

GESTÃO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

FELIPE JOSÉ MARQUES MESQUITA
(ORGANIZADOR)



GESTÃO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

FELIPE JOSÉ MARQUES MESQUITA
(ORGANIZADOR)



2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação: Karine de Lima

Edição de Arte: Lorena Prestes

Revisão: Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie di Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná

Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Msc. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Dr. Adailson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Msc. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Msc. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Profª Msc. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Prof. Msc. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
Prof. Msc. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof^a Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Msc. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^a Msc. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Prof^a Msc. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Prof^a Dr^a Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
Prof. Msc. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof. Msc. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Msc. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^a Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof^a Msc. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)**

G393 Gestão do ambiente construído [recurso eletrônico] / Organizador Felipe José Marques Mesquita. – Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader.

Modo de acesso: World Wide Web.

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-81740-00-9

DOI 10.22533/at.ed.009201902

1. Construção civil – Brasil. 2. Engenharia civil. I. Mesquita, Felipe José Marques.

CDD 624

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A obra “Gestão do Ambiente Construído” publicada pela Atena editora apresenta, em seus 4 capítulos, abordagens científicas sobre construção civil, utilização de novas tecnologias, edificações sustentáveis e transporte. Os capítulos estão organizados de acordo com a abordagem dos trabalhos diversos que os compõe.

O capítulo 1 aborda um estudo comparativo entre o desempenho termoenergético de edifícios utilizando modelos de fachadas duplas de duas tipologias diferentes por meio de simulação dinâmica termoenergética.

O capítulo 2 apresenta estudo bibliográfico sobre a utilização de containers na construção civil, visando demonstrar as diferentes possibilidades de uso deste sistema construtivo, além de analisar o potencial de sustentabilidade e desempenho do ambiente construído.

O capítulo 3 explora o tema de certificações ambientais, contextualizando a criação do Selo Casa Azul, além de apresentar um estudo de caso onde a certificação foi empregada na construção de edificações sustentáveis.

Por fim, mas não menos importante, o capítulo 4 apresenta um estudo sobre a influência das chuvas no transporte público de São Paulo, utilizando-se de dados de pluviômetros e análise estatística, foi possível estabelecer uma relação entre os índices pluviométricos e a quantidade de passageiros transportados.

Ante ao exposto, agradecemos aos autores dos capítulos apresentados e esperamos que esta leitura seja proveitosa, contribuindo para reflexão e debate a respeito dos temas apresentados.

Felipe José Marques Mesquita

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
FACHADAS DUPLAS: DESEMPENHO TERMOENERGÉTICO DE ALTERNATIVAS DE PROJETO EM EDIFÍCIOS COMERCIAIS NO CONTEXTO CLIMÁTICO DE BRASÍLIA	
Thiago Montenegro Góes Cláudia David Naves Amorim Caio Frederico e Silva	
DOI 10.22533/at.ed.0092019021	
CAPÍTULO 2	21
O USO DE CONTAINERS NA CONSTRUÇÃO CIVIL: CARACTERIZAÇÃO E ESTUDO DE CASO	
Ângliston Tainã Camilotti Bruno Luís Damineli Victor José dos Santos Baldan Alexandre Rodrigues Murari	
DOI 10.22533/at.ed.0092019022	
CAPÍTULO 3	31
SELO CASA AZUL: ENGENHARIA CIVIL E SUSTENTABILIDADE, UMA PARCERIA QUE PODE DAR CERTO	
Aldreen Calábria Soares Santos Ana Lúcia Torres Seroa da Motta Luiz Carlos Brasil de Brito Mello	
DOI 10.22533/at.ed.0092019023	
CAPÍTULO 4	48
INFLUÊNCIA DAS CHUVAS NO USO DE TRANSPORTE PÚBLICO: UM ESTUDO BASEADO NO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO	
Maria Teresa Françoso Wilson Aparecido Sedano Filho	
DOI 10.22533/at.ed.0092019024	
SOBRE O ORGANIZADOR	60
ÍNDICE REMISSIVO	61

FACHADAS DUPLAS: DESEMPENHO TERMOENERGÉTICO DE ALTERNATIVAS DE PROJETO EM EDIFÍCIOS COMERCIAIS NO CONTEXTO CLIMÁTICO DE BRASÍLIA

Data de aceite: 14/02/2020

Thiago Montenegro Góes

Universidade de Brasília, Faculdade de
Arquitetura e Urbanismo
Brasília – Distrito Federal
<https://orcid.org/0000-0002-5745-229X>

Cláudia David Naves Amorim

Universidade de Brasília, Faculdade de
Arquitetura e Urbanismo
Brasília – Distrito Federal
<https://orcid.org/0000-0001-6769-1983>

Caio Frederico e Silva

Universidade de Brasília, Faculdade de
Arquitetura e Urbanismo
Brasília – Distrito Federal
<https://orcid.org/0000-0001-8910-1841>

RESUMO: A construção civil possui grande impacto no meio ambiente e sob um paradigma mais sustentável há a necessidade de edificações com melhor desempenho e com menor dependência energética. Nesse sentido, as fachadas duplas representam soluções que visam contribuir especialmente à melhoria do desempenho energético das edificações. Neste contexto, esta pesquisa propõe-se a analisar o desempenho termoenergético do emprego de fachada dupla em edifícios verticais de uso comercial no clima de Brasília. Especificamente,

busca-se compreender a diferença do desempenho de fachadas duplas híbridas, com maior área opaca, em comparação com as tradicionais soluções de fachadas duplas altamente envidraçadas. Assim, investiga-se o impacto dos parâmetros projeto de fachada dupla no consumo energético do sistema de condicionamento, por meio da análise da carga térmica de resfriamento, especificamente os parâmetros orientação, largura da cavidade – em ambos tipos de fachada dupla – e taxa de permeabilidade da pele externa – somente na fachada dupla híbrida. A esse fim, realiza-se uma análise paramétrica com o uso de ferramentas de simulação termoenergética *EnergyPlus* versão 8.5 e da interface gráfica *DesignBuilder* versão 5.2. Os resultados indicam um desempenho superior da fachada dupla híbrida em relação as fachadas duplas envidraçadas. Inclusive, a fachada dupla envidraçada obteve desempenho inferior ao cenário de referência – com somente uma pele de vidro – na maioria das situações, o que indica a necessidade de grande cuidado no emprego deste tipo soluções de fachadas duplas no contexto climático de Brasília. A partir dos resultados percebe-se que a orientação norte é a mais indicada. Já a maiores largura da cavidade apresentaram melhores resultados para fachadas duplas envidraçadas, enquanto que para fachadas duplas híbridas este parâmetro não possui

variação significativa. Por sua vez, menores taxas de permeabilidade apresentaram desempenhos superiores. Nesse sentido, evidencia-se a relevância do impacto do sombreamento no desempenho termoenergético no contexto climático de Brasília.

PALAVRAS-CHAVE: Fachada dupla. Desempenho termoenergético. Simulação computacional. Análise paramétrica.

DOUBLE-SKIN FAÇADE: THERMOENERGETIC PERFORMANCE OF DESIGN ALTERNATIVES IN HIGHRISE COMMERCIAL BUILDINGS IN BRASILIA

ABSTRACT: The building sector has a great impact in the natural environment and under a more sustainable paradigm there is a need for buildings with better performance and a lower energy dependence. In this sense, double-skin façade represents a solution that aim to contribute especially to the improvement of building's energetic performance. In this context, this research purpose to analyze the double skin façade thermal energetic performance in commercial vertical buildings in Brasilia's climate. Specifically, it is sought to understand the performance difference between of hybrid and fully glazed double-skin facades. Therefore, it is investigated the impact of many double skin façade design parameters in the air condition energy consumption, via the thermal cooling load, specifically the parameters orientation, cavity width – for both types of double-skin façade – and the external skin permeability rate – only for hybrid double skin façade. To this end, it is carried out a parametric analysis with the aid of the building performance simulation tools EnergyPlus 8.5 and the graphical interface DesignBuilder 5.0. The results show a superior performance of the hybrid double-skin façade. Even more, the fully glazed double-skin façade had an inferior performance than the control scenario, with only one glass layer, in most of the circumstances, which shows the need for great caution when employing fully glazed double-skin facades in Brasilia. Also, the results indicate the north as the most suitable orientation for double-skin facades. As for the cavity width, wider ones performed better for fully glazed double-skin facades, but for the hybrid ones the variation was not significant. In its turn, lower permeability rates presented better performance. This evidences the shading importance in achieving a better thermoenergetic performance in Brasilia's climate.

KEYWORDS: Double-skin façade. Thermoenergetic performance. Building performance simulation. Parametric analysis.

