzir o fluxo de calor em cerca de 92-97%, se comparados com coberturas metálicas convencionais e telhas cerâmicas. Zinzi e Agnoli (2012) desenvolveram estudos comparativos entre telhados convencionais, “cool roofs”¹, coberturas metálicas com baixa emissividade e telhados verdes, buscando analisar o potencial de cada uma destas técnicas como forma de mitigar os efeitos da ilhas de calor.

Paralelamente aos estudos relativos às coberturas, também foram desenvolvidas pesquisas a respeito

¹ Os “cool roofs” são coberturas que se caracterizam pelo uso de materiais com elevada refletância e emissividade térmica.

das características térmicas das fachadas ventiladas, porém poucas delas envolvem fachadas cujo revestimento externo é opaco. Stazi *et al.* (2011) desenvolveram um estudo comparativo entre duas fachadas ventiladas opacas, com 6 e 12m de altura de caixa de ar, e constataram que a temperatura do ambiente interno permaneceu constante em ambos os casos (26°-28°), enquanto que temperatura e velocidade do ar dentro da câmara com 12m de altura obteve um ligeiro aumento em relação à câmara com 6m. Seferis *et al.* (2011) estudaram o comportamento de duas tipologias de fachadas ventiladas tradicionais, sendo que a uma delas foi adicionada uma manta radiante dentro da câmara de ar. Ambas as fachadas obtiveram resultados satisfatórios, sendo que a introdução da barreira radiante ajudou a evitar a perda de calor do ambiente interno e a manter a temperatura da caixa de ar com valores mais baixos.

Neste contexto, este artigo tem por objetivo apresentar um estudo de caso de um edifício corporativo em que se busca avaliar o desempenho térmico da envoltória segundo o método de cálculo simplificado da NBR15220. O invólucro objeto de estudo é composto pelos sistemas de fachadas ventiladas nas vedações verticais, e misto de telha sanduíche e telhado verde no sistema de cobertura. A escolha pela aplicação do método simplificado justifica-se pela sua disponibilidade e fácil acesso por parte dos projetistas. Segundo Brito *et. al* (2012), a importância do método simplificado ocorre pelo fato deste garantir que sistemas construtivos totalmente inadequados às condições climáticas sejam rapidamente identificados e descartados.

1.1 Caracterização do objeto de estudo



Figura 1 – Vista superior do edifício DC Logistics (Acervo da autora, 2016)

Como pode ser observado na figura 1, o edifício objeto de estudo difere dos projetos comumente encontrados no setor corporativo, onde o uso do vidro nas fachadas prevalece sobre os demais materiais. Cerca de 75% da fachada da edificação é composta por fachada ventilada. Os locais com pele de vidro foram protegidos da incidência solar direta por meio de brises. A cobertura é composta por telhado verde e telha sanduíche com sistema de captação e armazenamento da água das chuvas para irrigar o telhado verde. O entorno conta com áreas de jardim e revestimento de seixo rolado que permite a permeabilidade das águas pluviais.

O edifício localiza-se na cidade de Itajaí, Santa Catarina. A cidade fica na foz do rio Itajaí-Açu, a 26° 54' 48" de latitude e 48° 39' 53 de longitude. O clima é mesotérmico úmido, de verão quente, com precipitação regular durante o ano e médias mensais acima de 80mm, havendo abundância entre os meses de setembro a março. A umidade relativa do ar média é de 84%, e a temperatura média anual é de 20,4 °C, com médias entre 14 e 16 °C no inverno e 23 e 25 °C no verão (ARAUJO, 2012).

2. OBJETIVO

Avaliar o desempenho térmico da envoltória de uma edificação corporativa aplicando o método de cálculo simplificado da norma NBR15220 nos sistemas construtivos constituintes da envoltória: fachada ventilada, cobertura vegetal e telha sanduíche. O objetivo é verificar se o desempenho térmico da envoltória atende aos requisitos da norma NBR15220 assim como os requisitos referentes às partes 4 e 5 da norma de desempenho NBR15575².

3. MÉTODO

A estratégia metodológica adotada consistiu em aplicar a NBR15220 e NBR15575 nos sistemas construtivos da envoltória da edificação, com o propósito de avaliar seu desempenho térmico. A análise foi dividida em duas etapas, que serão descritas abaixo: levantamento dos sistemas construtivos e aplicação do cálculo simplificado.

² NBR 15575 Parte 4: Sistemas de vedações verticais externas e internas; NBR 15575 Parte 5: Requisitos para sistemas de coberturas;

3.1 Levantamento dos sistemas construtivos

Nesta etapa foram obtidas informações relativas aos materiais, camadas e espessuras dos sistemas construtivos empregados na envoltória da edificação através dos desenhos “as built” disponibilizados pelo escritório de arquitetura responsável pelo projeto. A partir dos desenhos 2D, elaborou-se o detalhamento em 3D dos sistemas constituintes da envoltória com auxílio do programa SketchUp.

