



Avaliação de energia operacional versus energia incorporada em saletas comerciais: impacto de elementos de proteção solar na fachada.

Evaluation of operational energy versus embodied energy in office buildings: impact of solar shading devices on the façade.

Rafaela Gravia Pimenta

Universidade Estadual de Campinas

Rua Saturnino de Brito, 224 – Cidade Universitária, Campinas – SP, 13083-889

r211178@dac.unicamp.br

Leticia de Oliveira Neves

Universidade Estadual de Campinas

Rua Saturnino de Brito, 224 – Cidade Universitária, Campinas – SP, 13083-889

leticia@fec.unicamp.br

Vanessa Gomes da Silva

Universidade Estadual de Campinas

Rua Saturnino de Brito, 224 – Cidade Universitária, Campinas – SP, 13083-889

vangomes@unicamp.br

Código del manuscrito: 09_001

Fecha de aceptación: 10/04/2019

Resumen

As decisões de projeto que influenciam na redução de gastos energéticos de uma edificação frequentemente consideram apenas a fase de operação do edifício. Como a energia operacional representa o maior consumo energético de um edifício ao longo do seu ciclo de vida, reduzi-la torna-se o aspecto mais abordado nas fases de projeto, construção e operação. No entanto, a literatura de países norte-americanos, asiáticos e europeus mostra que o uso de soluções energeticamente eficientes, em alguns casos, reduz a demanda operacional em detrimento do aumento exagerado da energia incorporada, colocando em risco os benefícios sustentáveis visados para a vida útil da construção. No caso da América do Sul e mais especificamente do Brasil, poucos estudos foram encontrados que relacionassem tais decisões e suas consequências. Tendo isso em vista, este trabalho tem por objetivo investigar a relação entre energia operacional e energia incorporada resultante da adição de elementos de proteção solar nas fachadas de saletas comerciais de um edifício de escritórios que opera em modo misto na cidade de São Paulo. O método utilizado consiste em uma pesquisa experimental na qual foram empregadas as ferramentas EnergyPlus para avaliação de energia operacional e a ferramenta SimaPro para a avaliação de energia incorporada. Os resultados desta pesquisa demonstram que, para as condições estudadas, em 87,5% dos casos a adição de elementos de proteção solar nas fachadas das saletas comerciais resulta na redução da energia total (operacional mais incorporada) e dos índices de emissões de carbono na atmosfera. A partir das análises de cenários, conclui-se que a escolha de um material com baixa energia incorporada para os elementos de proteção se mostra decisiva para a obtenção de resultados mais positivos no ciclo de vida.

Palabras claves: Energia operacional; energia incorporada; saletas comerciais; elementos de proteção solar.



Abstract

The design decisions that influence the reduction of energy consumption in a building frequently consider only the operational phase of the building. As the operational energy represents the highest energy consumption of a building throughout its life cycle, reducing it becomes the most important aspect addressed in the design, construction and operation phases. However, the literature from North American, Asian and European countries shows that the use of energy efficient solutions, in some cases, reduces operational demand at the expense of the excessive increase of embodied energy, endangering the sustainable life benefits. In South America and more specifically in Brazil, few studies were found that related such decisions and their consequences. This paper aims to investigate the relationship between operational and embodied energy resulting from the addition of solar shading devices on the façades of cellular office rooms of a mixed-mode office building in the city of São Paulo. The method consists of an experimental study in which the EnergyPlus software tool is used to evaluate the operational energy and the software SimaPro is used to calculate the embodied energy. Results demonstrate that, for the studied conditions, in 87.5% of the cases the addition of solar protection devices to the façades of the office rooms results in a reduction of the total energy (operational and embodied energy) and the global warming potential (GWP). The scenarios analysis show that the choice of a low embodied energy material for the shading devices is decisive to obtain more positive life cycle results.

Keywords: Operational energy; embodied energy; office room; solar protection devices.

Introducción

A preocupação com a redução do consumo de energia em edificações tem ganhado maior atenção no Brasil nos últimos anos, tendo em vista que, de toda a energia elétrica consumida no país, aproximadamente 47% destina-se a este uso final (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014). Desta porcentagem, cerca de 15% corresponde ao consumo de edifícios comerciais, sendo os sistemas de iluminação e ar condicionado os usos finais de energia de maior representatividade nesta tipologia (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014). Segundo os dados da Agência Internacional de Energia (IEA, 2018), caso não sejam trabalhadas estratégias de eficiência energética nas edificações, o uso de energia para resfriamento poderá mais que dobrar até 2040, devido ao aumento do uso de ar condicionado.

Como a energia operacional representa o maior consumo energético de uma edificação ao longo do seu ciclo de vida, reduzi-la torna-se o aspecto mais importante abordado pelos projetistas e entidades correlatas (RAMESH, PRAKASH e SHUKLA, 2010). O projeto de edifícios energeticamente eficientes tem como enfoque, portanto, a redução de sua energia operacional, o que pode ser obtido por meio do uso de tecnologias passivas e ativas. Reduzir a energia operacional, no entanto, implica, na maioria das vezes, em um aumento da energia incorporada por meio da implementação de materiais e tecnologias mais elaboradas, que demandam maior consumo de energia para sua fabricação (RAMESH, PRAKASH e SHUKLA, 2010). A energia incorporada consiste na energia utilizada durante a fase de construção do edifício, ou seja, é a energia consumida para a fabricação de todos os materiais construtivos, instalações e montagem; desde a extração, beneficiamento e transporte até o seu descarte no fim de vida do edifício (GOMES et al. 2018).