1 | INTRODUÇÃO

A construção civil é um dos principais setores responsáveis pela degradação ambiental — tanto na fase de construção quanto nas de operação e manutenção — com consumo de mais de 50% de toda a matéria-prima extraída da natureza (RUUSKA, HÄKKINEN, 2014). Na fase de operação, o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) aponta que as edificações consomem 32% de toda energia gerada no mundo somente, o que representa 19% das emissões de gases do efeito

estufa (LUCON *et al.*, 2014). Nos países desenvolvidos, esse consumo chega a 40% de toda a energia gerada, o que representa 70% de toda a energia elétrica produzida; no Brasil, esses valores correspondem a 14% e 47%, respectivamente (PESSOA *et al.*, 2013).

Para enfrentar esses problemas, há algumas iniciativas sobre eficiência energética nas esferas nacionais como os Programas de Etiquetagem PBEedifica e *EnergyStar*, e na esfera internacional como normas voluntárias – como *PassivHaus*, *Minergie*, entre outros. Contudo, essas iniciativas de eficiência energética possuem maior enfoque nos sistemas ativos da edificação, com menor consideração às estratégias passivas. Aspectos como forma, técnicas construtivas e materiais empregados estão estritamente ligados ao consumo energético das edificações (OLGYAY, OLGAYAY, 1963, NABONI *et al.*, 2015) e estão diretamente relacionados às decisões de projeto arquitetônico, desde os primeiros traços. Por exemplo, no contexto climático de Brasília, Costa (2018) aponta para a possibilidade de redução de até 40% do consumo energético em edifícios comerciais condicionados artificialmente somente por meio de conservação energética, com estratégias passivas.

Ademais, em grande parte a literatura e normas internacionais estão voltadas à realidade climática construtiva e cultural dos países centrais, em climas temperados e com processos construtivos mais industrializados. A transposição dessas práticas exógenas de projeto à realidade brasileira, por exemplo, negligencia diversos aspectos que poderiam favorecer – ou mesmo prejudicar – a obtenção de edificações de melhor desempenho.

A relação entre alta taxa de envidraçamento e condicionamento artificial traz a raiz da questão do consumo de energia e conseqüentemente do impacto ambiental das edificações. Neste sentido, fachadas duplas devem propiciar melhor desempenho térmico e lumínico dos sistemas de envidraçamento sem comprometer o emprego da pele envidraçada. Composta por duas peles de vidro separadas por uma cavidade de ar, possibilitam uma maior resistência térmica em comparação aos sistemas com somente uma pele de vidro. Além disso, a operação da cavidade e das aberturas das peles possibilita maior controle sobre o balanço do calor.

Apesar desse sistema de vedação ter sido desenvolvido inicialmente para climas temperados, mesmo nesse contexto climático há problemas de superaquecimento no verão (GRATIA, DE HERDE, 2007). Com a importação indiscriminada desse tipo de arquitetura à climas mais quentes, o superaquecimento tende a ser um problema ainda mais grave. Assim, há a necessidade de soluções de fachadas mais adequadas a essas realidades climáticas. Nesse sentido, Boake (2014) sugere uma fachada com uma segunda pele mais adequada às características bioclimáticas de climas mais quentes, a fachada dupla híbrida, que por possuir uma pele externa com maior permeabilidade ao vento e fechamento opaco melhor incorpora o sombreamento e a ventilação.

Desta forma, a presente pesquisa realiza uma comparação do desempenho termoenergético entre fachadas duplas tradicionais totalmente envidraçadas e híbridas

em edifícios comerciais no contexto climático de Brasília. A esse fim, realiza-se um estudo paramétrico para avaliar o impacto da orientação, largura da cavidade nos dois tipos de solução de fachada dupla, assim como a permeabilidade da pele somente nas fachadas duplas híbridas. À análise de desempenho, emprega-se o software de simulação dinâmica termoenergética *EnergyPlus* 8.5 por meio da interface gráfica *DesignBuilder* 5.0.

2 | FACHADAS DUPLAS

Fachadas duplas podem ser sinteticamente definidas por três elementos: duas fachadas cortina distantes entre si e uma cavidade intermediária entre elas, preenchida por ar (ARONS, 2000; BOAKE *et al.*, 2003; OESTERLE *et al.*, 2001). Admite variações de largura da cavidade – de alguns centímetros a até poucos metros – (UUTTU, 2001, BBRI, 2002), de operação e a permeabilidade das peles - que possibilita várias formas de ventilação da cavidade e do ambiente interno – (BOAKE *et al.*, 2003; POLLARD, BEATTY, 2008), assim como da geometria ou design da cavidade (BOAKE *et al.*, 2003; LANG, HERZOG, 2000). Além disso, apesar das fachadas serem normalmente envidraçadas – especialmente a pele exterior – isso não é um aspecto mandatório (ARONS, 2000; BARBOSA, IP, 2014; BOAKE, 2014).

Apesar das fachadas duplas serem uma solução bastante empregada na arquitetura contemporânea – com presença marcante em obras de grandes arquitetos desde os anos 80 do século passado, como nas obras de Richrd Rogers, HOK e Herzog e de Meuron – por estar associada a uma ideia de sustentabilidade, sua concepção é mais antiga. Sistemas com desempenho similar são encontrados nas janelas suíças do século XVI (PANAGIOTIS, 2014), nas fachadas ventiladas de múltiplas peles por Jean-Baptiste Jobard no século XIX (SAELEN, 2002), assim como no sistemas de armazenamento de calor por meio de pele de vidro e massa térmica de Edward Morse do mesmo século, que posteriormente, já no século XX, Felix Trombe aprimorou na parede trombe (BOAKE *et al.*, 2003). Contudo, o primeiro exemplar de uma fachada dupla moderna edifício da fábrica de brinquedos Steiff, em Giengen, na Alemanha, construída no início do século passado, em 1903, em funcionamento até hoje (CRESPO, 1999). Este edifício exemplifica o principal argumento manifestado pelos defensores das fachadas duplas que é um maior isolamento térmico – em virtude da camada de ar entre as peles de vidro – sem o compromisso das grandes peles de vidro que podem propiciar maior abundância luminosa e contato visual com o exterior (GHAFFARIANHOSEINI *et al.*, 2016; POLLARD, BEATTY, 2008).

Le Corbusier também empregou fachadas duplas em seus projetos de *Centrosoyus*, *Cité de Refuge* e *Immeuble Clarté* no início do século passado. O principal benefício apontado pelo arquiteto é a capacidade dessas fachadas duplas ventiladas de intermediar de forma mais controlada a variação do clima externo, por isso a

chamou de *Mur neutralizant* (CRESPO, 1999). Isso está associado a outro importante característica das fachadas duplas, que é o controle da operação das aberturas da cavidade. Isso possibilita dois fenômenos distintos. No primeiro, em que a temperatura externa é inferior a interna, a cavidade, se fechada, funciona como um acumulador de calor, uma estufa, que retém esse calor e assim diminui a perda de calor do interior da edificação. O segundo fenômeno ocorre quando a temperatura externa é superior a interna. Neste caso, com a abertura superior da cavidade aberta, o ar quente sobe, por meio do efeito chaminé e o calor da cavidade é retirado e propicia uma corrente de ar que ventila os ambientes internos, o que melhora a condição de conforto. Alguns autores também apontam uma melhoria do desempenho acústico, com maior isolamento a sons externos. Contudo, a cavidade funciona como um canalizador de sons, o que aumenta a transmissão sonora entre os andares conectados pela cavidade (POLLARD, BEATTY, 2008).

Entretanto, para que esses benefícios ocorram é necessário dimensionamento correto e adequação as condições ambientais, o que nem sempre ocorre. Os projetos do próprio Le Corbusier vieram a ter problemas de superaquecimento (CRESPO, 1999). Apesar das fachadas duplas serem nativas de climas temperados, é comum o problema de superaquecimento no verão nesse tipo de clima (GRATIA, DE HERDE, 2007).

Além disso, há por vezes uma valorização excessiva das melhoras de desempenho, especialmente em climas quentes. Estudos desenvolvidos por Hamza (2008) – no Cairo, Egito; e Marcondes (2010) – no Rio de Janeiro, Brasil; apontam para desempenho termoenergético superior das fachadas duplas em comparação a soluções de vedação totalmente envidraçadas com vidro simples. Por outro lado, em seu estudo na Índia, Yellamraju (2004) indica que apesar de resultados superiores em comparação a sistemas de vedação simples, fachadas duplas altamente envidraçadas ainda assim possuem desempenho inferior a sistemas com menor taxa de envidraçamento.

Especialmente em climas quentes, há necessidade de conceber sistemas de fachada duplas mais adequados as condições climáticas, especificamente com maior taxa de opacidade (BOAKE, 2014; YELLAMRAJU, 2004) e maior capacidade do emprego de ventilação natural (BARBOSA e IP, 2014, BARBOSA, 2012). Entretanto, mesmo a ventilação natural tem limites em climas quentes, visto que com calor mais intenso, a temperatura do ar externo já não é desejável. Dessa forma, Boeke (2014) sugere uma nova concepção de fachada dupla mais adequada a climas mais quentes, em que há grande necessidade de controle do superaquecimento por radiação solar, denominada de fachada dupla híbrida.