3.2 Aplicação do cálculo simplificado

Nesta etapa foram desenvolvidos os cálculos dos parâmetros que definem o desempenho térmico segundo a NBR15220. Posteriormente, os resultados dos parâmetros calculados foram comparados com os valores limites das normativas NBR15220 e NBR15575.

Segundo a NBR15220, o desempenho térmico é definido através do cálculo simplificado dos seguintes parâmetros: *resistência térmica*³ (R), *transmitância térmica*⁴ (U), *capacidade térmica*⁵ (CT), *atraso térmico*⁶ (ϕ) e *fator solar*⁷ (Fso).

3.2.1. Resistência térmica (R)

A resistência térmica é dada pela expressão:

$$R = e/\lambda \quad \text{Expressão 1}$$

Onde:

e é a espessura do elemento;

λ é a condutividade térmica (obtida em tabela da norma).

Devido à presença de uma câmara de ar dentro das vedações, a resistência térmica das coberturas foi calculada para as situações de verão com fluxo descendente (ganho de calor) e inverno com fluxo ascendente (perda de calor), enquanto que para a fachada ventilada foi calculada com fluxo horizontal. A expressão utilizada para o cálculo das resistências térmicas, tanto das coberturas quanto das paredes, varia de acordo com as condições de ventilação expressas na tabela 1 e o aspecto dos componentes construtivos (homogêneo e heterogêneo).

Tabela 1 – Condições de ventilação (NBR15220, adaptado pela autora)

Posição da câmara de ar	Pouco ventilada	Muito ventilada
Vertical (paredes)	S/L < 500	S/L \geq 500
Horizontal (coberturas)	S/A < 30	S/A \geq 30

Onde:

S é a área total de abertura de ventilação, em cm²;

L é o comprimento da parede, em m;

A é a área da cobertura.

Para as câmaras sem, ou com pouca ventilação, utiliza-se a mesma expressão para a situação de inverno e verão:

$$\text{Situação de verão e inverno} \quad R_T = R_{se} + R_t + R_{si} \quad \text{Expressão 2}$$

Onde:

R_{se} e R_{si} são as resistências superficiais externa e interna, respectivamente, obtidas em tabela anexa à norma e no catálogo do fabricante.

R_t é a resistência térmica de superfície a superfície, onde para o cálculo de componentes com camadas homogêneas utilizar-se-á a expressão 4 e para componentes heterogêneos utilizar-se-á a expressão 5;

Para câmaras muito ventiladas, utiliza-se diferentes expressões para situações de verão e inverno.

$$\text{Situação de verão} \quad R_T = R_{se} + R_t + R_{si} \quad \text{Expressão 2}$$

$$\text{Situação de inverno} \quad R_T = 2 \cdot R_{si} + R_t \quad \text{Expressão 3}$$

Onde:

R_{se} e R_{si} são as resistências superficiais externa e interna, respectivamente, obtidas em tabela anexa à norma e no catálogo do fabricante.

R_t (expressão 2) é a resistência térmica de superfície a superfície (homogêneo exp. 4 e heterogêneo exp. 5);

R_t (expressão 3) é a resistência térmica da camada interna do componente construtivo. No caso de coberturas, é a resistência térmica do componente localizado entre a câmara de ar e o ambiente interno – forro;

³ Somatório do conjunto de resistências térmicas correspondentes às camadas de um elemento;

⁴ Transmissão de calor em unidade de tempo através da área unitária de um elemento: ela é o inverso da resistência térmica total;

⁵ Quantidade de calor que um corpo deve trocar para que sua temperatura sofra uma variação unitária;

⁶ Tempo que transcorre entre os momentos de temperatura máxima do ar no exterior e no interior da edificação, quando se verifica um fluxo de calor através de um componente construtivo submetido a uma variação da temperatura;

⁷ Razão entre a quantidade de energia solar que atravessa um componente pela quantidade de radiação solar que nela incide;

Para cálculo da resistência térmica de componentes homogêneos utiliza-se a expressão 4, e para os heterogêneos a expressão 5.

$$\text{Componente homogêneo} \quad R_t = R_{t1} + R_{t2} + \dots + R_{tn} + R_{ar1} + R_{ar2} + \dots + R_{arn} \quad \text{Expressão 4}$$

Onde:

$R_{t1}, R_{t2}, \dots, R_{tn}$ são as resistências térmicas das n camadas homogêneas, determinadas pela expressão 1;
 $R_{ar1}, R_{ar2}, \dots, R_{arn}$ são as resistências térmicas das n câmaras de ar obtidas em tabela da norma.

$$\text{Componente heterogêneo} \quad R_t = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b} + \dots + \frac{A_n}{R_n}} \quad \text{Expressão 5}$$

Onde:

R_a, R_b, \dots, R_n são as resistências térmicas de superfície a superfície para cada seção (a, b, \dots, n)

A_a, A_b, \dots, A_n são as áreas de cada seção.