As edificações apresentam, portanto, uma participação importante no consumo de energia não apenas em sua fase operacional, mas também nas fases de produção dos materiais, construção, manutenção e demolição. Um edifício utiliza energia ao longo de todo o seu ciclo de vida, ou seja, da construção à demolição; sendo esta energia consumida direta e/ou indiretamente. Torna-se interessante, nesse sentido, adotar uma abordagem baseada na análise de energia do ciclo de vida (*Life Cycle Energy Analysis – LCEA*), que considera toda a energia consumida por um edifício ao longo da sua vida, incluindo tanto a energia operacional como a energia incorporada (ZOU et al., 2018). A avaliação do ciclo de vida (*Life Cycle Analysis - LCA*) é definida nas normas ISO 14040 (2006a) e ISO 14044 (2006b) como a quantificação do impacto ambiental potencial de um produto ou serviço.

Estado del arte del problema

Em levantamento bibliográfico realizado sobre o tema, verificou-se que a relação entre energia operacional e incorporada em edificações ganhou maior notoriedade na literatura científica recente, visto que grande parte das publicações sobre o assunto são dos últimos quatro anos. Nas bases de dados internacionais, apenas um artigo relata estudos realizados em países da América Latina, sendo a maioria referente a países europeus, asiáticos e norte-americanos. Trata-se, portanto, de um tema pouco explorado na literatura de forma geral e, em especial, no Brasil, que ainda apresenta publicação bastante escassa. Quando encontradas, as publicações brasileiras tratam, majoritariamente, de edifícios residenciais (GOMES et al., 2018).



Ramesh, Prakash e Shukla (2010) indicam que a maioria dos estudos de caso encontrados na literatura são de países com clima temperado, onde se utiliza o óleo e o gás para calefação e, conseqüentemente, para grande parte da energia operacional consumida nas edificações. Em sua revisão da literatura, os autores enfatizam que são necessários estudos para climas tropicais pois, além da diferenciação do clima, as matrizes energéticas são distintas dos países europeus, asiáticos e norte-americanos; e a demanda por resfriamento artificial é maior, o que traz outra configuração ao problema. Como justificativa para tal afirmação, os autores ainda acrescentam que a análise de energia no ciclo de vida depende das fontes primárias de energia de um determinado local e da eficiência de conversão dos processos de produção de materiais. Se a fonte de energia for alterada de fóssil para renovável, o impacto ambiental muda drasticamente.

Copiello (2017), ao fazer uma análise da literatura existente, verifica os paradoxos existentes no consumo de energia de uma edificação. O autor cita estudos que mostram que, para atingir valores elevados de eficiência energética, a energia incorporada despendida pelos edifícios pode aumentar expressivamente, muitas vezes se igualando ou até ultrapassando o consumo de energia operacional, se for considerado todo o ciclo de vida do edifício. No artigo, o autor conclui que, muitas vezes, a busca pela eficiência energética “a qualquer custo” acaba tendo um efeito contrário, gerando menos benefícios energéticos quando a análise é realizada sob a perspectiva do ciclo de vida da edificação.

Tokede et al. (2018) indicam que há uma tendência global de construção de prédios com menores demandas de energia operacional, devido às normas e regulamentações internacionais de eficiência energética. Deste modo, a relação habitual entre energia operacional (80%) e energia incorporada (20%) vem sendo alterada nos últimos anos, de tal forma que a energia incorporada dos materiais de construção vem representando até 40% do impacto ambiental gerado.

Depreende-se, portanto, que a matriz energética é de grande relevância para a análise de energia no ciclo de vida de uma edificação. Em 2018, a participação de energias renováveis na matriz energética brasileira correspondeu a 45,3% do total, se mantendo como uma das mais elevadas do mundo (BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL, 2019). Deste modo, as análises disponíveis na literatura não se aplicam, em sua maioria, ao caso brasileiro, sendo relevante o estudo e a ampliação da literatura acerca do tema em países tropicais com matrizes energéticas renováveis. Em vista disso, este trabalho tem por objetivo investigar a relação entre a energia operacional e a energia incorporada resultante da adição de elementos de proteção solar nas fachadas de saletas comerciais de uma saleta comercial de um edifício de escritórios que opera em modo misto na cidade de São Paulo.

Metodología

O método de trabalho consistiu em uma pesquisa experimental, fundamentada em estudo de caso. O trabalho dividiu-se em três etapas, detalhadas a seguir.

Modelo de referência e cenários

Um banco de dados composto por 153 edificações de escritórios que operam em modo misto (ventilação natural e ar condicionado), localizadas na cidade de São Paulo (NEVES et al., 2017; PEREIRA, 2019) foi utilizado, juntamente com dados coletados na literatura especializada, como base para a definição de um modelo de referência para o presente estudo, apresentado na Tabela 1. Este modelo contém os parâmetros e valores necessários para caracterizar a problemática em questão.

Os valores dos parâmetros fixos do cenário base foram estabelecidos com base nas seguintes referências: cargas internas (ocupação, iluminação artificial e equipamentos) obtidas na NBR 16401 (ABNT, 2008) e no manual Input Output Reference (ENERGYPLUS, 2016b); dados do sistema de ar condicionado e de padrões de uso baseados nos Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) (INMETRO, 2018). Demais informações, como dimensões do ambiente, materiais e componentes construtivos opacos e transparentes definidos com base em consulta ao banco de dados (NEVES et al., 2017; PEREIRA, 2019), sendo considerados os valores médios para as variáveis contínuas e casos mais recorrentes para as variáveis categóricas.

Tabela 1. Dados do cenário base. Fonte: Autores, 2019.

