



ANÁLISE COMPARATIVA DO DESEMPENHO TÉRMICO DE ENVOLTÓRIAS COM A TECNOLOGIA DE FACHADA CORTINA E O SISTEMA DE ASSENTAMENTO CONVENCIONAL

Natália Guido (1); Iraci Miranda Pereira (2)

(1) Arquiteta, Especialista, guido.natalia@gmail.com

(2) Arquiteta, Dra., Professora do Dep. TAU, iraci.pereira@gmail.com;

Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Tecnologia da Arquitetura e do Urbanismo (TAU), Rua Paraíba, 697, Belo Horizonte, MG, 30130-140, Tel.: (31) 3409-8873

RESUMO

A condição de conforto térmico de uma edificação está diretamente ligada à análise de desempenho térmico de sua envoltória e, por conseguinte, aos valores de absorvância e transmitância térmica da mesma. Com isso, o uso de revestimentos e cores nas fachadas tornou-se um entrave na busca de uma envoltória eficiente termicamente. Em paralelo, o uso da tecnologia de fachada cortina em edifícios de médio e grande porte vem crescendo no Brasil, devido à uma evolução no processo de produção de fachadas de edifício, tanto no aspecto construtivo, por tratar-se de um processo com alto índice de industrialização, quanto no desempenho térmico proporcionado por sua câmara de ar. Sendo assim, o presente trabalho visa analisar a eficiência térmica dessa tipologia de fachada em comparação ao sistema convencional de assentamento baseada na norma brasileira de desempenho de edificações habitacionais. A verificação foi realizada a partir da comparação dos valores de transmitância, capacidade e atraso térmico e fator solar para ambos sistemas de revestimento, calculados através do método simplificado e prescritivo de análise térmica. Com a avaliação dos resultados, foi verificada uma eficiência de 12% no desempenho térmico da fachada-cortina em comparação ao sistema aderido de revestimento, devido à resistência térmica gerada pela câmara de ar existente no primeiro modelo.

Palavras-chave: Envoltória; Fachada-Cortina; Desempenho Térmico; Revestimento Assentado; Norma de Desempenho.

ABSTRACT

The thermal comfort condition of a building is directly linked to the performance analysis of its thermal envelope and therefore the values of absorbance and thermal transmittance capacity. Thus, the use of coatings and colors on building facades became an obstacle in finding a thermally efficient envelope that ensures the building esthetic appreciation. In parallel, the use of technology in curtain wall buildings of medium and large size is growing in Brazil because it is an evolution in the production process of building facades considering both the constructive aspect, because it is a process with high rate of industrialization, as in thermal performance provided by existing air chamber in this technology. Thereby, these studies analyze the thermal efficiency of this type of facade compared with the conventional settlement systems based on the Brazilian norms of residential construction. The verification was performed by comparing the values of thermal transmittance, capacity and delay and solar factor for both coating systems, calculated using the simplified and prescriptive method of thermal analysis. With the evaluation of the results, there was a 12% efficiency in thermal performance of curtain wall system compared coating bonded system due to thermal resistance generated by an air space existing in the first model.

Keywords: Curtain Wall; Envelopment; Performance Norms; Settlement Systems; Thermal Performance.

1. INTRODUÇÃO

A envoltória de uma edificação é um dos principais elementos para sua valorização assumindo funções de grande impacto no funcionamento global de um edifício por desempenhar um papel de, junto com a cobertura, ser responsável pelo controle da troca de calor entre o espaço interno e externo e, conseqüentemente, pelo conforto térmico no interior de um edifício (SIQUEIRA JR., 2003). Com isso, a escolha do sistema de revestimento está diretamente ligada à estética e às características térmicas do mesmo, criando-se um entrave na definição de um material que atenda ambas necessidades. Sendo assim, mostra-se de extrema importância o estudo do desempenho térmico da fachada para alcançar uma eficiência térmica aliada a uma harmonia visual da edificação.

Atualmente, existe a norma brasileira de desempenho, NBR 15.575-1 (ABNT, 2013a) que exige esta análise do comportamento térmico das envoltórias para todas as edificações habitacionais, a partir da indicação de critérios a serem atingidos pelo sistema de revestimento e seus componentes. Este regulamento procura garantir o conforto térmico do usuário, a partir da definição de níveis mínimos de transmitância e capacidade térmica da fachada de uma edificação; conforme apresentado nas Tabelas 1 e 2, para cada zona climática estabelecida na ABNT NBR 15220-3 (ABNT, 2005b). Para isso, o sistema de vedação deverá ser avaliado a partir de um dos procedimentos apresentados na normatização, a fim de se garantir condições internas melhores que as externas nos ambientes de permanência prolongada.