3 | MÉTODO

Realiza-se um estudo paramétrico por meio de simulação dinâmica termoenergética. Além da diferença entre as duas tipologias de fachadas duplas, avalia-se o impacto no desempenho termoenergético dos parâmetros: orientação e largura da cavidade nas duas tipologias de fachada dupla, assim como a permeabilidade da pele externa somente nas fachadas duplas híbridas. Neste estudo, para avaliação do desempenho termoenergético utiliza-se a carga térmica para resfriamento anual em kWh como indicador.

Para tal, emprega-se o programa *open-source EnergyPlus*, desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos (CRAWLEY et al., 2001). Vastamente utilizado, é um dos melhores representantes do estado da arte de programa de simulação de análise energética (WETTER et al., 2015). O uso do EnergyPlus se dá por meio do *DesignBuilder* é uma das suas interfaces gráficas mais utilizadas, especialmente pela sua facilidade de modelagem tridimensional e por sua extensa biblioteca de materiais e configurações já predefinidas (WASILOWSKI, REINHART, 2009).

A seguir são apresentados a caracterização do modelo, os parâmetros analisados no estudo paramétrico e os procedimentos de análise dos resultados.

3.1 Caracterização do Modelo

O modelo empregado segue parâmetros levantados por Costa (2018) com representativos para edifícios comerciais na cidade de Brasília, com uma planta livre de 30 m x 30 m e o pé esquerdo de 3,50 m. A edificação possui térreo — modelado como *component block* — e 12 pavimentos tipo. Como somente os pavimentos tipos são analisados e o térreo não faz parte da avaliação, não se avaliam as trocas térmicas como o solo, por isso, os valores de temperatura do solo são desprezados na modelagem. Aberturas são modeladas somente nas fachadas da fachada dupla, assim como na fachada oposta (Figura 1), visto que esse modelo foi utilizado para avaliação do uso de fachadas duplas híbridas, assim como em investigação posterior sobre o impacto da ventilação seletiva no desempenho termoenergético (GÓES, 2018). Essa definição por modelar aberturas somente nestas fachadas visa isolar o efeito da fachada dupla e assim avaliá-la de forma mais precisa. Nesse sentido, as demais paredes externas são modeladas sem aberturas e caracterizadas como adiabáticas.

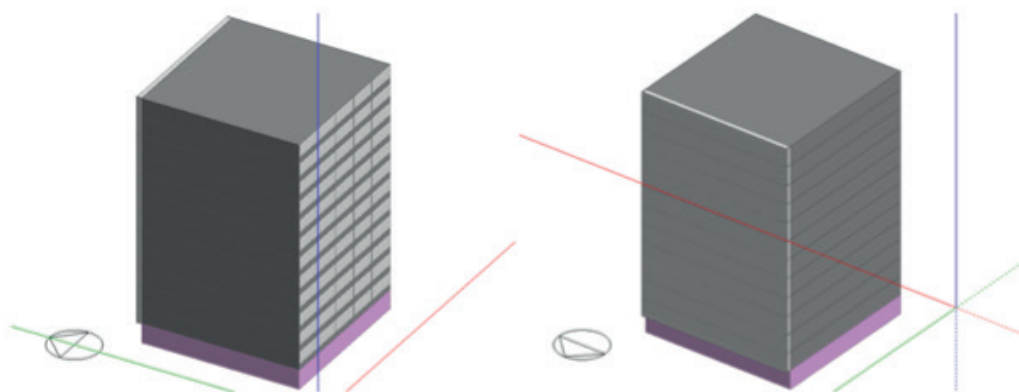


Figura 1 Modelo da edificação

A definição das propriedades térmicas dos sistemas utilizadas nas simulações segue Costa (2018) e está de acordo com o modelo equivalente de propriedades térmicas de Weber *et al.* (2017). Dessa forma, a Tabela 1 apresenta a caracterização das propriedades térmicas dos sistemas construtivos empregados no modelo.

Os pavimentos tipo possuem uma taxa de envidraçamento de 75%, com o emprego de vidros cinzas. Segundo levantamento de Costa *et al.* (2017), os vidros cinzas são apontados como os predominantes em edifícios comerciais em Brasília, com o emprego em mais de 30% dos edifícios em 2017.

Para o sistema de condicionamento de ar, empregam-se sistemas *splits* com CoP (coeficiente de performance) de 2,8 e com *setpoints* de 24 °C, valores levantados por Costa *et al.* (2017). Já a taxa de infiltração é mantida a *default* do programa, em 0,7 renovações de ar por hora. Quanto à carga da iluminação artificial, utiliza-se a densidade de potência instalada (DPI) de 12 W/m², também levantado por Costa *et al.* (2017).

Sistema	Camadas Equivalentes	e (cm)	λ (W/m°C)	ρ (kg/m ³)	c (kJ/kg.K)	Ut (W/m ² °C)
Parede de Alvenaria 6 furos 9x14x24 cm	Argamassa	2,50	1,15	2000	1,00	2,363
	Cerâmica	1,34	0,900	1600	0,920	
	Camada de Ar	Resistência térmica fixa em 0,18 m ² °C/W				
	Cerâmica	1,34	0,900	1600	0,920	
	Argamassa	2,50	1,15	2000	1,00	
Laje Entre Pisos Piso cerâmico, laje maciça, forro de gesso	Piso Cerâmico	0,75	1,05	2000	0,920	1,701
	Contrapiso	2,00	1,15	2000	1,00	
	Laje Maciça	9,85	1,75	2200	1,00	
	Camada de Ar	Resistência térmica fixa em 0,18 m ² °C/W				
	Placa de Gesso	2,00	0,35	900	0,87	
Laje de Cobertura Telha fibrocimento, laje maciça e forro de gesso	Telha Fibrocimento	0,80	0,95	1900	0,84	1,608
	Camada de Ar	Resistência térmica fixa em 0,18 m ² °C/W				
	Laje Maciça	9,85	1,75	2200	1,00	
	Camada de Ar	Resistência térmica fixa em 0,18 m ² °C/W				
	Placa de Gesso	2,00	0,35	900	0,87	

Legenda:
e: espessura
 λ : calor específico
 ρ : densidade
c: condutividade térmica
Ut: transmitância térmica

Tabela 1 Propriedades térmicas dos sistemas construtivos por meio do modelo de camadas equivalentes

Definem-se as cargas e rotinas dos pavimentos tipos com o *template* de atividades *Generic Office Area*, enquanto as cavidades das fachadas duplas são caracterizadas como cavidades no *Zone Type*, o que define as atividades como *None*, sem qualquer tipo de ocupação ou sistemas mecânicos funcionando. As cavidades são ventiladas naturalmente, modeladas a partir de um sistema de rede de ventilação, em que o coeficiente de descarga das aberturas dessas cavidades alterado para 0,62, como sugerido por Pomponi *et al.* (2016).

O vidro da pele externa, a altura da cavidade e a geometria interna da cavidade foram definidas previamente em investigações anteriores (GÓES, 2018). Dessa forma, utiliza-se o vidro cinza, que dentre as opções de vidros comuns, não seletivos, foi o que possuiu melhor desempenho. Quanto à altura da cavidade utiliza-se a altura total do edifício, enquanto que a geometria da cavidade é mantida sem compartimentação, – do tipo múltiplos andares –, que dessa forma beneficia o efeito chaminé e foi a combinação com melhor desempenho.

O arquivo climático utilizado é o SWERA para a cidade de Brasília, disponível na

3.2 Parâmetros Analisados

Na realização do estudo paramétrico há três parâmetros básicos: orientação, largura da cavidade e permeabilidade da pele externa. A orientação e largura da cavidade nas duas tipologias de fachada dupla, assim como a permeabilidade da pele externa somente nas fachadas duplas híbridas. Assim para cada combinação de parâmetros define-se um cenário. Além disso, cenário de controle sem fachada dupla, somente com a pele interna e demais configurações idênticas aos demais modelos, que é simulado para todas as orientações.

Quanto ao parâmetro orientação, existem 8 níveis, as quatro orientações cardeais e as quatro orientações colaterais. Sobre o parâmetro largura da cavidade, há 5 níveis, de 0,5 m a 2,5 m de largura da cavidade em intervalos de 0,5 m. Já sobre a permeabilidade da pele externa, que se aplica somente as fachadas duplas híbridas, esse parâmetro possui 3 níveis, com 33%, 50% e 66% de permeabilidade da pele externa. Como o modelo utiliza uma rede de ventilação este último parâmetro possui influência tanto da taxa de radiação solar, como da taxa de ventilação. No total há 168 cenários, 40 de fachadas duplas envidraçadas, 120 de fachadas duplas híbridas e oito do cenário de controle. A Tabela 2 apresenta os códigos referentes aos diferentes níveis de cada parâmetro utilizados no decorrer do capítulo.