Parâmetros		Valores	Referência
Geometria	Área da sala	39,2 m ²	(PEREIRA, 2019)
	Altura do pavimento	6º andar	pavimento intermediário de um edifício de 12 andares (PEREIRA, 2019)
	Pé-direito	2,50 m	(PEREIRA, 2019)
Esquadria	Percentual de Abertura na Fachada (PAF)	25%	(PEREIRA, 2019)
	Área efetiva de abertura para ventilação	64%	(PEREIRA, 2019)
Vidro	Fator Solar (FS)	62% (vidro colorido)	(PEREIRA, 2019)
	Transmitância térmica (U-value)	5,8 W/m ² .K (vidro simples)	(PEREIRA, 2019)
Envoltória opaca	Transmitância térmica (U)	2,38 W/m ² .K	Parede de bloco de concreto com argamassa dos dois lados (esp. 0,28 m) (ABNT, 2005)
	Capacidade térmica (CT)	258,6 kJ/m ² .K	
	Absortância solar	0,5 (cor média)	(PEREIRA, 2019)
	Emissividade	0,9 (material opaco)	(PEREIRA, 2019)
Sistema de ar condicionado	Tipo	Split	sistema de ar condicionado mais recorrente em edifícios comerciais (ELETROBRAS, 2008)
	Eficiência	3,23 W/W	Nível A PROCEL (INMETRO, 2018)
Cargas internas	Ocupação	65 W/m ²	ABNT, 2008
	Iluminação	9,7 W/m ²	Nível A PROCEL (INMETRO, 2018)
	Equipamentos	10,7 W/m ²	ABNT, 2008
Padrão de uso		Dias de semana das 8 às 18 h	INMETRO, 2018
Ventilação natural		Cruzada adjacente	(PEREIRA, 2019)

A Figura 1 apresenta os cenários comparativos investigados. As variações de elementos de proteção solar consideraram brises contendo aletas verticais e horizontais, com ângulos verticais de sombreamento (AVS) de 22,5° e 45° (Figura 2). Foram também analisadas quatro variações na orientação solar da saleta comercial com ventilação adjacente: N-O, N-L, S-L e S-O (faces voltadas para o exterior).



(a) Cenário base

(b) AVS = 22,5°

(c) AVS = 45°

Figura 1. Modelo de Referência (A), Cenário com brise 22,5° (B), Cenário com brise 45° (C), Fonte: Autores, 2019.

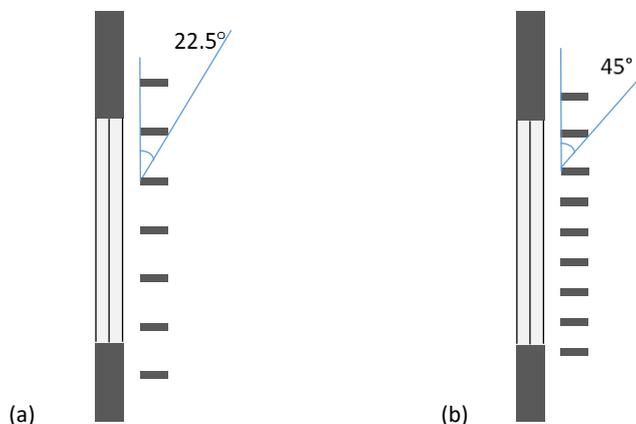


Figura 2. Brise com AVS = 22,5° (a), brise com AVS = 45° (b), Fonte: Autores, 2019.

Cálculo da energia operacional

Para quantificar o consumo de energia operacional dos cenários, simulações computacionais foram realizadas no software EnergyPlus, uma ferramenta desenvolvida pelo Departamento de Energia Norte-americano (DOE) e validada pela ASHRAE Standard 140 (ASHRAE, 2017). A geometria do modelo de referência e cenários foi modelada por meio do *plugin* Euclid para SketchUp, que possui interface com o EnergyPlus. O cálculo do consumo de energia operacional foi realizado por meio do arquivo climático no formato EnergyPlus *weather file* (EPW) da cidade de São Paulo, elaborado com base nos dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMet) (LABEEE, 2018).

Para modelagem da ventilação natural foi utilizado o módulo AirflowNetwork, que realiza cálculos de pressão, fluxo de ar, temperatura e umidade dos nós e das trocas de calor sensível e latente (ENERGYPLUS, 2016a). As simulações foram realizadas em uma base anual, para todos os cenários previamente definidos. A energia operacional foi analisada em termos de consumo anual de energia (KWh/m².ano) do sistema de ar condicionado. A análise destes resultados busca identificar as principais estratégias que propiciam um melhor desempenho termoenergético da edificação na fase de operação.

Cálculo da energia incorporada e emissão de gases de efeito estufa

Foram calculados, para cada cenário, os impactos ambientais ligados ao consumo de energia ao longo do ciclo de vida da edificação, considerando-se a inserção dos elementos de proteção solar com duas opções de materiais: aço zincado e alumínio, ambos materiais amplamente utilizados para esse fim no mercado brasileiro. As diretrizes para a avaliação do ciclo de vida estão fundamentadas na ISO 14040 (2006a) e na ISO 14044 (2006b). Tais normas foram utilizadas para a definição do objetivo e escopo da análise de inventário do ciclo de vida (ICV), da para a avaliação de impactos do ciclo de vida (AICV) e para a interpretação dos resultados, apresentados na Tabela 2. Na seleção das etapas do ciclo de vida indicadas pela EN 15978-2011 (Figura 3), são consideradas apenas as etapas de extração ao chão de fábrica (A1 – 4) e a etapa de transporte dos materiais para descarte após a demolição (C2), tanto no processo de instalação dos brises nas fachadas quanto no descarte após os 50 anos de vida útil.

Tabela 2. Aspectos e métodos selecionados para modelagem ACV. Fonte: Autores, 2019.