A tabelas 2 indica as condições de ventilação e o aspecto dos componentes dos sistemas construtivos analisados.

Tabela 2 – Condições de ventilação e aspecto dos componentes (Elaborado pela autora, 2016)

Sistema Construtivo	Condições de ventilação	Aspecto dos componentes
Fachada ventilada	$S/L=600\text{cm}^2/\text{m}$ (muito ventilada)	Heterogêneos
Cobertura verde	Câmara sem ventilação	Homogêneos
Cobertura telha sanduíche	$S/A=7400\text{cm}^2/\text{m}^2$ (muito ventilada)	Homogêneos

3.2.2 Transmitância térmica (U)

A transmitância térmica é o resultado inverso da resistência térmica total, sendo representada em todos os sistemas construtivos pela expressão 6.

$$U = 1/R_T \quad \text{Expressão 6}$$

3.2.3 Capacidade térmica (CT)

Para o cálculo da capacidade térmica total dos sistemas construtivos homogêneos utilizou-se a expressão 7.

$$\text{Componente homogêneo} \quad C_T = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot R_i \cdot c_i \cdot \rho_i = \sum_{i=1}^n e_i \cdot c_i \cdot \rho_i \quad \text{Expressão 7}$$

Onde:

λ_i é a condutividade térmica do material da camada i^a ;

R_i é a resistência térmica da camada i^a ;

e_i é a espessura da camada i^a .

c_i é o calor específico do material da camada i^a ;

ρ_i é a densidade de massa aparente do material da camada i^a .

Para componentes constituídos de camadas heterogêneas utilizou-se a expressão 8.

$$\text{Componente heterogêneo} \quad C_T = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{C_{Ta}} + \frac{A_b}{C_{Tb}} + \dots + \frac{A_n}{C_{Tn}}} \quad \text{Expressão 8}$$

Onde:

$C_{Ta}, C_{Tb}, \dots, C_{Tn}$ são as capacidades térmicas do componente para cada seção (a, b, \dots, n), determinadas pela expressão 7.

A_a, A_b, \dots, A_n são as áreas de cada seção.

3.2.4 Atraso térmico (φ)

Para o cálculo do atraso térmico em componentes homogêneos utilizou-se a expressão 9, e para os componentes heterogêneos a expressão 10.

$$\varphi = 0,7284 \cdot \sqrt{R_t \cdot C_T} \quad \text{Expressão 9}$$

Onde:

φ é o atraso térmico;

e é a espessura da placa;

R_t é a resistência térmica de superfície a superfície do componente (homogêneo exp. 4 e heterogêneo exp. 5);

C_T é a capacidade térmica do componente (homogêneo exp. 7 e heterogêneo exp. 8);

$$\varphi = 1,382 \cdot R_t \cdot \sqrt{B_1 + B_2} \quad \text{Expressão 10}$$

Onde:

R_t é a resistência térmica de superfície a superfície do componente (homogêneo exp. 4 e heterogêneo exp. 5);

B₁ é dado pela expressão 11;

B₂ é dado pela expressão 12.

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{B_0}{R_t} \quad \text{Expressão 11}$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left(\frac{(\lambda \cdot \rho \cdot c)_{\text{ext}}}{R_t} \right) \cdot \left(R_{\text{ext}} - \frac{R_t - R_{\text{ext}}}{10} \right) \quad \text{Expressão 12}$$

Onde B₀ é dado pela expressão 13.

$$B_0 = C_T - C_{\text{Text}} \quad \text{Expressão 13}$$

Onde:

C_T é a capacidade térmica total do componente (homogêneo exp. 7 e heterogêneo exp. 8);

C_{Text} é a capacidade térmica da camada externa do componente.

Nota: Nas equações acima, o índice "ext" se refere à última camada do componente, junto à face externa.