Fachada Dupla Envidraçada		Fachada Dupla Híbrida			
Código	Largura da Cavidade (m)	Código	Largura da Cavidade (m)	Código	Permeabilidade da Pele Externa (%)
V_L1	0,50	H_L1	0,50	H_P1	66%
V_L2	1,00	H_L2	1,00	H_P2	50%
V_L3	1,50	H_L3	1,50	H_P3	33%
V_L4	2,00	H_L4	2,00		
V_L5	2,50	H_L5	2,50		

Tabela 2 Codificação dos cenários por parâmetros

Para a modelagem das fachadas duplas, utiliza-se o recurso *local shading* do *DesignBuilder* para a criação do elemento de sombreamento. Como os elementos de sombreamento no *EnergyPlus* não conduzem calor e são responsáveis somente por sombrear e refletir, o impacto da alteração do material desse elemento não se mostra relevante. Assim, optou-se pelo emprego de madeira presente na biblioteca do programa *Woods - pine, pitch pine Dry* que segue a caracterização do CIBSE Guide A (2006). A Tabela 3 apresenta as propriedades físicas do material.

Propriedade	Valor Unitário
Condutividade (W/m.K)	0,17
Calor Especifico (J/Kg.K)	2120,00
Densidade (Kg/m ³)	650,00
Absortância Térmica (W/W)	0,90
Absortância Solar (W/W)	0,60
Absortância Visível (W/W)	0,60
Espessura (mm)	20

Tabela 3 Propriedades físicas do CIBSE Guide A (2006) à madeira empregada como elemento de sombreamento

A Figura 2 apresenta a caracterização geométrica do elemento de sombreamento que define a pele externa da fachada dupla híbrida. A quantidade de lâminas (*number of blades*) e o espaçamento vertical (*vertical spacing*) não possuem valores na Figura 2 e são denominados por “a” e “b”, já que variam de acordo com cada uma das taxas de permeabilidade da pele externa da fachada dupla híbrida.

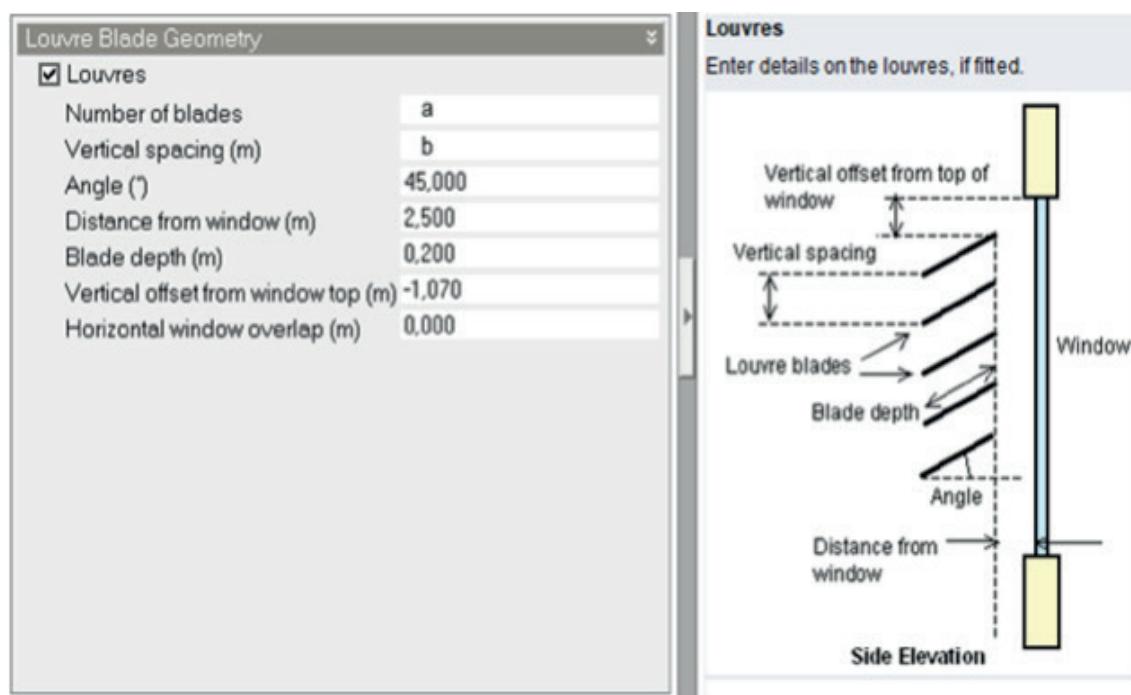


Figura 2 Caracterização da geometria da pele externa das fachadas duplas híbridas

3.3 Procedimento de Análise

Para análise dos resultados, realiza-se uma avaliação do desempenho termoenergético para cada um dos parâmetros. Agrupam-se os cenários de cada tipo de fachada dupla – envidraçada ou híbrida – por níveis do parâmetro sob análise. Essas distribuições são apresentadas em gráfico box-plot acompanhadas por uma análise de variância junto com um teste Tukey para avaliar a significância das diferenças entre os agrupamentos.

4 | RESULTADOS

Os resultados de desempenho termoenergético são apresentados em dois itens: o primeiro que apresenta os resultados referentes as fachadas duplas envidraçadas, já o segundo expõe os resultados de desempenho das fachadas duplas híbridas. Concomitantemente, utiliza-se o resultado do cenário de referência nos momentos.

4.1 Fachadas Duplas Envidraçadas

Os resultados expostos no Gráfico 1 demonstram que a fachada dupla envidraçada é mais eficaz quando empregada na fachada norte. Entretanto, os resultados também evidenciam que o cenário de controle (C0) obteve desempenho superior a praticamente todos os cenários, com exceção de algumas orientações do cenário com largura da cavidade de 2,50 m (V_L5). Nas condições da presente pesquisa, o emprego de fachadas duplas envidraçadas só é capaz de proporcionar melhoria no desempenho termoenergético, em comparação ao cenário de controle (C0), com a largura de cavidade de 2,50 m (V_L5) e em determinadas orientações.

Essa questão do desempenho superior das fachadas duplas envidraçadas com largura de cavidades maiores, especificamente dos cenários com largura de cavidade de 2,50 m (V_L5), torna-se mais evidente a partir da análise do parâmetro largura de cavidade, apresentado no Gráfico 2. O teste estatístico atesta essa distinção por mostrar que somente o grupo de cenários com largura da cavidade de 2,50 m (V_L5) possui um desempenho significativamente superior aos demais agrupamentos por largura de cavidade. Além disso, o teste estatístico também demonstra que os quatro primeiros agrupamentos de largura da cavidade não possuem variação estatística relevante entre si, com uma semelhança entre os grupos superior a 95%.

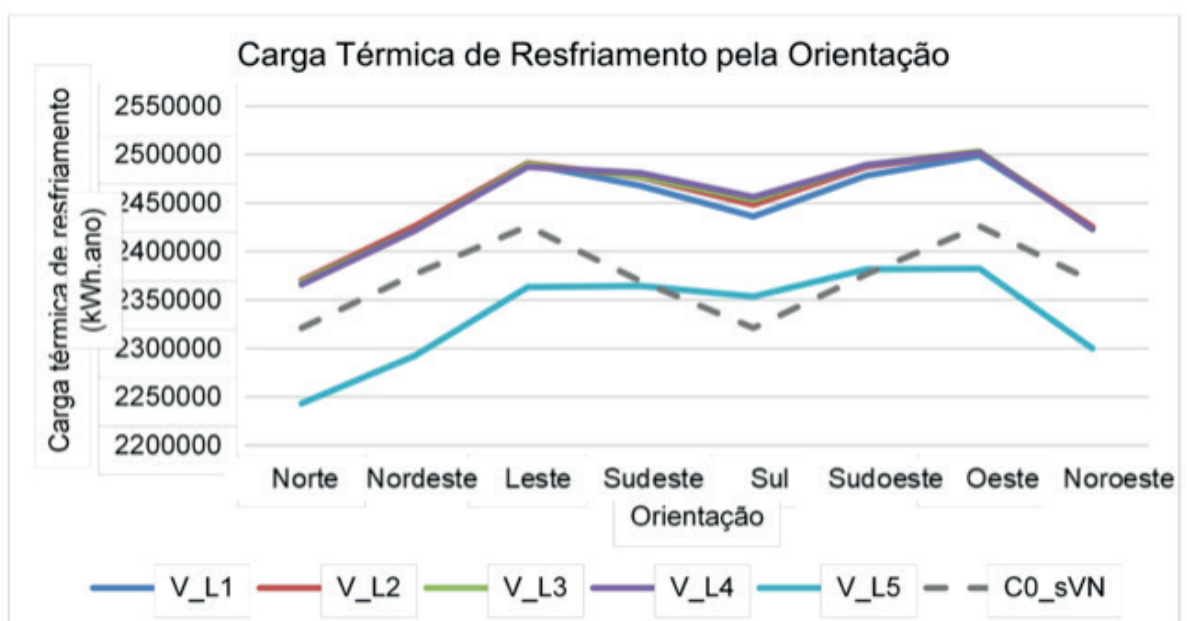


Gráfico 1 Gráfico de linhas da carga térmica de resfriamento pela orientação para fachadas duplas envidraçadas