Aspectos e Métodos	
Objetivo	Calcular os impactos ambientais dos materiais nos diferentes cenários de retrofit da envoltória
Escopo/fronteira do sistema	Berço ao chão de fábrica, descarte do material utilizado no retrofit no fim de vida / etapas A1-4, B5 e C2
Período de referência	50 anos
Unidade funcional	kg para kWh/ano

Limite geográfico	São Paulo - SP
Base de dados inventário	Ecoinvent 2.2
Metodologia de avaliação de impacto	CML 2001 e CED (Cumulative Energy Demand)
Indicadores	Energia Incorporada, mudanças climáticas (CO ₂ eq)

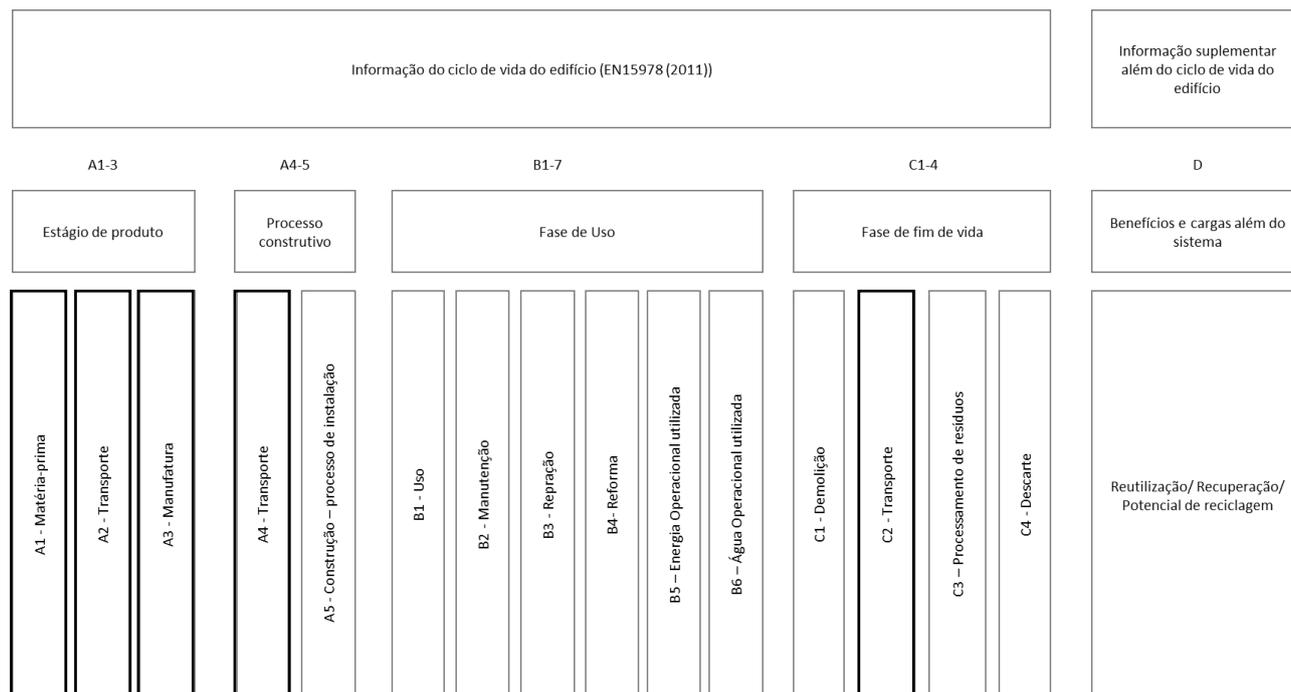


Figura 3. Etapas do ciclo de vida de edificações - (EN15978-2011). Fonte: Gomes et al, 2018. Traduzido pelos autores.

A ferramenta SimaPro 8.5 foi utilizada para a modelagem de ACV dos cenários, juntamente à base de dados Ecoinvent v2.2, que possibilita mudanças na matriz energética do *software* para a brasileira, se aproximando aos parâmetros nacionais de produção. Essas mudanças são muitas vezes necessárias, pela falta de dados brasileiros nas bases existentes (MUNARIM, 2014; GOMES e SILVA, 2015).

A avaliação de impacto do ciclo de vida adotou a abordagem do impacto evitado, ou seja, os efeitos incorporados e recorrentes do ciclo de vida da edificação existente não são contabilizados (MUNARIM, 2014). Sendo assim, foram incluídos na análise de ciclo de vida do fluxo de energia os efeitos incorporados dos materiais empregados exclusivamente nos elementos de proteção solar adicionados, inclusive transporte da sua fabricação para o canteiro de obras e o seu descarte após 50 anos de uso.

Para a AICV foi utilizado o método de Demanda Energética Acumulada (*Cumulative Energy Demand* - CED), que calcula a demanda total de energia primária no ciclo de vida dos materiais (MUNARIM, 2014), incluindo a demanda total de energia para fornecer uma unidade de energia operacional somada à energia incorporada nos materiais utilizados. Utilizou-se também o método CML, que aborda diversas categorias de impacto, incluindo a emissão de CO₂eq. O CML é um manual holandês que apresenta diretrizes operacionais para um estudo de ACV, baseado nas normas ISO 14040 (2006a) e ISO 14044 (2006b). Possui uma abordagem *midpoint* e seus modelos de caracterização foram selecionados a partir da revisão de metodologias existentes (MENDES, BUENO, OMETTO, 2016).

Resultados

A Figura 4 apresenta a análise de energia operacional relativa à adição dos elementos de proteção solar na fachada. Nota-se que para as fachadas orientadas para N-O e S-O os resultados de redução ultrapassaram 45% para brises a 22,5° e 50% para brises a 45°. A orientação S-L obteve menores ganhos percentuais em relação ao modelo base mas, em termos absolutos, esta orientação foi a que obteve melhor desempenho energético para ambos os modelos de brises (Figuras 4 e 5).