3.2.5 Fator solar (F_{so})

Para os elementos opacos o fator solar é calculado pela expressão 14.

$$FS_o = 100 \cdot U \cdot \alpha \cdot R_{se} \quad \text{Expressão 14}$$

Onde:

FS_o é o fator solar de elementos opacos em porcentagem;

U é a transmitância térmica do componente;

α é a absorvância à radiação solar – função da cor, dada em tabela anexa a norma;

R_{se} é a resistência superficial externa, dada em tabela anexa à norma.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A primeira análise concentrou-se na fachada ventilada, que abrange uma área total de 620m². A fachada ventilada é composta pelas camadas de revestimento externo em laminado de alto desempenho, por câmara de ar e pela vedação interna em alvenaria de tijolos com reboco em ambos os lados, conforme ilustra a figura 2. Vale ressaltar que a fachada não dispõe de isolante térmico em sua composição. Com S/L=600cm²/m, a fachada é considerada muito ventilada. A tabela 3 demonstra os dados referentes às propriedades dos materiais utilizados para o cálculo, os quais foram retirados de tabelas anexas à própria NBR15220, e para o caso do laminado de alto desempenho utilizaram-se os dados fornecidos pelo catálogo do fabricante Formica®.

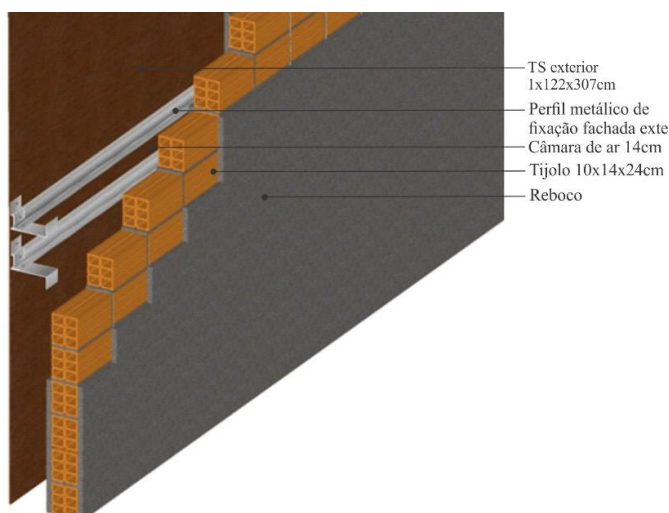


Figura 2 – Estrutura da fachada ventilada. (Acervo da autora, 2016)

Tabela 3 – Propriedades dos materiais da fachada ventilada e parâmetros calculados

Propriedades dos materiais						
Camadas	e (m)	ρ Kg/m ³	λ W/(m.K)	c Kg/(Kg.K)	α	ε
TS exterior	0,01	1500	0,27	2,3	0,74	-
Câmara de ar	0,14	-	-	-	-	-
Reboco	0,02	2000	1,15	1,00	-	-
Tijolo cerâmico	0,1	1600	0,9	0,92	0,95	0,8
Reboco	0,02	2000	1,15	1,00	-	-
Parâmetros calculados						
Resistência térmica (m ² .k/W)	Transmitância térmica (W/m ² .k)	Capacidade térmica (KJ/ m ² .k)	Atraso térmico (horas)	Fator solar (%)		
1,04	0,96	241,37	8h 16min 48s	2,84		

Para a NBR15220 os limites normativos são dados em função da tipologia de parede mais adequada por zona bioclimática (ZB), enquanto que na NBR15575 os valores limites são dados em função do índice de absorvância (α) da camada voltada para o ambiente externo. Observa-se que, diferentemente da NBR15220, a NBR15575 não avalia o atraso térmico e o fator solar, porém é mais rígida com relação aos valores limites de transmitância térmica. Segundo a NBR15220, a cidade de Itajaí encontra-se na ZB3, onde a classificação

para as paredes é como “leves e refletoras”, ao passo que para a NBR15575 o valor de absorvância a ser utilizado como limite deve ser igual a $\alpha > 0,6$, pois o α do laminado de alto desempenho é $\alpha = 0,75$.

À exceção do atraso térmico, todos os parâmetros calculados estão dentro dos limites normativos de ambas as normas, sendo o resultado de 241,5KJ/(m².K) para a capacidade térmica o mais significativo encontrado. Esse valor demonstrou que a capacidade térmica da fachada ventilada tem índice de transmitância térmica 85% superior ao requisito mínimo exigido pela norma NBR15575, que é de 130KJ/ m².k. O motivo pelo qual o atraso térmico não se manteve dentro do padrão normativo é que a NBR15220 determina o uso de paredes “leves e refletoras” para a ZB3, o que vai contra o sistema construtivo de fachadas ventiladas. O sistema de fachada ventilada com vedação interna de alvenaria em tijolos consiste em uma parede que se classifica como “pesada”. Os resultados obtidos podem ser observados de forma sintetizada na tabela 4.

Tabela 4 – Resultados para a fachada ventiladas (NBR15220 e NBR15575, adaptado pela autora)

Resultados	Transmitância térmica (W/ m ² .k)	Capacidade térmica (KJ/ m ² .k)	Atraso térmico (horas)	Fator solar (%)
NBR 15220 (ZB 3) (parede leve refletora)	≤3,6	-	≤4,3	≤4,5
NBR 15575 (ZB3) ($\alpha > 0,6$)*	≤2,5	≥130	-	-
Parâmetros calculados para a fachada ventilada	0,96	241,5	8h 16min 48s	2,84

* α é a absorvância à radiação solar da superfície externa da parede.