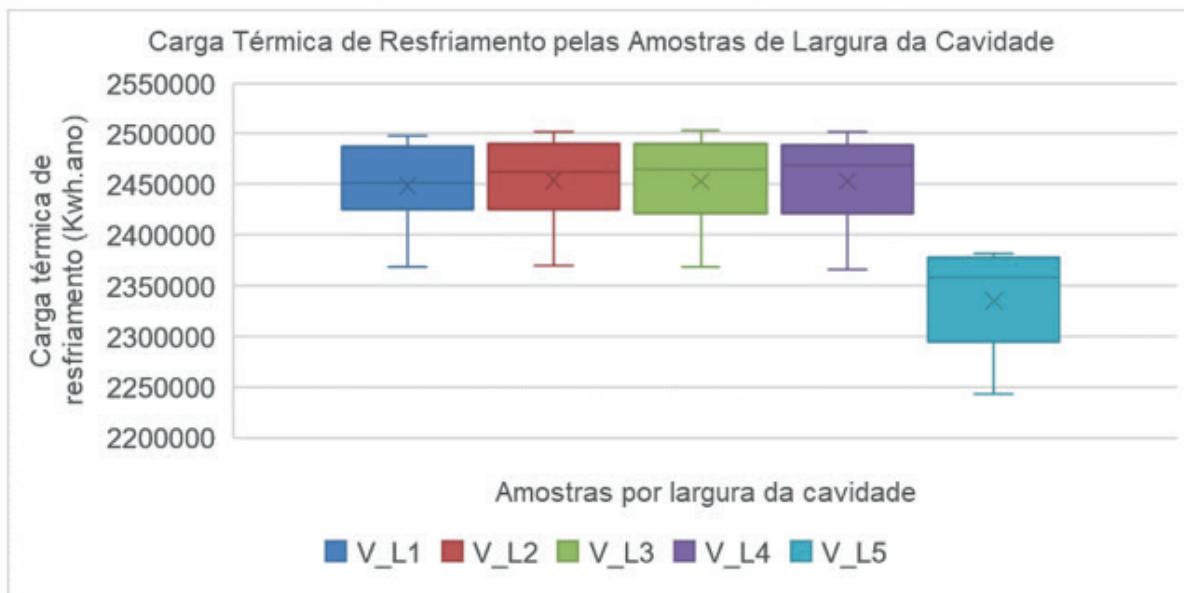


Gráfico 2 Gráfico de caixa da carga térmica de resfriamento por amostra de largura da cavidade para fachadas duplas envidraçadas

4.2 Fachadas Duplas Híbridas

Da mesma forma que a fachada dupla envidraçada, os cenários das fachada dupla híbrida orientados ao quadrante norte apresentam melhor desempenho termoenergético, como se observa no Gráfico 3. Entretanto, diferentemente das fachadas envidraçadas, todos os cenários de fachada dupla híbrida analisados possuem desempenho termoenergético superior ao cenário de controle (C0), até mesmo no que diz respeito às orientações do quadrante sul, em que todos os cenários de fachada dupla envidraçada analisados têm desempenho inferiores ao cenário de controle (C0).

Quanto a taxa de permeabilidade da pele externa d fachada dupla, existe uma relação diretamente proporcional com a carga térmica de resfriamento. Com a diminuição da taxa de permeabilidade a carga térmica de resfriamento também diminui, ou o desempenho termoenergético melhora, o que pode ser notado no Gráfico 4. O teste estatístico aponta que existe diferença significativa somente entre H_P1 (66%) e os demais grupos por taxa de permeabilidade, enquanto entre H_P2 (50%) e H_P3 (33%) não há variação significativa.

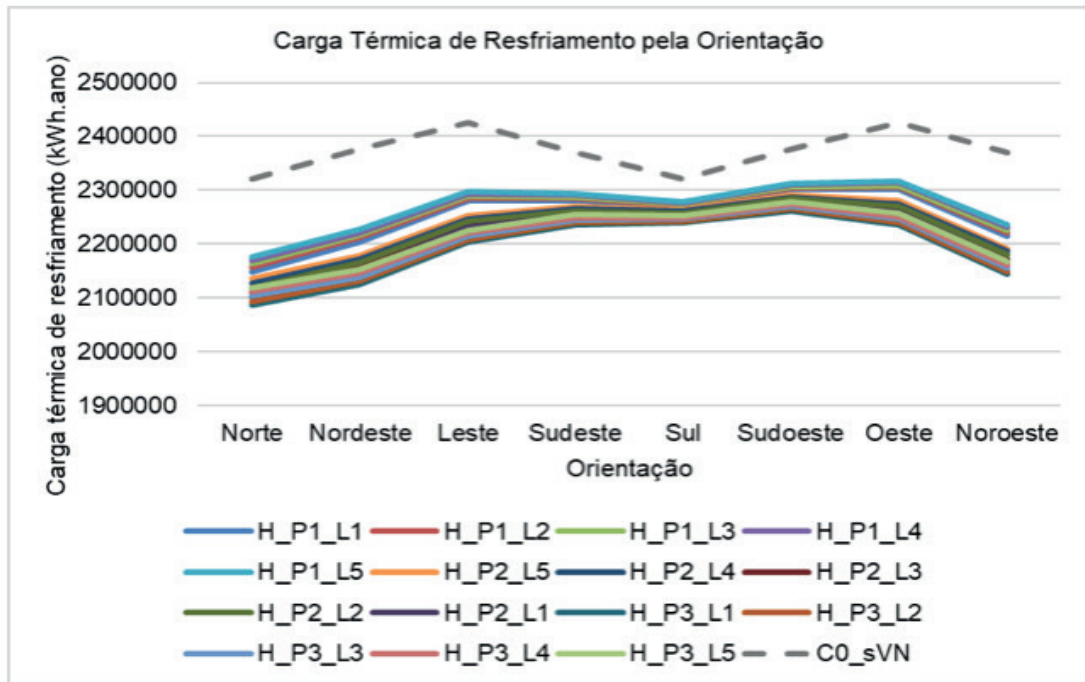


Gráfico 3 Gráfico de linhas da carga térmica de resfriamento pela orientação para fachadas duplas híbridas

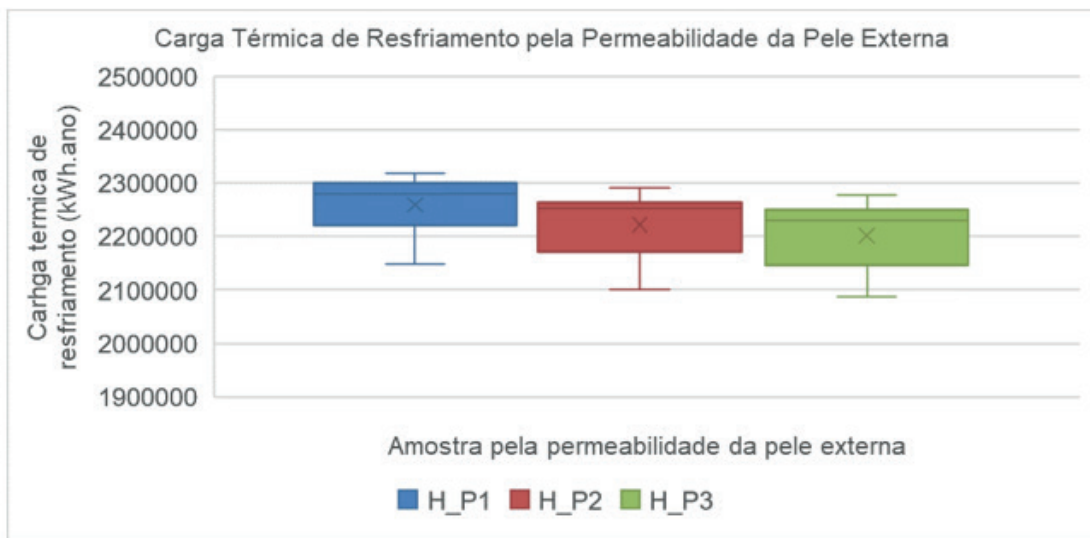


Gráfico 4 Gráfico de caixa da carga térmica de resfriamento pela permeabilidade da pele externa para fachadas duplas híbridas

Por outro lado, o parâmetro de largura da cavidade das fachadas duplas híbridas não apresenta impacto no desempenho termoenergético. O Gráfico 5 exibe um padrão bastante constante entre os cinco grupos de largura de cavidade das fachadas duplas híbridas. Isso se evidencia a partir da análise estatística do teste Tukey em que a semelhança entre os grupos é sempre superior a 99%.