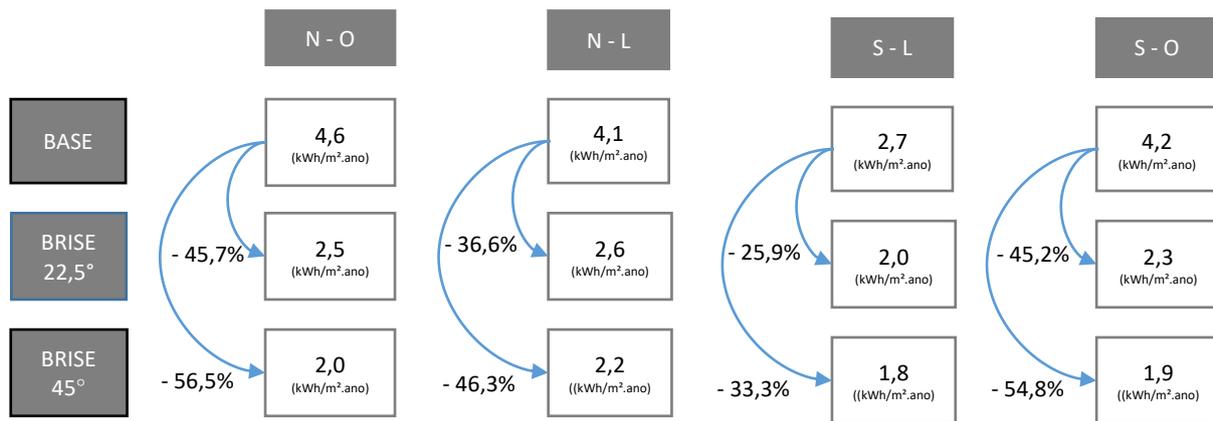


Figura 4. Energia operacional (kWh/m².ano) para condicionamento do ar das saletas comerciais. Fonte: Autores, 2019.

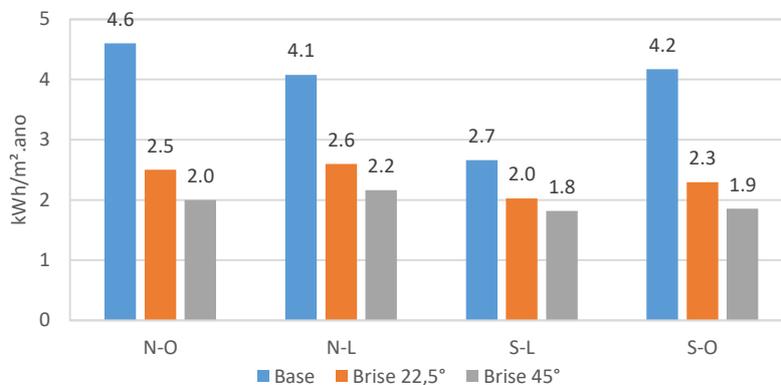


Figura 5. Energia operacional (kWh/m².ano) para condicionamento do ar das saletas comerciais. Fonte: Autores, 2019.

A Figura 6 mostra os resultados referentes demanda energética acumulada para brises em alumínio. Considerou-se, no cálculo realizado, a energia incorporada da rede elétrica (proporcionalmente ao consumo de energia operacional), da produção e do transporte do material até o local da obra (cidade de São Paulo). Verificou-se uma redução no consumo energético total entre os cenários proporcionalmente menor, em relação à redução obtida pelo cálculo da energia operacional (Figura 4), o que se deve à alta quantidade de energia utilizada na produção do alumínio e na grande distância percorrida para chegar à cidade de São Paulo, visto que 91% da extração da bauxita para produção de alumínio provém do estado do Pará. No entanto, mesmo com os altos gastos energéticos para a produção e o transporte do alumínio, a utilização dos elementos de proteção solar ainda se mostra favorável em três das quatro orientações solares. Uma exceção se faz ao cenário com orientação S-L, em que a utilização dos brises aumentou a demanda energética acumulada. Este resultado se deve à menor eficiência do brise na redução da energia operacional, visto que esta é uma orientação de fachada que necessita menor proteção contra a radiação solar direta, fazendo com que os altos gastos

energéticos com produção e transporte dos elementos de proteção solar não compensem a economia de energia obtida na operação da edificação.

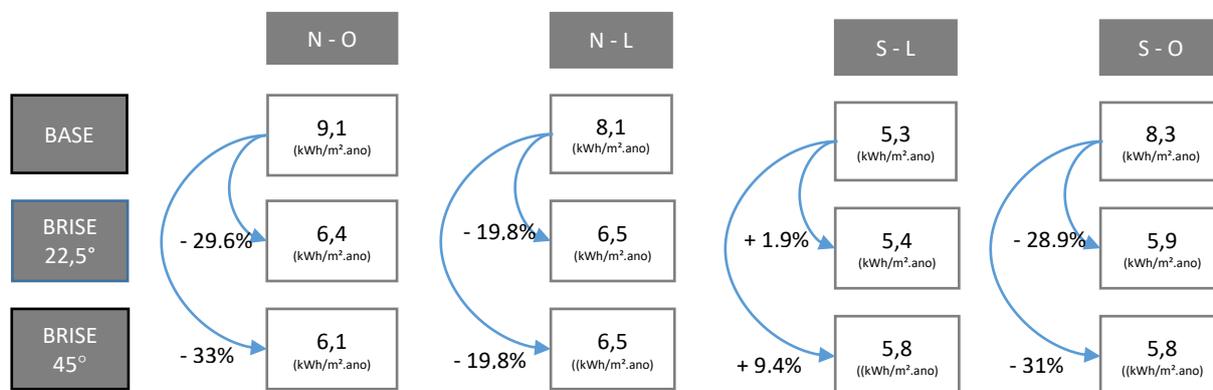


Figura 6. Demanda energética acumulada (kWh/m².ano) das saletas comerciais, considerando o uso de brises em alumínio. Fonte: Autores, 2019.

O alumínio possui densidade menor que o aço zincado e, conseqüentemente, menor massa para um mesmo volume; contudo, a energia despendida na extração da matéria-prima, no tratamento da alumina e no seu transporte é superior à energia gasta no processo de produção do aço zincado. Isso se deve aos altos impactos causados pela produção do alumínio primário, que utiliza 3,5% da eletricidade mundial e causa 1% das emissões de CO₂ globais (CULLEN et al., 2013). Apesar do alto potencial de utilização do alumínio secundário (reciclado), devido à longa vida útil de edifícios, a quantidade disponível de sucata de alumínio em fim de vida ainda é limitada. O volume reciclado é muito inferior às necessidades atuais, por isso a maior parte do fornecimento ainda se faz com o alumínio primário (RIBEIRO, 2012). No Brasil, o alumínio reciclado atende apenas 20 a 25% da demanda atual deste metal, sendo a demanda restante atendida pelo alumínio primário (HYDRO, 2019).