Com intuito de validar os resultados encontrados para os índices calculados, também realizou-se comparação com estudo similar realizado por Muller (2003). No estudo de Muller, as análises foram realizadas em uma fachada ventilada com condições de ventilação $S/L = 1.000 \text{ cm}^2/\text{m}$, considerada muito ventilada. A parede é composta por tijolos de 6 furos com dimensões de 10x16x32cm, 1cm de massa de assentamento e 2cm de reboco apenas no lado interno. O revestimento externo utilizado é porcelanato com 1,5cm espessura, conforme ilustrado na figura 3. Na análise comparativa entre as duas envoltórias tem-se as seguintes diferenças: 18,5cm de espessura com câmara de ar de 6cm para o estudo de Muller e 29cm com câmara de ar de 14cm para a o estudo de caso. Outras diversidades entre eles são a camada externa extra de reboco utilizada no estudo de caso (2cm), e as dimensões do tijolo, 10x14x24cm para o estudo de caso e 10x16x32cm para estudo de Muller.



Figura 3 - Imagem ilustrativa da fachada ventilada analisada por Muller. (MULLER, 2003)

Comparando-se os dois resultados, é possível observar que a resistência térmica e a transmitância possuem diferenças pequenas, apenas 0,08 m².k/W e 0,28 W/ m².k, enquanto a capacidade térmica e o atraso térmico atingiram diferenças maiores, 90,99KJ/ m².k e 4h 33min 36s. Essa diferença possivelmente ocorreu em função da camada extra de reboco e da variação das dimensões dos tijolos, tendo em vista que as câmaras de ar não possuem largura com diferença significativa que possa gerar influência no cálculo. Observar tabela 5.

Tabela 5 - Comparativo do resultado do estudo de caso com o estudo de Muller (Elaborado pela autora e Muller, 2003)

Comparativo do resultado do estudo de caso com o estudo de Muller					
Resultados	Resistência térmica (m ² .k/W)	Transmitância térmica (W/ m ² .k)	Capacidade térmica (KJ/ m ² .k)	Atraso térmico (horas)	Fator solar (%)
Estudo de caso	0,56	1,77	241,37	8h 16min 48s	2,84
Muller, 2003	0,48	2,05	150,38	3h 25min 12s	-

A segunda análise abrangeu os dois tipos de coberturas: telhado verde e telha sanduíche. A cobertura vegetal encontra-se em um nível abaixo da cobertura de telha sanduíche, porém, por estar localizada adjacente à face norte do edifício, não sofre prejuízos com períodos prolongados de sombreamento ao longo do ano. A telha sanduíche cobre uma área total de 470m² e é formada por duas chapas de alumínio externas a uma camada de 5cm de espessura de poliestireno expandido, estrutura metálica para suporte da cobertura e forro de poliestireno, como mostra a figura 4.

O telhado verde cobre uma área de 87m² e está localizado em cima da salas da diretoria e reuniões. É composto por uma camada de substrato com 5cm de espessura apoiada sobre uma laje treliçada comum e forro de poliestireno, como mostra a figura 5. A vegetação é do tipo extensiva com boldo brasileiro cultivado e não suporta tráfego contínuo de pessoas.

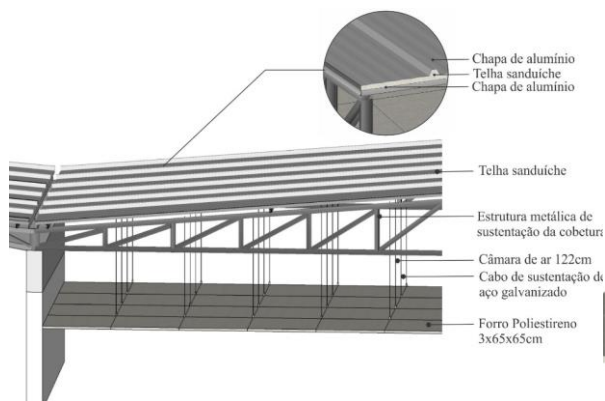


Figura 4 – Cobertura de telha sanduíche. (Acervo da autora, 2016)