Tabela 1 - Transmitância térmica de paredes externas

Transmitância Térmica U (W/m ² .K)		
Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	
U ≤ 2,5	$\alpha^a \leq 0,6$	$\alpha^a > 0,6$
	U ≤ 3,7	U ≤ 2,5
α^a é absorvância à radiação solar da superfície externa da parede.		

Fonte: ABNT, 2013b

Tabela 2 - Capacidade térmica de paredes externas

Capacidade Térmica (CT) (kJ/m ² .K)	
Zona 8	Zonas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7
Sem requisito	≥ 130

Fonte: ABNT, 2013b

A partir de então, a indústria da construção civil passa por grandes mudanças, visando a atender os requisitos e parâmetros estabelecidos na norma brasileira, atrelados ao avanço da tecnologia empregada nesse setor. Com isso, a envoltória é um sistema construtivo do edifício que vem passando por grandes evoluções e novas concepções de projeto, caracterizando os sistemas de revestimento não aderido como uma evolução do processo de produção de vedações e de alto índice de industrialização.

Atualmente, no mercado internacional, existem diversas tipologias de revestimento não aderido como as fachadas ventiladas, as “*cavity wall*” e as fachadas-cortina, acompanhadas de normas técnicas que as distinguem e orientam o desenvolvimento de projetos e o processo de execução. Entretanto, no Brasil, devido à carência de normatização sobre os sistemas afastados, existe uma escassez de informações e mão de obra qualificada para execução e elaboração de projeto para essa tecnologia, mostrando-se necessário um estudo técnico da mesma, em busca de informações suficientes quanto ao desempenho térmico por ela oferecido (MACHADO; OLIVEIRA, 2012).

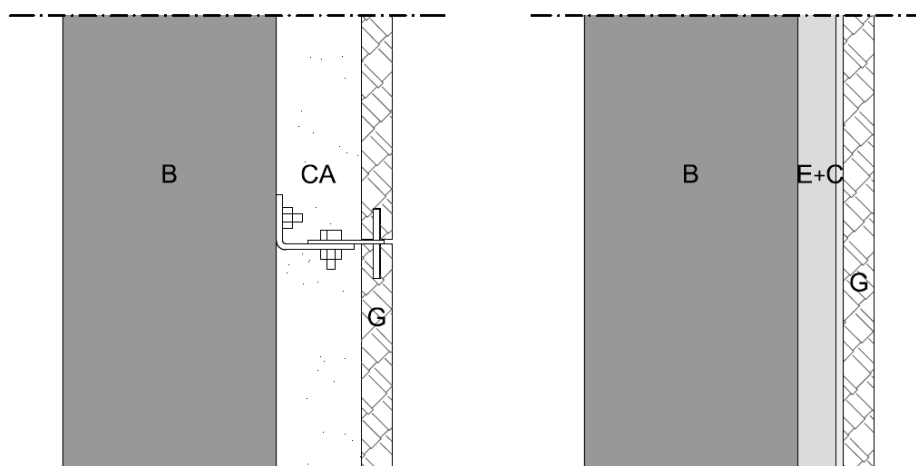


Figura 1 - Representação esquemática dos sistemas não aderido e aderido. (B) substrato ou base, (CA) câmara de ar, (G) placa de granito, (E+C) emboço e sistema de colagem. (Fonte: Elaborada pela auto)

Dentre estes sistemas destaca-se a fachada-cortina, uma técnica já difundida há alguns anos no mercado europeu e que vem sendo inserida na construção civil brasileira. Em vista de um mercado no qual se procura rapidez, custo/benefício, funcionalidade e qualidade, essa nova técnica possui características e vantagens exclusivas, entre elas o isolamento térmico e acústico. Este sistema, representado na figura 1, apresenta-se como um eficiente revestimento por permitir o uso de pedras ornamentais, valorizando a construção. Entretanto, no que se refere à economia, essa tecnologia possui um custo 40% superior ao sistema de assentamento convencional, levando em consideração apenas o material, e de 20% de forma global.