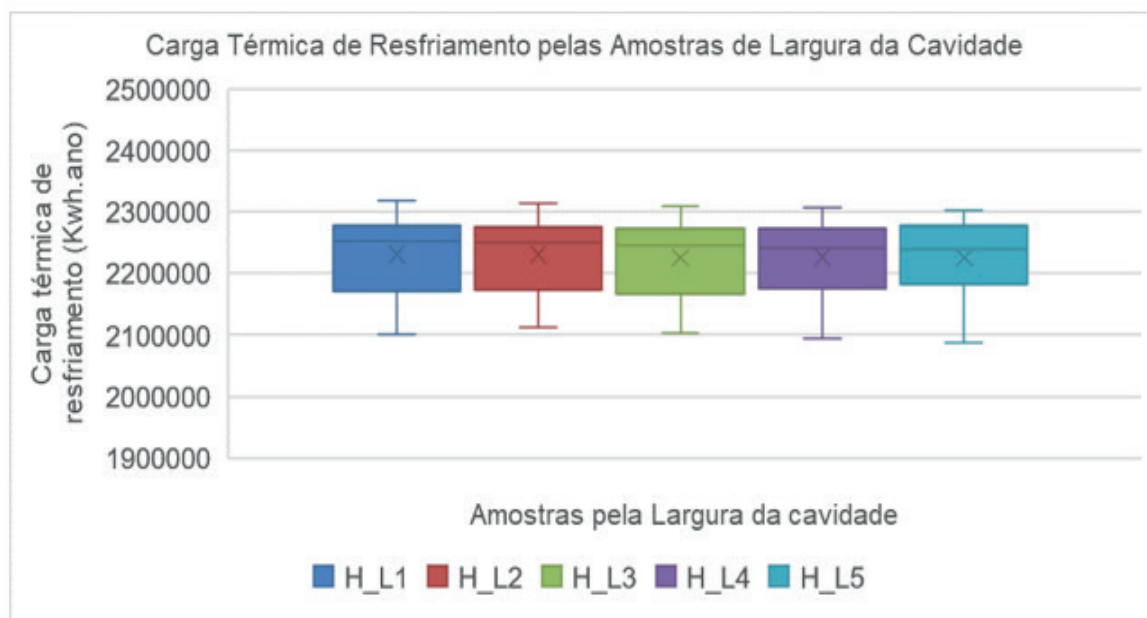


Gráfico 5 Gráfico de caixa da carga térmica de resfriamento pela largura da cavidade para fachadas duplas híbridas

5 | DISCUSSÃO

No geral percebe-se que as fachadas duplas envidraçadas possuem resultados inferiores às fachadas duplas híbridas no contexto climático de Brasília, inclusive com desempenho normalmente inferior ao cenário de controle (C0). Na média, as soluções híbridas (H) analisadas proporcionam uma melhoria de 6,1% em comparação com a média para todas as orientações do cenário de controle (C0), enquanto as fachadas duplas envidraçadas (V), em geral, apresentam desempenho inferior à média do cenário de controle (C0) em 2,3%, como se observa no Gráfico 6. Isso demonstra a relevância de sombreamento das aberturas no contexto climático de Brasília, algo que a solução envidraçada não proporciona. Contudo, esses valores médios são afetados por diversos aspectos, inclusive pela orientação sul, que se mostra pouco favorável especialmente às fachadas duplas envidraçadas, assim como pelas menores larguras de cavidades.

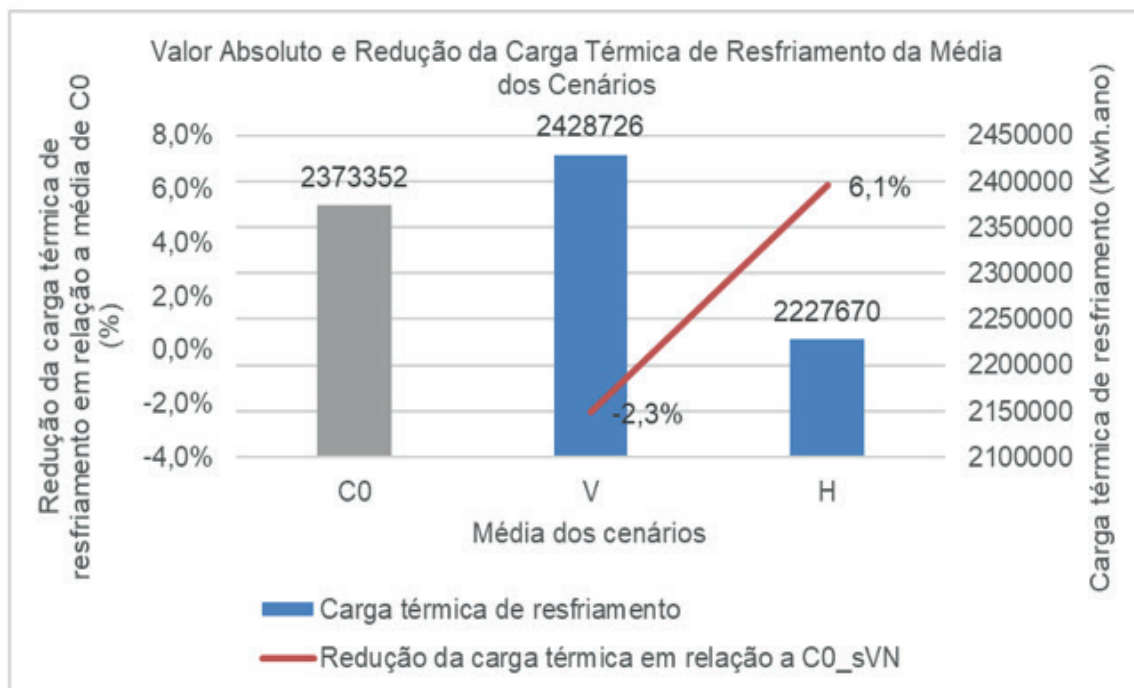


Gráfico 6 Gráfico de barras e linhas do valor absoluto e redução da carga térmica de resfriamento da média dos cenários

Nesse sentido é importante observar os resultados dos cenários com melhor desempenho, como expostos no Gráfico 7, que compara os melhores cenários de fachada dupla envidraçada e híbrida – para cada uma das taxas de permeabilidade – com o cenário de controle (C0), todos para a orientação norte. Esta análise apresenta uma melhoria do desempenho termoenergético da fachada dupla envidraçada em relação ao cenário de controle (C0), com um incremento de 5,5%. Entretanto as soluções híbridas apresentam desempenho ainda melhor, de até 10,1%. O que mais uma vez mostra os maiores benefícios que as soluções híbridas possibilitam ao clima de Brasília, o que reforça o impacto positivo do emprego do sombreamento.

Os parâmetros estudados – orientação, largura da cavidade e permeabilidade da pele externa – apresentam impactos diferentes no desempenho para as fachadas duplas envidraçadas e híbridas. Para as fachadas duplas envidraçadas, os dois parâmetros investigados – orientação e largura da cavidade – possuem impacto relevante, enquanto às fachadas duplas híbridas, variação da largura da cavidade não apresenta impacto significativo, porém orientação e permeabilidade da pele externa mostram-se relevantes.