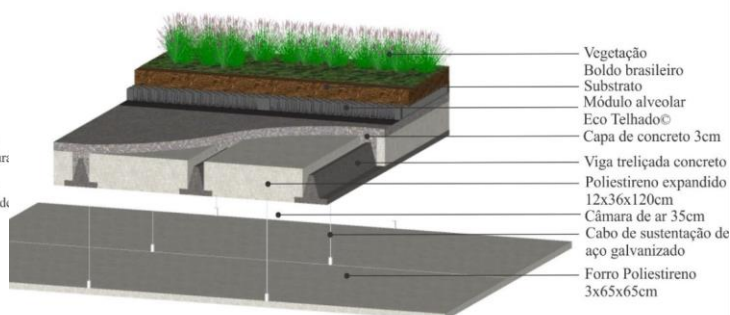


Figura 5 – Telhado verde. (Acervo da autora, 2016)

Para efeito de cálculo, foi desconsiderada a vegetação no telhado verde, por ser uma camada dinâmica e com variáveis não definidas pela norma, mas que influenciam no desempenho. Segundo Parizotto e Lamberts (2011), a vegetação possui variáveis como o Índice de Área Foliar (IAF) e a evapotranspiração, que causam grande influência no desempenho térmico das coberturas vegetais. O IAF envolve as características geométricas das folhas, influenciando diretamente no sombreamento, temperatura e umidade das camadas do substrato e drenagem. O ar estacionário dentro da camada de vegetação minimiza a transferência de calor por advecção e impede o aquecimento pela entrada de ventos quentes. O estudo ainda afirma que parte da radiação solar incidente é refletida e parte é dissipada, sendo a evapotranspiração responsável por cerca de 58% da dissipação.

As propriedades dos materiais e os parâmetros calculados para ambas as coberturas estão apresentados na tabela 6 e 7.

Tabela 6 - Propriedades dos materiais da cobertura de telha sanduíche e parâmetros calculados

Propriedades dos materiais para telha sanduíche						
Camada	e (m)	ρ Kg/m ³	λ W/(m.K)	c Kg/(Kg.K)	α	ϵ
Alumínio	-	2700	230	0,88	0,05	0,05
Poliestireno	0,12	35	0,04	1,42	-	-
Câmara de ar	0,35	-	-	-	-	-
Poliestireno	0,03	35	0,04	1,42	-	-
Parâmetros calculados da telha sanduíche						
Situação	Resistência térmica (m ² .k/W)	Transmitância térmica (W/ m ² .k)	Capacidade térmica (KJ/ m ² .k)	Atraso térmico (horas)	Fator solar %	
Verão	2,82	0,35	3,97	2h 4min 48s	0,24	
Inverno	0,95	1,05		-		

Tabela 7 – Propriedades dos materiais do telhado verde e parâmetros calculados

Propriedades dos materiais para cobertura verde						
Camada	e (m)	ρ Kg/m ³	λ W/(m.K)	c Kg/(Kg.K)	α	ϵ
Substrato	0,05	2000	1,58	1,55	0,25	0,95
Concreto	0,03	2400	1,75	1,00	-	-
Poliestireno	0,12	35	0,04	1,42	-	-
Câmara de ar	0,35	-	-	-	-	-
Poliestireno	0,03	35	0,04	1,42	-	-
Parâmetros calculados para cobertura verde						
Situação	Resistência térmica (m ² .k/W)	Transmitância térmica (W/ m ² .k)	Capacidade térmica (KJ/ m ² .k)	Atraso térmico (horas)	Fator solar %	
Verão	1,33	0,75	357,03	9h 48min	0,75	
Inverno	1,05	0,51		-		

Segundo a NBR15220, para a ZB 3 as coberturas devem ser “leves e isoladas”, enquanto a NBR 15775, classifica os sistemas de coberturas em três níveis, de acordo com o índice de absorvância e transmitância térmica. A cobertura verde possui $\alpha \leq 0,6$ e $U \leq 1,0$, o que as classifica com nível de desempenho Superior, enquanto que a telha sanduíche atingiu $\alpha \leq 0,6$ e $U \leq 1,5$, sendo classificada como de desempenho

Intermediário. Observar tabela 8.

Tabela 8 – Classificação do desempenho (NBR15575, adaptado pela autora)

Nível de desempenho ZB3						Parâmetros calculados	
Mínimo (M)		Intermediário (I)		Superior (S)		Cobertura verde	Telha sanduíche
$\alpha \leq 0,6$	$\alpha > 0,6$	$\alpha \leq 0,6$	$\alpha > 0,6$	$\alpha \leq 0,6$	$\alpha > 0,6$	0,25	0,05
$U \leq 2,3$	$U \leq 1,5$	$U \leq 1,5$	$U \leq 1,0$	$U \leq 1,0$	$U \leq 0,5$	0,75 (verão)	1,35 (verão)
						0,51 (inverno)	1,05 (inverno)

Ambas as coberturas apresentaram os valores de transmitância térmica e fator solar dentro dos padrões estabelecidos pela NBR15220. Apenas o atraso térmico da cobertura verde não atingiu resultado condizente com os parâmetros da norma, que visa trazer recomendações técnico-constructivas por zona bioclimática. Deste modo, a indicação do uso de coberturas “leves e soltas” para a ZB3 não proíbe o uso de outras soluções constructivas, apenas indica que esta seria a mais adequada. A tabela 9 resume o resultados obtidos através dos cálculos, e os limites normativos da NBR15220.