No mercado nacional, existe uma falta de entendimento sobre a diferenciação desses modelos de envoltória, além de uma ausência de orientação sobre o dimensionamento e aplicação dos mesmos (LOTURGO, 2006). A normalização brasileira insere a fachada-cortina na norma de rochas para revestimento - projeto, execução e inspeção de revestimento de fachadas de edificações com placas fixadas por insertos metálicos, NBR 15846 (2010), a qual define este tipo de tecnologia como *sistema placa-insertos*. Porém, no meio técnico, essa tecnologia é usualmente chamada de fachada aerada ou afastada, restringindo o sistema de fachada-cortina para as envoltórias de vidro ou pele de vidro e reconhecendo como fachada ventilada aquelas que possuem juntas abertas para entrada e circulação de ar.

Portanto, este trabalho, adotará o termo fachada-cortina para designar um sistema de revestimento formado por placas pétreas fixadas externamente à vedação de um edifício por uma subestrutura auxiliar, insertos metálicos, e com a existência de um espaço intersticial não ventilado entre a base e o revestimento, caracterizado como câmara de ar (SIQUEIRA JR., 2003). Trata-se de um estudo inicial, que será complementado com o desenvolvimento de testes computacionais no EnergyPlus¹ para uma avaliação mais detalhada da eficiência térmica desta tecnologia.

2. OBJETIVO

Este artigo tem como objetivo comparar o desempenho térmico de envoltórias com a tecnologia de fachada-cortina e o sistema de assentamento convencional, a partir da análise dos valores de transmitância, capacidade e atraso térmico e fator solar de ambos sistemas de revestimento, obtidos por meio do procedimento simplificado da norma de desempenho brasileira NBR 15.575-1 (ABNT, 2013a).

¹ O EnergyPlus é um programa computacional de simulações termoenergéticas distribuído pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos.

3. MÉTODO

Para a análise do desempenho térmico da fachada-cortina e do sistema convencional de assentamento será realizado o procedimento simplificado (normativo) da NBR 15.575-4 (ABNT, 2013b). Este método prescritivo é baseado nos procedimentos explicitados na NBR 15220-3 (ABNT, 2005a) e indica os valores das características térmicas dos sistemas, como transmitância e capacidade térmica, fator solar e atraso térmico. Com isso, a partir dos resultados das duas tipologias, os mesmos serão contrapostos, a fim de se verificar a eficiência do revestimento de fachada-cortina.

3.1. Procedimento simplificado (normativo)

O procedimento simplificado de análise térmica dos sistemas de revestimentos foi realizado com base nos métodos de cálculos da NBR 15220-2 (ABNT, 2005b). Os valores de massa aparente, condutividade térmica e calor específico dos materiais utilizados na avaliação foram consultados na tabela B.3 da mesma norma. Além disso, os dados de resistência térmica superficial interna e externa, resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas e absorvância para radiação solar foram utilizados conforme as tabelas A.1, B.1 e B.2, respectivamente, da norma de desempenho térmico (ABNT, 2005b).

Inicialmente foram calculadas as resistências térmicas individuais dos blocos de vedação utilizados nos dois sistemas de revestimento em análise, a fim de garantir maior precisão nos resultados. Por se tratar de componentes com camadas homogêneas e não homogêneas; conforme figura 2, temos:

Resistência térmica do material (1): $R = e/\lambda$

Onde:

e é a espessura da camada;

λ é a condutividade térmica do material da camada;

A partir das resistências térmicas dos materiais que constituem uma camada de um determinado elemento, a resistência térmica da camada se dá a partir do somatório das resistências de todos os materiais:

Resistência térmica da camada (2):

$$R_t = R_{t1} + R_{t2} + \dots + R_{tn} + R_{ar1} + R_{ar2} + \dots + R_{arn}$$

Onde:

$R_{t1}, R_{t2}, \dots, R_{tn}$ são as resistências térmicas das n camadas homogêneas.

$R_{ar1}, R_{ar2}, \dots, R_{arn}$ são as resistências térmicas das n câmaras de ar.

A seguir, pelo método de ponderação, é calculada a resistência de superfície a superfície do bloco como um todo, por se tratar elementos heterogêneos e perpendiculares ao fluxo de calor.

Resistência térmica do bloco (3):

$$R_t = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b} + \dots + \frac{A_n}{R_n}} \rightarrow RT = R_{se} + R_t + R_{si}$$

Onde:

R_a, R_b, \dots, R_n são as resistências térmicas de superfície à superfície para cada seção, definidas pela expressão 2;

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

R_{se} e R_{si} são as resistências superficiais externa e interna, respectivamente.