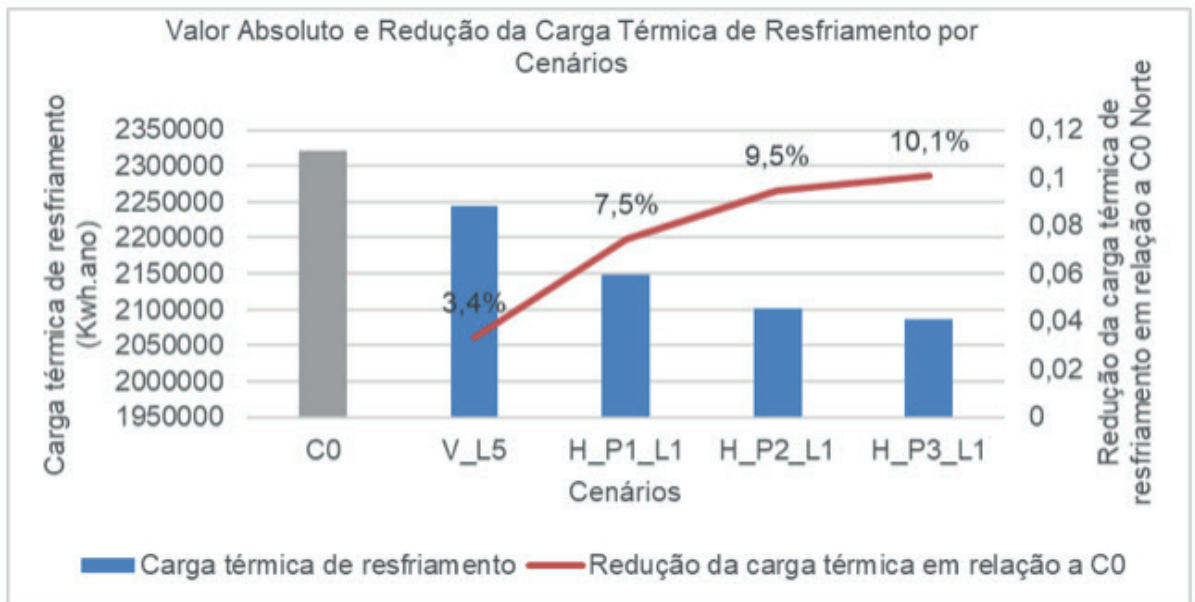


Gráfico 7 Gráfico de barras e linhas do valor absoluto e redução da carga térmica de resfriamento por cenários

Quanto a orientação, para ambos tipos de fachadas duplas os resultados no quadrante norte são superiores, enquanto que ao quadrante sul são inferiores. Isso se mostra alinhado com parte da literatura, como por exemplo Pomponi *et al.* (2016) e Barbosa e Ip (2014), que indicam o emprego de fachada dupla normalmente na orientação equatorial, a norte no hemisfério meridional. Isso provavelmente está atrelado ao efeito chaminé que se beneficia de maior radiação nessas orientações. Além disso, no caso específico das fachadas duplas híbridas o sombreamento se torna mais efetivo.

Sobre a largura da cavidade, os efeitos são distintos entre os tipos de fachada dupla. No caso das fachadas duplas híbridas este parâmetro não apresentou nenhum tipo de diferença significativa entre os grupos, como demonstrou o teste estatístico. Por outro lado, os resultados das fachadas duplas envidraçadas indicam que a maior largura – de 2,5 m – possui desempenho significativamente superior aos demais grupos de larguras de cavidade fachadas duplas envidraçadas. Esse padrão não é encontrado na maioria da literatura, que normalmente investiga fachadas duplas com cavidades entre 0,5 m e 1,0 m. Supõe-se que esse padrão de cavidades mais estreitas esteja ligado a uma questão econômica, visto que exige maior área útil.

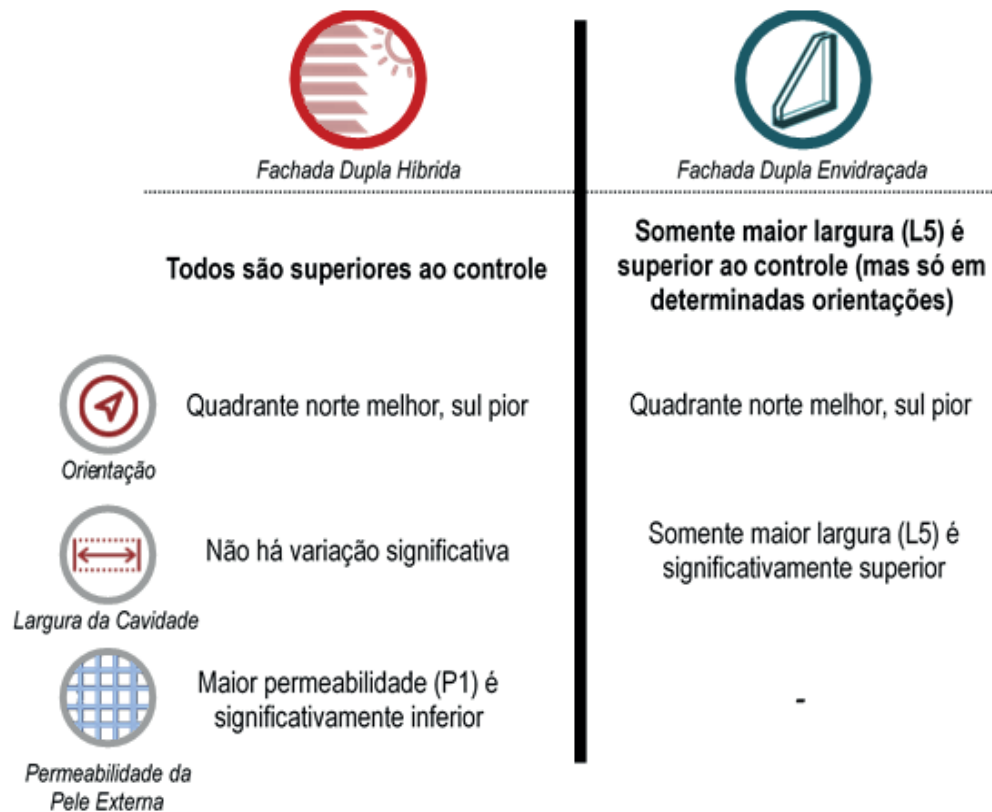


Figura 3 Quadro comparativo entre fachadas duplas híbridas e envidraçadas

Já sobre a permeabilidade da pele externa das fachadas duplas híbridas há variação significativa entre os grupos, especificamente entre a maior taxa de permeabilidade (P1) – com 66% de taxa de permeabilidade – que possui desempenho inferior aos dois demais grupos, que por outro lado não possuem diferença significativa. Isso corrobora com as diretrizes da norma brasileira de Desempenho Térmico das Edificações (NBR 15.220) (ABNT, 2003), que indica a estratégia de sombreamento como uma das principais alternativas bioclimáticas ao contexto climático de Brasília. Dessa forma, há benefícios em empregar fachadas duplas com menores taxas de permeabilidade, porém, dentro do escopo desta pesquisa, a diferença entre permeabilidade de 50% (P2) e 33% (P3) não é significativa. Assim, para favorecer uma maior iluminação, a utilização de taxa de permeabilidade de 50% é a mais indicada.

O quadro na Figura 3 apresenta de forma sintética as principais considerações sobre o desempenho termoenergético das fachadas duplas envidraçadas e híbridas para o contexto climático de Brasília.

6 | CONCLUSÃO

Conclui-se que as fachadas duplas são capazes de melhorar o desempenho termoenergético de edificações comerciais verticais em até 10% em comparação ao cenário de controle — sem fachada dupla. Além disso, afirma-se que as fachadas duplas híbridas possuem desempenho significativamente superior ao desempenho das

fachadas duplas envidraçadas sob as circunstâncias investigadas, com desempenho em média superior a 8%.

Na maioria dos cenários investigados, as fachadas duplas envidraçadas obtiveram desempenho inferior ao cenário de controle, com maior carga térmica de resfriamento. Nesse sentido, por apresentarem limitado benefício no contexto climático de Brasília, fachadas duplas envidraçadas devem ser empregadas com muita cautela, somente em situações muito específicas. A princípio deveriam ser evitadas em detrimento de fachadas duplas híbridas.

Os principais resultados indicam o desempenho superior das fachadas duplas – tanto envidraçadas quanto híbridas – se empregadas no quadrante norte em oposição aos piores desempenhos no quadrante sul. Quanto à largura da cavidade não apresentou variação significativa às fachadas duplas híbridas, entretanto às fachadas duplas envidraçadas a maior largura – de 2,5 m – apresentou resultados significativamente melhores. Já a taxa de permeabilidade da pele externa da fachada dupla híbrida, os resultados mostram uma tendência inversamente proporcional entre desempenho termoenergético e taxa de permeabilidade da pele externa.

A prevalência do desempenho das fachadas duplas híbridas aponta ao potencial que o sombreamento possui no contexto climático de Brasília. O emprego de altas taxas de envidraçamento nas fachadas é extremamente prejudicial ao desempenho termoenergético e à eficiência energética em climas quentes como o de Brasília. A importação desse tipo de solução exógena impacta negativamente o desempenho termoenergético das edificações neste clima, o que gera edifícios totalmente dependentes de condicionamento energético e deveria ser revisto.

REFERÊNCIAS

ARONS, D. M. M. **Properties and Applications of Double-Skin Building Facades**. Dissertação de Mestrado no programa de Building Technology no Massachusetts Institute of Technology (MIT), EUA, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15.220: **Desempenho Térmico de Edificações**. Rio de Janeiro, 2003.

BARBOSA, S., IP, K., SOUTHALL, R. **Thermal comfort in naturally ventilated buildings with double skin facade under tropical climate conditions: the influence of key design parameters**. Energy and Buildings. 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.10.029>.

BARBOSA, S; IP, K. **Double skin façade for naturally ventilated office buildings in Brazil**. World SB14. Barcelona, October 28-30, 2014.