Em vista disso, faz-se relevante comparar os elementos de proteção solar produzidos em alumínio com os produzidos em aço. A Figura 7 apresenta os resultados do cálculo de demanda energética acumulada resultante do uso de elementos de proteção solar em aço zincado. Neste caso, todas as orientações solares e ambos os modelos de brises apresentaram redução na energia incorporada em relação ao modelo base. Se comparados aos resultados obtidos com o elemento de proteção solar em alumínio (Figura 8), observa-se uma maior redução da demanda energética acumulada, para todos os cenários analisados. Observa-se também uma redução proporcional mais próxima à observada na Figura 4, que apresenta os dados de economia energética operacional. Isso se deve ao fato do aço possuir menores índices energéticos de produção, em relação ao alumínio, tendo em vista seu alto potencial de reciclagem e reutilização (AÇO BRASIL, 2019). Além disso, a distância percorrida para transportar o aço é menor, sendo a maior parte das siderurgias nacionais localizadas no estado de Minas Gerais.

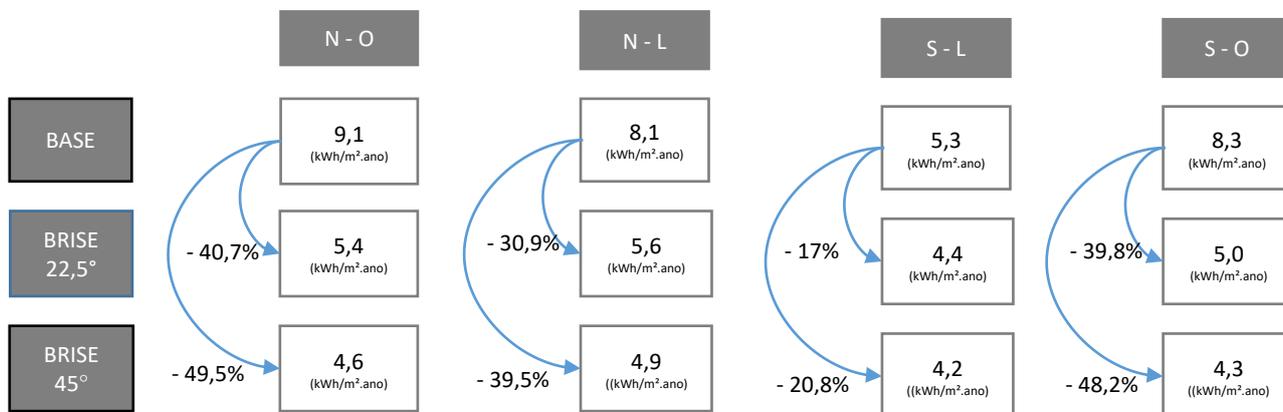


Figura 7. Demanda energética acumulada (kWh/m².ano) das saletas comerciais, considerando o uso de brises em aço zincado.

Fonte: Autores, 2019.