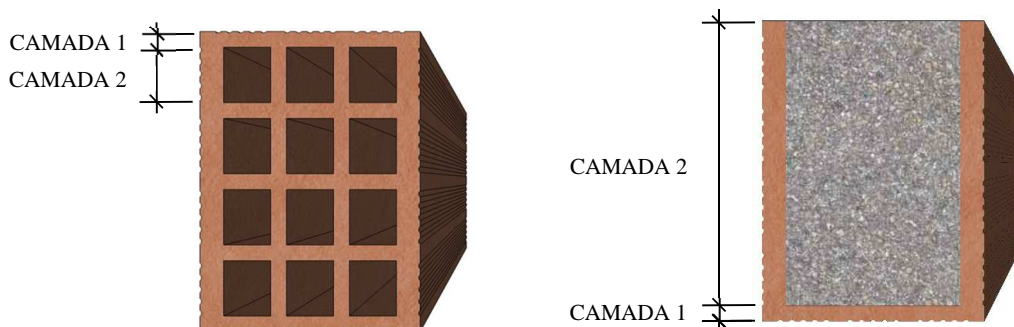


Figura 2 - Camadas dos blocos cerâmico e canaleta preenchido utilizados na vedação da edificação em estudo.

(Fonte: Elaborado pela autora)

A seguir, pelo método de ponderação, é calculada a resistência de superfície a superfície do bloco como um todo, por se tratar elementos heterogêneos e perpendiculares ao fluxo de calor.

Resistência térmica do bloco (3):

$$R_t = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b} + \dots + \frac{A_n}{R_n}} \rightarrow RT = R_{se} + R_t + R_{si}$$

Onde:

Ra, Rb, ..., Rn são as resistências térmicas de superfície à superfície para cada seção (a, b, ..., n), estabelecidas pela expressão 2;

Aa, Ab, ..., An são as áreas de cada seção;

Rse e Rsi são as resistências superficiais externa e interna, respectivamente.

A partir de então, foram levantadas as resistências térmicas dos sistemas de revestimento aderido e não aderido, segundo procedimentos acima. Para ambos os sistemas, conforme figuras 3 e 4, foram utilizadas características ideais conforme as normas vigentes.

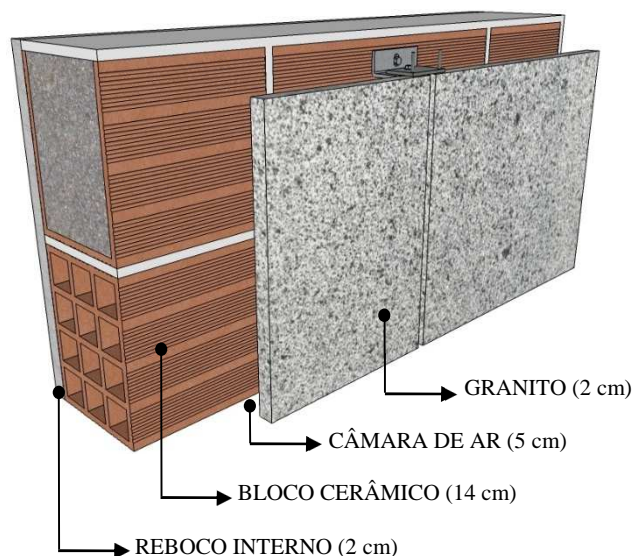


Figura 3 - Camadas do sistema de fachada-cortina com as espessuras adotadas. (Fonte: Elaborado pela autora)