Tabela 9 – Tabela comparativa dos parâmetros calculados com NBR15220 (NBR15220, adaptado pela autora)

Critérios Requisitos	Transmitância térmica W/ m ² .k	Capacidade térmica KJ/ m ² .k	Atraso térmico (horas)	Fator solar (%)
NBR15220 (ZB3)	$\leq 2,0$	-	$\leq 3,3$	$\leq 6,5$
Coberturas leves e isoladas				
	Resultados			
Parâmetros calculados para a telha sanduíche	0,35	3,97	2h 4min 48s	0,24
Parâmetros calculados para o telhado verde	0,75	357,03	9h 48min	0,75

Comparando os resultados relativos ao desempenho das duas coberturas, é possível verificar que, segundo a NBR15220, o mais indicado seria o uso da telha sanduíche (coberturas leves e soltas), enquanto que segundo a NBR15575 o mais indicado seria o uso da cobertura verde (classificação Superior). A possibilidade de aplicação de ambas as coberturas deve-se às especificidades relativas ao desempenho térmico de cada sistema construtivo: maior inércia térmica, no caso do telhado verde, e maior refletância à radiação solar, no caso da telha sanduíche.

O conceito de inércia térmica está relacionado com a capacidade térmica da estrutura, que por sua vez está ligada ao atraso térmico. Quanto à capacidade térmica para os sistemas de coberturas, ambas as normas não trazem critérios mínimos ou máximos a serem respeitados, porém, em relação ao atraso térmico, alguns valores são estipulados. O atraso térmico depende da capacidade térmica do componente construtivo e da ordem em que as camadas estão dispostas. Os valores de atraso térmico obtidos no estudo de caso foram de 9h 48min horas para o telhado verde e 2h 4min 48s para a cobertura sanduíche, comprovando o potencial da cobertura vegetal no retardo na transferência de calor entre o ambiente externo e interno, pois quanto maior a inércia térmica de um material, menor será a variação de temperatura.

No estudo realizado por Parizotto e Lamberts (2011), em que foram utilizados instrumentos de medição, o resultado encontrado para o atraso térmico da cobertura vegetal foi próximo ao do estudo de caso, 10h 15min, porém para a cobertura metálica, o atraso térmico foi de 6h e 05min. Supostamente, esta diferença de aproximadamente 4 horas a mais de atraso térmico na cobertura metálica ocorreu em função da barreira radiante, manta de alta refletância, entre a telha e a câmara de ar da cobertura utilizada no estudo comparativo.

De acordo com Michels (2007), as barreiras radiantes são utilizadas para reduzir a transferência de calor por radiação entre as telhas e o forro (ou laje) da edificação. Todos os corpos emitem ou recebem radiação térmica em função da sua temperatura. A quantidade de energia emitida depende da temperatura e da emissividade de sua superfície. O desempenho de uma barreira radiante está associado a algumas propriedades, chamadas de emissividade e refletividade. Quanto maior o poder de reflexão da radiação e menor o poder emissivo de um material, conseqüentemente melhor será a barreira radiante. O alumínio é o material comumente utilizado nas mantas térmicas reflexivas devido a sua baixa emissividade, em torno de 0,05, e alta refletância, aproximadamente 0,9.

No estudo em questão, a refletância dos materiais também pode ser medida por meio do fator solar. Pelos índices obtidos, 0,24 para a telha sanduíche e 0,75 para o telhado verde, é possível concluir que a telha sanduíche refletirá 3 vezes mais a radiação solar incidente que o telhado verde, o que confirma seu potencial de refletir a incidência solar direta e também a caracteriza como um bom isolante térmico.

5. CONCLUSÕES

As análises simplificadas do desempenho térmico demonstraram resultados satisfatórios quanto aos sistemas construtivos empregados nas vedações verticais e horizontais. Na análise da fachada ventilada o resultado mais significativo foi o da capacidade térmica, que apresentou índice 85% superior que o mínimo exigido pela norma NBR 15575, confirmando o potencial do sistema construtivo em retardar a transferência de calor. O fluxo de ar ascendente no interior da câmara da fachada ventilada tende a deixar a parte superior da edificação mais aquecida. Por este motivo, em edifícios de grande gabarito faz-se necessário utilizar interrupções ao longo da altura da câmara de ar, como forma de evitar o fluxo contínuo de ventilação.