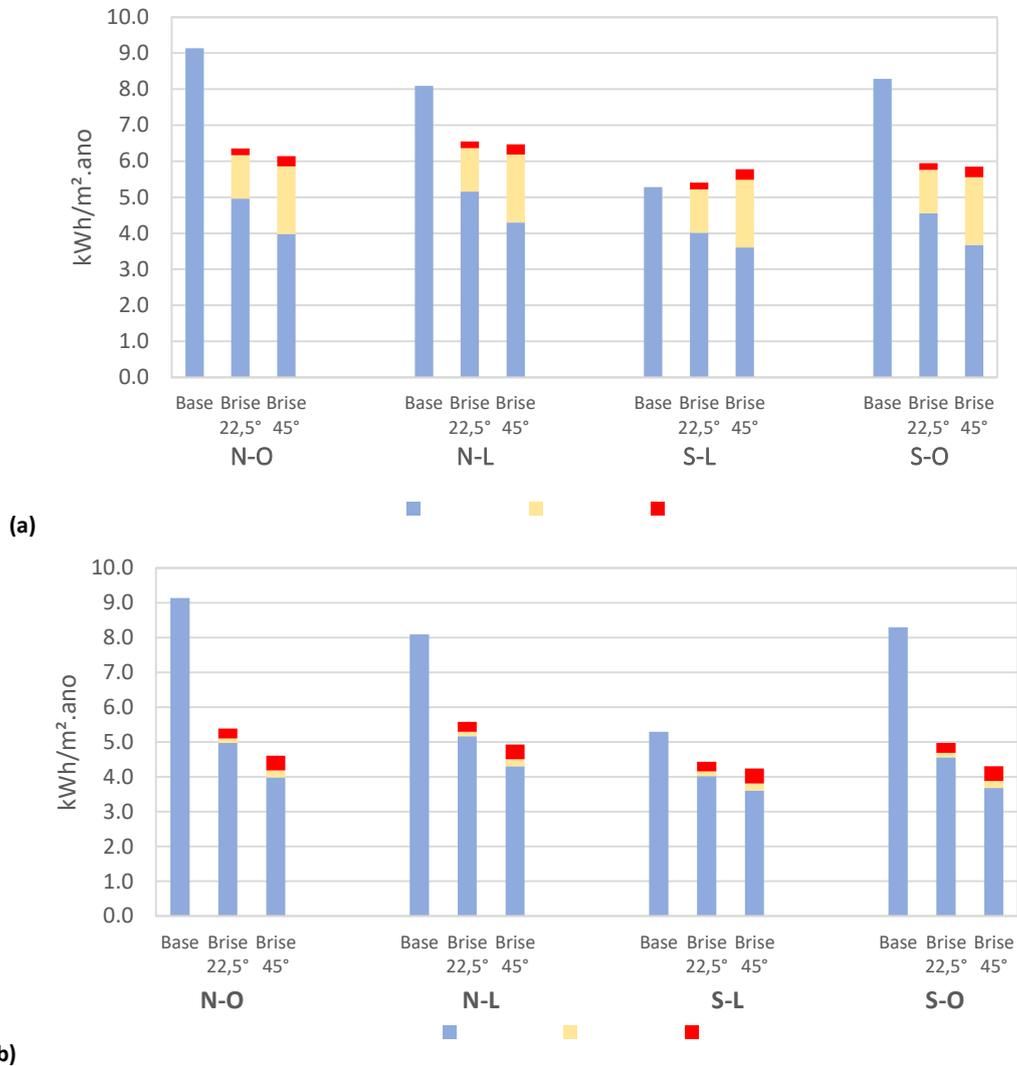
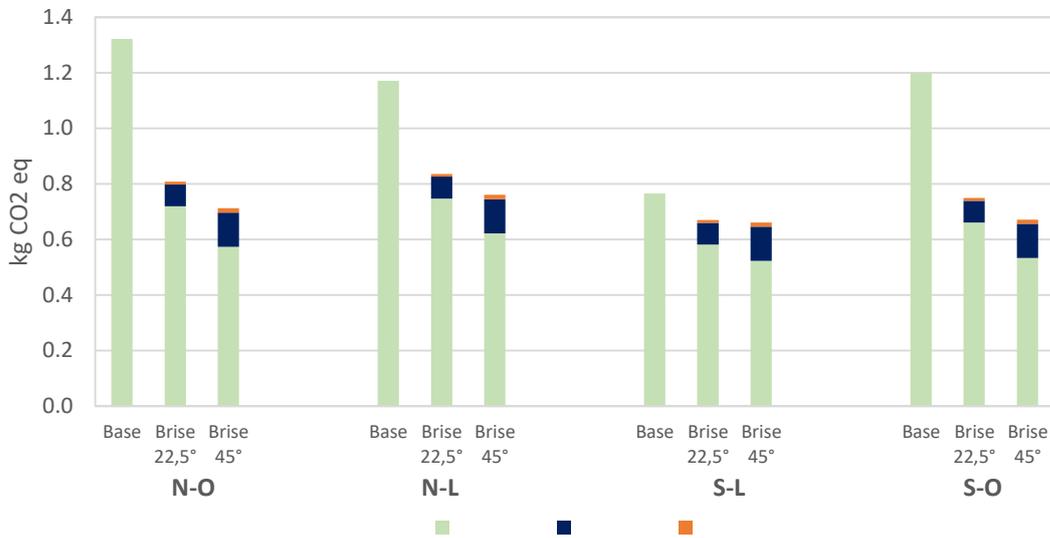
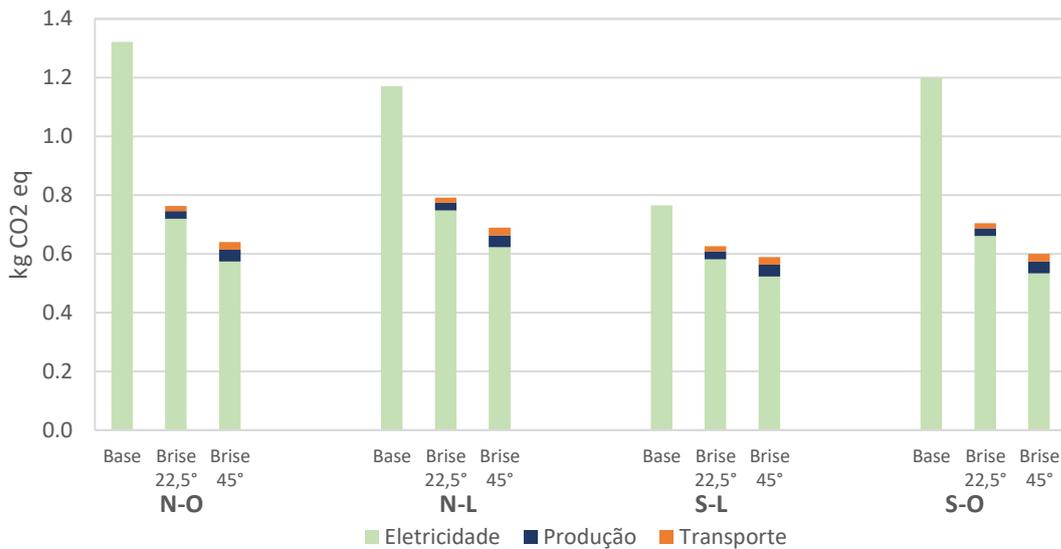


Figura 8. Demanda energética acumulada ($\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}$) com o uso de brises em alumínio (a) e em aço zincado (b) Fonte: Autores, 2019.

A Figura 9 mostra os resultados obtidos no cálculo do Potencial de Aquecimento Global (*Global Warming Potential - GWP*), indicado pela quantidade de kg de CO_2eq emitida na atmosfera. Verificou-se a energia elétrica consumida como um indicador de emissões de CO_2eq , pois em todos os cenários em que houve redução do consumo de energia operacional das saletas comerciais, reduziu-se a emissão de CO_2eq na atmosfera. Os valores de GWP para produção e transporte do alumínio e do aço zincado resultaram bastante similares, para todos os cenários analisados. A produção de alumínio possui maior impacto que a produção do aço zincado, quando analisada isoladamente, mas a elevada densidade do aço eleva seu índice de GWP com transporte, aproximando seus valores potenciais de aquecimento global com os do alumínio.



(a)



(b)

Figura 9. Carbono Incorporado (kg CO₂ eq) com o uso de brises em alumínio (a) e em aço zincado (b) Fonte: Autores, 2019.