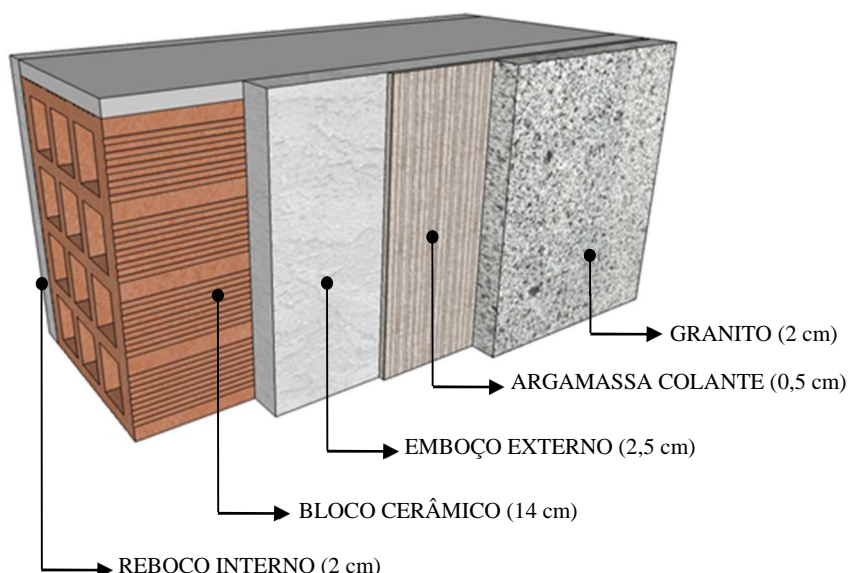


Figura 4 - Camadas do sistema de fachada-cortina com as espessuras adotadas. (Fonte: Elaborado pela autora)

Devido ao fato do sistema da fachada-cortina ser composta por blocos cerâmicos e canaletas preenchidos, foi necessária a realização de cálculos individuais de resistência térmica para cada uma das situações de vedação, para posterior ponderação dos valores, como mostra a figura 5.

Com os valores de resistência de cada situação, obtém-se o valor da transmitância térmica dos mesmos, por se tratar do inverso da resistência térmica total, conforme expressão abaixo:

Resistência térmica do sistema (4): $U = 1/R_t$

Onde:

R_t é a resistência térmica total do sistema de revestimento.

Em seguida, são calculados os valores de capacidade térmica das situações de revestimento, de superfície a superfície, perpendiculares ao fluxo de calor, a fim de verificar quanto de energia é necessário para alterar em uma unidade a temperatura do ambiente interno. Como o ar apresenta uma densidade de massa aparente muito baixa a sua capacidade térmica será desprezada.

Capacidade térmica do sistema (5): $CT = \sum_{i=1}^n \lambda_i \times R_i \times c_i \times \rho_i = \sum_{i=1}^n e_i \times c_i \times \rho_i$

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 .

Assim como a resistência térmica, por se tratar de elementos heterogêneos, deverá ser realizada a ponderação das capacidades térmicas das camadas em relação a suas respectivas áreas no sistema de revestimento.

Capacidade térmica do sistema (6):

$$CT = \frac{Aa + Ab + \dots + An}{\frac{Aa}{CTa} + \frac{Ab}{CTb} + \dots + \frac{An}{CTn}}$$

Onde:

CTa, CTb, \dots, CTn são as capacidades térmicas do componente para cada seção (a, b, ..., n), estabelecidas pela expressão 5;

Aa, Ab, \dots, An são as áreas de cada seção;