BELGIAN BUILDING RESEARCH INSTITUTE (BBRI). **Source book for a better understanding of conceptual and operational aspects of active facades**. Department of Building Physics, Indoor Climate and Building Services, Belgian Building Research Institute. Version no 1. 2002.

BOAKE, T. M., HARRISON, K., COLLINS, D., CHATHAM, A., LEE, R. **Understanding the general principles of the double skin façade system**. National Building Envelope Council Conference, Vancouver, Canadá, 2003.

BOAKE, T., M. **Hot climate double facade: avoiding solar gain.** *Facade Tectonics Journal*, Volume 14, pp. 68-73, 2014.

COSTA, J.; POLITANO, N.; AMORIM, C. N. D. **Morphological characteristics and energy consumption of office buildings in the central area of Brasilia.** In: *Passive and Low Energy Architecture*, 2017, Edinburgh. PLEA 2017 Edinburgh - Design to Thrive. Edinburgh: NCEUB, 2017. v. II. p. 2507-2514.

COSTA; J. F. W. **Edifícios de balanço energético nulo – um estudo para escritórios em Brasília.** Dissertação de Mestrado no programa de Arquitetura e Urbanismo. Universidade de Brasília, Brasil. 2018

CRAWLEY, D. B., LAWRIE, L. K., WINKELMANN, F. C., BUHL, W. F., HUANG, J. Y., PEDERSEN, C. O., STRAND, R. K., LIESEN, R. J., FISHER, D. E., WITTE, M. J., GLAZER, J. **EnergyPlus: Creating a new-generation building energy simulation program.** *Energy and Buildings*, Oxford, v. 33, p. 319-331, 2001.

CRESPO, A. M. L. **History of the double skin facade.** 1999. Disponível no sítio eletrônico <http://envelopes.cdi.harvard.edu/envelopes/content/resources/PDF/doubleskins.pdf>. Acessado em 11 de janeiro de 2017.

GHAFFARIANHOSEINI, A., GHAFFARIANHOSEINI, A., BERARDI, U., TOOKEY, J., LI, D. H. W., KARIMINIA S. **Exploring the advantages and challenges of double-skin facades (DSFs).** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016. Disponível no sítio eletrônico <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.130i>. Acessado em 07 de dezembro de 2017.

GÓES, T. M. **Fachadas Duplas: Análise do Desempenho Termoenergético em Edifícios Comerciais no Contexto Climático de Brasília – DF.** Dissertação de Mestrado no programa de Arquitetura e Urbanismo. Universidade de Brasília, Brasil. 2018

GRATIA, E., DE HERDE, A. **Are energy consumptions decreased with the addition of a double-skin?** *Energy and Buildings* 39. Pag. 605–619. 2007.

HAMZA, N. **Double versus single skin facade in hot arid areas.** *Energy and Buildings* 40 (3) pag. 240–248. 2008.

LANG, W., HERZOG, T. **Using multiple glass skins to clad buildings.** *Architectural Record* (7) (188): 171. 2000.

LUCON O., D. ÜRGE-VORSATZ, A. ZAIN AHMED, H. AKBARI, P. BERTOLDI, L.F. CABEZA, N. EYRE, A. GADGIL, L.D.D. HARVEY, Y. JIANG, E. LIPHOTO, S. MIRASGEDIS, S. MURAKAMI, J. PARIKH, C. PYKE, AND M.V. VILARIÑO, 2014: Buildings. In: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

MARCONDES, M. P. **Soluções Projetuais de Fachadas para Edifícios de Escritório com ventilação Natural em São Paulo.** Tese de Doutorado no programa de Arquitetura e Urbanismo. Universidade de São Paulo, Brasil. 2010

NABONI, E., MALCANGI, A., ZHANG, Y., BARZON F. **Defining the energy saving potential of architectural design.** *Energy Procedia* 83. 2015. 140 – 146

OESTERLE, W., LIEB, E., LUTZ, R-D., HEUSLER, M. **Double skin facades: Integrated planning.** Munich, Germany: Prestel Verlag. 2001.

OLGYAY V, OLGAYAY A. **Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism.** 1st Edition. Princeton University Press Princeton Estados Unidos; 1963

PANAGIOTIS, K. **2×F(acade) – properties and design guidelines for double-skin facades in sweden – literature review + energy efficiency + cost + life cycle assessment.** Dissertação de Mestrado em Design for Sustainable Development – Departamento de Arquitetura – Chalmers University of Technology, Suécia, 2014.

PESSOA, J. L. N., GHISI, E., LAMBERTS, R. **Estado da arte em eficiência energética: iluminação e envoltória.** CB3e - Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações. UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina Dep. de Engenharia Civil. Florianópolis, 2013.

POLLARD, B., BEATTY, M. **Double skin façades - more is less?** ISES-AP - 3rd International Solar Energy Society Conference - Asia Pacific Region (ISES-AP-08) Incorporating the 46th ANZSES Conference, Sydney, Australia, 2008.

POMPONI, F., BARBOSA, S., PIROOZFAR, P. A. E. **On the intrinsic flexibility of the double skin façade: a comparative thermal comfort investigation in tropical and temperate climates.** Energy Procedia 00 (2016) 000–000

RUUSKA, A., HÄKKINEN, T. **Material efficiency of building construction.** Buildings 2014, 4, 266-294; doi:10.3390/buildings4030266.

SAELENS, D. **Energy performance assessments of single storey multiple-skin facades.** PhD thesis, Laboratory for Building Physics, Department of Civil Engineering, Catholic University of Leuven, Belgium. 2002.

THE CHARTERED INSTITUTION OF BUILDING SERVICES ENGINEERS (CIBSE). **Environmental design CIBSE Guide A.** 7th edition. Printed in Great Britain by Page Bros. (Norwich) Ltd., Norwich, Norfolk NR6 6SA. January 2006. ISBN-10: 1-903287-66-9

TORCELLINI P., PLESS S., DERU M., CRAWLEY D. **Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition.** 2006 ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings. 2006

UUTTU, S. **Study of Current Structures in Double-Skin Facades.** Dissertação de Mestrado no programa de Structural Engineering and Building Physics no Departamento de Civil and Environmental Engineering em Helsinki University of Technology (HUT), Finlândia, 2001.

WASILOWSKI H. A., REINHART C. F. **Modelling an existing building in designbuilder/energyplus: custom versus default inputs.** 11th Conference of International Building Desempenho Simulation Association, Glasgow, Escócia, July 27-30, 2009.

WEBER, F. S., MELO, A. P., MARINOSKI, D. L., GUTHS, S., LAMBERTS, R. **Desenvolvimento de um modelo equivalente de avaliação de propriedades térmicas para a elaboração de uma biblioteca de componentes construtivos brasileiros para o uso no programa EnergyPlus.** Relatório técnico do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEEE). Universidade Federal de Santa Catarina. Agosto, 2017.

WETTER, M., NOUIDUI, T. S., LORENZETTI, D., LEE, E. A., ROTH, A. **Prototyping the next generation energyplus simulation engine.** 14th Conference of International Building Performance Simulation Association, Hyderabad, India, Dec. 7-9, 2015.

YELLAMRAJU, V. **Evaluation & design of double skin facades for office buildings in hot climates.** Dissertação de Mestrado (Msc) em Arquitetura na Texas A&M University. Estados Unidos, 2004.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Arquitetura 1, 3, 4, 19, 20, 21, 22, 23, 26, 30, 46

C

Casa container 21

Certificação sustentável 31, 32

Chuva 48, 49, 50, 57

Condições climáticas 5, 49, 50, 58

Conforto térmico 22, 25, 50

Construção civil 1, 2, 21, 22, 29, 30, 31, 32, 33, 35, 40, 45

Containers sustentáveis 21

Correlação de *Spearman* 48, 52, 53, 56

D

Desempenho do ambiente construído 30

Desempenho termoenergético 1, 2, 3, 5, 6, 10, 11, 12, 13, 15, 17, 18, 19

Desenvolvimento sustentável 21, 33, 43

Designbuilder 20

Drywall 23, 24

E

Edificação sustentável 33

Energyplus 20

Engenharia civil 20, 31, 32, 34, 45, 47, 60

Estatística 11, 13, 52, 59

F

Fachada dupla 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 10, 11, 12, 15, 16, 17, 18

I

Impacto ambiental 3, 33

Índices de precipitação 52

Isolamento térmico 4, 23, 24

P

Pele de vidro 1, 3, 4

Projeto arquitetônico 3, 23

S

Selo casa azul 31, 32, 33, 34, 35, 38, 39, 40, 41, 45, 46, 47

Sistema construtivo 21, 23, 24, 28, 29

Sustentabilidade 4, 21, 22, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 40, 41, 45, 46, 47

T

Teste t de *Student* 52, 55, 56

Transporte de passageiros 49, 57

Transporte público 48, 49, 50, 52, 55, 57, 58

 **Atena**
Editora

2 0 2 0