Discusión y Conclusiones

A presente pesquisa contribui para a discussão sobre a relação entre o consumo de energia operacional e energia incorporada em edificações, a partir da adição de elementos de proteção solar nas fachadas de saletas comerciais de um edifício de escritórios que opera em modo misto, localizado na cidade de São Paulo. Como a energia operacional representa o maior consumo energético de edificações ao longo do seu ciclo de vida, reduzi-la ainda é o aspecto mais abordado por projetistas que procuram criar ou remodelar edifícios buscando a eficiência energética. Reduzir a energia operacional, no entanto, implica em um aumento da energia incorporada por meio da implementação de materiais e tecnologias que demandam maior consumo de energia para sua produção, transporte, manutenção e demolição. Neste sentido, os resultados obtidos nesta pesquisa demonstram a importância da análise do ciclo de vida e os impactos ambientais consequentes das decisões de projeto.



Os resultados indicaram que o uso de elementos de proteção solar reduziu a demanda acumulada de energia da saleta comercial estudada, em 88% dos casos. Nota-se, nos cenários analisados, uma relação direta entre a orientação solar da fachada e o consumo de energia operacional, fazendo com que a adição de brises não seja vantajosa para os cenários de brises de aço zincado dispostos nas fachadas com orientação solar favorável (S-L).

Para o estudo de caso analisado, o uso do aço zincado nos elementos de proteção solar foi mais favorável, em termos de impactos energéticos ao longo do ciclo de vida da edificação, do que o uso do alumínio, sendo o principal motivo deste resultado o impacto energético da produção do alumínio. É importante ressaltar que o período de referência do ciclo de vida foi de 50 anos, sem necessidade de manutenções.

Referencias

AÇO BRASIL. Disponível em: <https://www.acobrasil.org.br>. Acessado em 10 de julho de 2019

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL. Disponível em: <https://www.epe.org.br>. Acessado em 10 de julho de 2019.

COPIELLO, S. Building energy efficiency: A research branch made of paradoxes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 69, p. 1064–1076, mar. 2017.

CULLEN, Jonathan M., ALWOOD, Julian M.. Mapping the Global Flow of Aluminum: From Liquid Aluminum to End-Use Goods. *Environment Science Technology*. 2013.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION (BSI), BS EN 15978:2011. Sustainability of construction works. Assessment of environmental performance of buildings. Calculation method, London: BSI (2011).

ENERGYPLUS. Engineering Reference. Estados Unidos: U.S. Department of Energy, 2016a, p. 1772.

ENERGYPLUS. Input Output Reference. Estados Unidos: U.S. Department of Energy, 2016b, p. 2796.

GOMES, V.; SILVA, M. G. DA. Seleção de materiais e edifícios de alto desempenho ambiental. In: GONÇALVES, J. C. S.; BODE, K. (Eds.). *Edifício Ambiental*. São Paulo: Oficina de textos, 2015.

GOMES, V. et al. Exploring lifecycle energy and greenhouse gas emissions of a case study with ambitious energy compensation goals in a cooling-dominated climate. *Energy and Buildings*, v. 173, p. 302–314, ago. 2018.

HYDRO. Disponível em: <https://www.hydro.com/pt-BR/a-hydro-no-brasil/Sobre-o-aluminio/como-o-aluminio-e-produzido>. Acessado em 10 de julho de 2019

IEA (International Energy Agency). Disponível em: <https://www.iea.org>. Acessado em 01 de julho de 2019

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL - INMETRO. Manual para Aplicação do Regulamento Técnico da Qualidade para Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicos. Rio de Janeiro, 2018.

ISO. International Organization for Standardization. ISO 14040. Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework. Geneva: ISO, 2006a. 20p

ISO. International Organization for Standardization. ISO 14044. Environmental Management – Life Cycle Assessment – Requirements and Guidelines. Geneva: ISO, 2006b. 46p.

LABEEE. Disponível em: <https://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos>. Acessado em 05 de junho de 2019

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. Eficiência energética na arquitetura. 3a ed. Rio de Janeiro, 2014.



MENDES, N. C.; BUENO, C.; OMETTO, A. R. Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida: revisão dos principais métodos. *Production*, v. 26, n. 1, p. 160–175, nov. 2015.

MUNARIM, U. Benefícios ambientais da preservação do patrimônio edificado: Análise do ciclo de vida da reabilitação de edificações vs. nova construção. Tese de doutorado. Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16401: Instalação de ar condicionado – Sistemas centrais e unitários.

Rio de Janeiro, 2008.

NEVES, L. O.; MARQUES T. H. T. Building Envelope Energy Performance of High-Rise Office buildings in Sao Paulo city, Brazil. *Procedia Environmental Sciences* v. 38, p. 821-829, 2017

PEREIRA, F. A. Influência da estratégia de ventilação natural no desempenho termoenergético de edifícios de escritórios de modo misto 2019. 161 p. Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Cidade e Tecnologia) Unicamp - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2019.

PEREIRA, F. A.; NEVES, L. O. Desenvolvimento de um banco de dados contendo estratégias de projeto de edifícios de escritórios de modo misto. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17, 2018, Foz do Iguaçu. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2018.

RAMESH, T.; PRAKASH, R.; SHUKLA, K. K. Life cycle energy analysis of buildings: An overview. *Energy and Buildings*, v. 42, n. 10, p. 1592–1600, out. 2010.

RIBEIRO, João Filipe Amado. Sustentabilidade dos produtos de construção – aplicação da análise do ciclo de vida a um perfil de alumínio. 2012. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.

TOKEDA, O. O.; LOVE, P. E. D.; AHIAGA-DAGBUI, D. D. Life cycle option appraisal in retrofit buildings. *Energy and Buildings*, v. 178, p. 279–293, nov. 2018.

ZOU, P. X. W. et al. Review of 10 years research on building energy performance gap: Life-cycle and stakeholder perspectives. *Energy and Buildings*, v. 178, p. 165–181, nov. 2018.