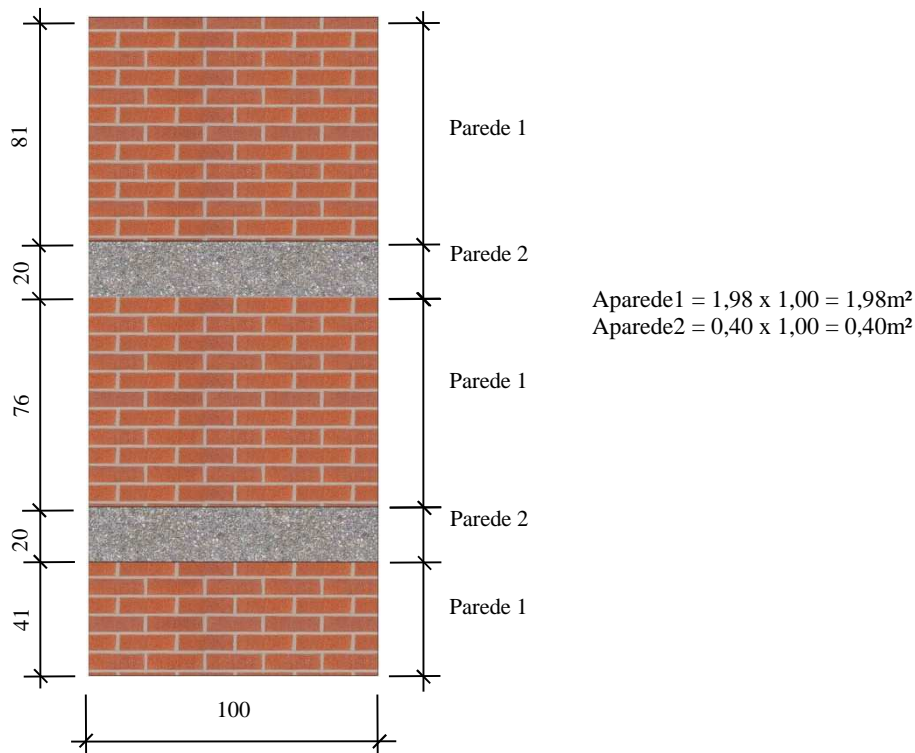


Figura 5 – Elevação de um metro do pé-direito da edificação em estudo, com as áreas dos tipos de vedação utilizados. (Fonte: Elaborado pela autora)

$$CT = \frac{Aa + Ab + \dots + An}{\frac{Aa}{CTa} + \frac{Ab}{CTb} + \dots + \frac{An}{CTn}}$$

Conforme realizado no cálculo da resistência (figura 5), é necessário a ponderação dos valores de capacidade térmica para o revestimento não aderido com bloco cerâmico e canaleta preenchido.

A partir dos valores de resistência e capacidade térmica de cada sistema, é calculado o atraso térmico de cada situação, com o intuito de verificar o tempo transcorrido entre uma variação térmica no meio externo e sua manifestação no ambiente interno.

Atraso térmico do sistema (7):

$$\varphi = 1,382 \times R_t \times \sqrt{B_1 + B_2}$$

Sendo que:

R_t é a resistência térmica de superfície a superfície do componente;

$$B_1 = 0,226 \times \frac{B_0}{R_t} \quad (8) \quad \rightarrow \quad B_0 = CT - C_{Text} \quad (9)$$

$$B_2 = 0,205 \times \left(\frac{\lambda \times \rho \times c_{ext}}{R_t} \right) \times \left(R_{ext} - \frac{R_t - R_{ext}}{10} \right) \quad (10)$$

Onde:

CT é a capacidade térmica total do componente;

C_{Text} é a capacidade térmica da última camada do componente junto à face externa.

R_{ext} é a resistência térmica da camada externa do componente.

Devido ao valor de B2 ter sido o número negativo, o mesmo foi considerado nulo.

Finalmente, foi realizado cálculo de fator de ganho de calor solar de elementos opacos, a fim de se encontrar o quanto a vedação transmite de radiação, em relação ao quanto ela recebeu. Para isso, foi considerada a cor externa como sendo cinza e sua absorvância de 0,5.

Fator solar do sistema (11): **FS_o = 100 x U x α x R_{se}**

Onde:

FS_o é o fator solar de elementos opacos em percentagem;

U é a transmitância térmica do componente;

α é a absorvância à radiação solar em função da cor;

R_{se} é a resistência superficial externa.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

A partir dos cálculos realizados conforme a norma NBR 15220-2 (ABNT, 2005b), apresentados na tabela 3, foi possível comparar os valores das propriedades térmicas dos sistemas de fachada-cortina e de assentamento convencional e verificar se ambos atendem os valores estipulados pela norma NBR 15.575-4 (ABNT, 2013b) para as diferentes zonas brasileiras, conforme tabelas 1 e 2.

Considerando os valores de transmitância e capacidade térmica, verifica-se que ambas tecnologias atendem aos valores determinados para todas as zonas bioclimáticas, destacando-se a fachada-cortina com valores 11% e 19%, respectivamente, menores que o sistema de assentamento convencional. Já no que se refere ao atraso térmico e fator solar, os requisitos são recomendados pela NBR 15220-3 (ABNT, 2005b), conforme tabela 4, para cada tipo de vedação. Assim, se tratando de paredes leves, o valor do fator solar das duas tipologias atendem ao exigido em norma, ao contrário do atraso térmico, que para os dois sistemas se encontra superior ao estabelecido no regulamento.

Desta forma, com a análise dos resultados, foi constatada uma eficiência de 12% no desempenho térmico total da fachada-cortina em comparação ao sistema de revestimento aderido, devido a sua câmara de ar. Esta eficácia poderia ser maior, caso não houvesse a necessidade do uso do bloco preenchido com concreto para fixação dos insertes.