Quanto às coberturas utilizadas no projeto, é possível afirmar que as duas possuem desempenho térmico que superam as exigências normativas da zona bioclimática correspondente. A aprovação pelo método simplificado de duas tipologias para cobertura amplia o leque de opções construtivas para os projetistas, podendo-se optar por uma ou tantas quantas se achar necessário. Para o estudo em questão, o projetista detinha três opções para cobrimento do edifício. A primeira seria optar pelo uso da telha sanduiche, seguindo as recomendações técnico-construtivas da NBR15220, que aconselha a utilização de coberturas “leves e soltas” para a ZB3; a segunda, optar pelo por um sistema construtivo mais consistente, como a cobertura vegetal, tendo em vista que a massa térmica deste sistema retarda a passagem do calor entre o meio interno e externo, proporcionando temperaturas internas com menor amplitude durante o dia e, conseqüentemente, a redução o uso de condicionadores de ar; e, por fim, a que foi executada: mesclar os dois sistemas construtivos.

Este estudo teve por objetivo demonstrar a gama de opções que estão ao alcance dos projetistas ainda em fase de projeto. A avaliação, realizada em um projeto concluído, demonstrou que análises simplificadas como esta, além de produzirem bons resultados, estão ao alcance de todos os projetistas que tenham especial preocupação com o desempenho térmico das edificações. Deste modo, quando realizada ainda em fase de projeto, a utilização do método garante a consecução dos objetivos considerados primordiais ou mais apropriados para o empreendimento. Por fim, este estudo objetivou demonstrar a relevância de análises simplificadas como ferramenta para soluções construtivas diferenciadas, visando descartar as que se mostrem inadequadas, e escolhendo-se as mais compatíveis com a finalidade do edifício e as características bioclimáticas locais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220: Desempenho térmico de edificações, Rio de Janeiro, 2005.
- _____. NBR 15575: Edifícios habitacionais – Desempenho: Parte 4: Sistemas de vedações verticais externas e internas e Parte 5: Requisitos para sistemas de coberturas. Rio de Janeiro, 2013.
- ARAÚJO, S.A. Declividade. IN: POLETTE, M.; MARENZI, R.C.M. E SANTOS, C.F.(Org.) Atlas socioambiental de Itajaí. Itajaí. Editora Da Univali, 2012. 305 p.
- BRITO, Adriana C. de, et al. Contribuições para o aprimoramento da NBR 15.575 referente ao método simplificado de avaliação de desempenho térmico de edifícios. In: XIV ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. 14, Juíz de Fora. Anais... Juiz de Fora: ENTAC, 7 p., 2012.
- CASTELON, H. F.; STOVIN, V.; BECK, S.B.M.; DAVISON, J.B. Review: Green roofs; building energy savings and the potential for retrofit. *Energy and Buildings*. *Energy and Buildings*. V.42, p. 1582–1591, 2010.
- CORBELLA, Oscar; YANNAS, Simos. Em Busca de Uma Arquitetura Sustentável Para os Trópicos. 2.ed. ver.e ampl. Rio de Janeiro: Revan, 2009. 305p.
- FORMICA, TS exterior. Resistência, estabilidade e design nas fachadas externas. Disponível em: www.formica.com.br. Acesso em 16 de novembro de 2016.
- MICHELS, Caren. Análise da transferência de calor em coberturas com barreiras radiantes. Florianópolis, 119 p., 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina.
- MÜLLER, Alexandre. Desenvolvimento de um protótipo e análise do comportamento térmico de fachada ventilada com placas cerâmicas de grês porcelanato. Florianópolis, 395 p., 2003. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Santa Catarina.
- PARIZOTTO, S.; LAMBERTS, R. Investigation of green roof thermal performance in temperate climate: A case study of an experimental building in Florianópolis city, Southern Brazil. *Energy and Buildings*. V.43, p. 1712-1722, 2011.
- SEFERIS P.; STRACHAN P.; DIMOUDI A.; ANDROUTSOPOULOS A. Investigation of the performance of a ventilated wall. *Energy and Buildings*. V.43, p. 2167-2178, 2011.
- STAZI F.; TOMASSONI, F.; VEGLIÒ A.; DI PERNA C. Experimental evaluation of ventilated walls with an external clay cladding. *Renewable Energy*. V.36, p. 3373-3385, 2011.
- T.R. Oke. *Boundary Layer Climates*. Second ed., Cambridge University Press, New York, 1987. 423p.
- ZINZI M.; AGNOLI S. Cool and green roofs. An energy and comfort comparison between passive cooling and mitigation urban heat island techniques for residential buildings in the Mediterranean region. *Energy and Buildings*. V.55, p. 66-76, 2012.