Tabela 3 - Resumo dos resultados das propriedades térmicas de cada sistema

DESENHO ESQUEMÁTICO	DESCRIÇÃO	U W/(m ² .K)	CT kJ/(m ² .K)	φ horas	FS %
	Sistema de Revestimento não Aderido - Sistema de Fachada-Cortina	1,72	202,28	5,34	3,45%
	Sistema de Revestimento Aderido - Assentamento Convencional	1,93	249,24	5,59	3,88%

(Fonte: Elaborada pela autora)

Tabela 4 - Transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar admissíveis para cada tipo de vedação externa

Vedações externas		Transmitância Térmica – U (W/m ² .K)	Atraso térmico – φ (Horas)	Fator solar – FS (%)
Paredes	Leve	U ≤ 3,00	φ ≤ 4,3	FS ≤ 5,0
	Leve refletora	U ≤ 3,60	φ ≤ 4,3	FS ≤ 4,0
	Pesada	U ≤ 2,20	φ ≥ 6.5	FS ≤ 3,5

Fonte: ABNT, 2005b

5. CONCLUSÕES

A partir dos estudos realizados comparando os sistemas aderido e não aderido, confirmou-se uma melhor eficiência do sistema de fachada-cortina devido a sua câmara de ar, que trabalha como isolante térmico, concedendo uma maior resistência térmica à fachada. Porém, esse melhor desempenho poderia ser superior, caso não houvesse a necessidade de utilização de blocos preenchidos com concreto para a fixação dos insertes metálicos. Esse entrave do sistema não aderido já foi solucionado em outros países a partir do uso de uma subestrutura auxiliar que permite a fixação do inserte diretamente no bloco de vedação, sem prejudicar suas propriedades, porém este produto não se encontra disponível no mercado nacional.

Portanto, conclui-se que realizando alguns ajustes no sistema de fachada-cortina, como sua fixação na alvenaria, a norma de desempenho tende a abrir um espaço no setor de construção civil para essa tecnologia a partir da comprovação de sua eficiência térmica e atendimento as exigências estipuladas pela

regulamentação. Além disso, mostra-se necessário a continuidade do estudo, a partir do desenvolvimento de testes computacionais no EnergyPlus² para validação desta análise.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13755**. Revestimento de paredes externas e fachadas com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante. Rio de Janeiro, 1997.
- _____. **NBR 15220-2**. Desempenho térmico de edificações - Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005a.
- _____. **NBR 15220-3**. Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.. Rio de Janeiro, 2005b.
- _____. **NBR 15846**. Rochas para revestimento - Projeto, execução e inspeção de revestimento de fachadas de edificações com placas fixadas por insertos metálicos. Rio de Janeiro, 2010.
- _____. **NBR 15575-1**. Edificações habitacionais - Desempenho - Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013a.
- _____. **NBR 15575-4**. Edificações habitacionais - Desempenho - Parte 4: Sistemas de vedações verticais externas e internas. Rio de Janeiro, 2013b.
- GRAN-PROMETAL (Belo Horizonte - MG). **Procedimentos de Execução de Serviços**. Disponível em: <<http://www.granprometal.com.br>>. Acesso em: 20 nov. 2012.
- FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de Conforto Térmico**. São Paulo, Studio Nobel, 2003.
- LEAL, U. **Afinal, o que é a norma de desempenho?** Revista Técnica, São Paulo, v. 86, p.01-07, mai. 2004. Disponível em: <<http://www.piniweb.com.br/construcao/noticias/afinal-o-que-a-norma-de-desempenho-797161-1.asp>>. Acesso em: 10 set. 2012.
- LOTURGO, B. **Revestimento de granito com insertos metálicos**. Revista Técnica, São Paulo, v. 106, p.01-07, jan. 2006. Disponível em: <<http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/106/artigo31680-1.asp>>. Acesso em: 26 out. 2012.
- MACHADO, A. L. A.; OLIVEIRA, L. A. **Orientações para elaboração de projeto de fachadas com revestimento não aderido: aspectos estruturais e de durabilidade das subestruturas metálicas**. In: ENTAC, 14º, 2012, Juiz de Fora. Anais. Juiz de Fora: Entac, 2012. p. 4081 - 4094. CD-ROM.
- SIQUEIRA JR., A. **Tecnologia de fachada-cortina com placas de grês porcelanato**. 2003. 148 f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia de Construção Civil e Urbana, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

² O EnergyPlus é um programa computacional de simulações termoenergéticas distribuído pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos.