

ANÁLISE DE ESTRATÉGIAS DE CONSUMO INTELIGENTE DE ELETRICIDADE EM EDIFICAÇÕES EDUCACIONAIS DE MACAÉ - RJ

Analysis of Smart Energy Consumption in educational buildings in Macaé-RJ

Bruno Barzellay Ferreira da Costa⁵
Yan Brum Jardim⁶
João Pedro Alfradique de Oliveira⁷

Resumo: A acelerada prosperidade financeira proporcionada pelos vultosos investimentos na indústria do petróleo local, tornou a pequena cidade interiorana de Macaé, tradicionalmente embasada na economia agropecuária, em um pólo de negócios de reconhecimento internacional. Contudo, a crescente demanda por edificações residenciais, comerciais e educacionais, pressionou o ecossistema de construção civil local. Sendo assim, a infraestrutura predial do município foi arquitetada desconsiderando princípios básicos de eficiência energética, originando diversos transtornos pós-ocupação aos seus usuários, tais como: desconforto térmico e lumínico, necessidade constante do uso de equipamentos de climatização, e elevadas tarifas de energia. Portanto, o objetivo deste artigo é analisar estratégias de consumo inteligente de eletricidade em edificações educacionais da cidade de Macaé, por meio de visitas técnicas e simulações computacionais. A metodologia adotada neste trabalho fundamenta-se na identificação *in-loco* das diversas características que afetam o desempenho energético de três edificações pré-selecionadas, na sugestão de estratégias simples de redução de consumo, e no emprego de modelos computacionais desenvolvidos em softwares específicos visando a análise de sua efetividade. Concluiu-se que a adoção das estratégias propostas permitiria a efetiva redução de até 70% do consumo de luz artificial em duas das edificações estudadas, e a instalação de painéis fotovoltaicos reduziria ao mínimo a tarifa de energia elétrica da terceira edificação, com previsão do retorno do investimento em 29 meses. Este trabalho ressalta a importância do planejamento arquitetônico objetivando a eficiência energética para a qualidade de vida e o bem-estar financeiro dos usuários, e orienta que o projeto de novas edificações sejam avaliados com base em critérios bem definidos.

Palavras-chave: Eficiência energética; Edificações educacionais; Macaé; Sustentabilidade urbana.

⁵ Professor Adjunto do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ - *Campus* de Macaé. Possui Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal Fluminense - UFF (2008), Mestrado em Engenharia Civil pela Universidade Federal Fluminense - UFF (2010), Doutorado em Engenharia Civil pela Universidade Federal Fluminense - UFF (2018)

⁶ Graduando em Eng. Civil. UFRJ. yanbrumjardim@gmail.com

⁷ Graduando em Eng. Civil. UFRJ. jp.alfoliveira@gmail.com

Abstract: The accelerated financial prosperity provided by the large investments in the local oil industry, transformed the small town of Macaé, traditionally based on the agricultural economy, in a business center of international recognition. However, the growing demand for residential, commercial and educational buildings has put pressure on the local civil construction ecosystem. Thus, the building infrastructure of the municipality was designed disregarding basic principles of energy efficiency, causing several post-occupancy disorders to its users, such as: thermal and luminous discomfort, constant need for the use of air conditioning equipment, and high energy tariffs. Therefore, the purpose of this article is to analyze strategies for smart consumption of electricity in educational buildings in the city of Macaé, through technical visits and computer simulations. The adopted methodology is based on the *in loco* identification of the characteristics that affect the energy performance of three pre-selected buildings, on the suggestion of simple strategies to reduce consumption, and on the use of computational models developed in software aimed at analyzing its effectiveness. It was concluded that the adoption of the proposed strategies would allow an effective reduction of up to 70% of the consumption of artificial light in two of the studied buildings, and the installation of photovoltaic panels would reduce electricity tariff of the third building to a minimum, with an expected return of the investment in 29 months. This work emphasizes the importance of architectural planning aimed at energy efficiency for the quality of life and financial well-being of users, and guides that the design of new buildings be evaluated based on well-defined criteria.

Keywords: Energy efficiency; Educational Buildings; Macaé; Urban Sustainability.

1. Introdução

A construção civil é o setor econômico que mais consome recursos naturais em todo o mundo. Isto porque sua influência sobre o meio ambiente não ocorre somente durante as etapas de construção dos empreendimentos, sejam eles residenciais, comerciais, industriais, ou educacionais, mas também, e principalmente, durante o seu período de operação, ou seja, no mínimo 50 anos. Considerando-se que a etapa de construção do imóvel propriamente dita representa menos de 10% desse tempo, é possível concluir que a maior parte do serviço destes imóveis está destinada à fase de operação, que nada mais é que sua utilização pela sociedade. Com isso, atualmente, as edificações consomem aproximadamente 40% de toda a energia produzida no mundo e, conseqüentemente, são responsáveis pela emissão de 30% dos gases de efeito estufa lançados na atmosfera [1-3].

Tendo em vista o contínuo desenvolvimento de novos equipamentos eletrônicos e sua utilização cada vez mais acentuada, estima-se que a demanda por energia nas edificações, a qual já é expressiva, se intensificará a uma taxa de 1,5% ao ano até 2040 [3,4]. Neste contexto, o conceito de eficiência energética entendido como “um atributo inerente à edificação representante de seu potencial em possibilitar conforto térmico, visual e acústico aos seus usuários com baixo consumo de energia” [5], vem ganhando força ao longo das últimas décadas, viabilizando o desenvolvimento de novas tecnologias e, sobretudo, uma profunda modificação cultural acerca do envolvimento humano com o habitat construído e natural. Considerando que mais de 87% da população brasileira já vive em centros urbanos [6], o conceito de sustentabilidade aplicado às edificações vem conquistando a atenção de pesquisadores, empresários e tomadores de decisão, visto que o ambiente planejado, projetado, construído e usufruído de forma sustentável contribui para a preservação do meio natural, ao mesmo tempo, em que consegue gerar economia financeira. Portanto, ações que visem a mitigação do consumo destes recursos ou seu aproveitamento de forma mais eficiente são bem-vindas, pois possibilitam a geração de economia significativa durante todo o ciclo de vida do produto.

Existem basicamente duas formas de tornar uma edificação mais eficiente energeticamente em sua etapa de operação [7]. A primeira é a introdução de sistemas próprios de geração por meio de tecnologias alternativas, tais como: solar, eólica, térmica, biomassa, dentre outras. De fato, ao produzir sua própria energia o usuário reduz sua dependência dos sistemas tradicionais de geração e distribuição, mitigando os impactos que os recorrentes aumentos das tarifas provocam no orçamento de operação da edificação. Contudo, estas tecnologias, em especial a primeira, já se encontram bem difundidas. Somente em Macaé e região dezenas de empresas já se especializaram na prestação deste serviço aos usuários finais, tornando o mercado

um tanto quanto saturado. Além disso, o desenvolvimento de soluções inovadoras nesta linha de atuação é complexa, uma vez que demanda investimentos volumosos em equipamentos e materiais. Dessa forma, a utilização de energias renováveis foi utilizada como recurso secundário neste trabalho.

Sendo assim, optou-se por priorizar neste estudo a segunda forma de aprimorar a eficiência energética das edificações, que é por meio da redução do consumo. Apesar de óbvia, esta não é uma solução trivial. Nos dias atuais é impensável a hipótese de manter um ambiente de trabalho confortável sem a utilização de equipamentos de ar-condicionado e iluminação artificial, especialmente em regiões de clima tropical. Entretanto, existem estratégias simples, eficazes e de baixo custo de implementação que visam um aproveitamento mais racional destes recursos, tais como: emprego correto da iluminação natural; dimerização da iluminação artificial; estabelecimento de layouts adequados propiciando a ventilação natural; utilização de equipamentos eletroeletrônicos mais eficientes; seleção correta de materiais e cores a serem utilizados como revestimentos; determinação de padrões corretos de operação de elementos de sombreamento, como cortinas e brises; dentre outras. Tais proposições vêm logrando êxito no meio acadêmico, como demonstrado em inúmeros estudos científicos já publicados [8-11], porém se percebe que, na prática, poucas corporações se beneficiam deste conhecimento.

Portanto, o objetivo deste artigo é analisar estratégias de consumo inteligente de eletricidade em edificações educacionais da cidade de Macaé, por meio de visitas técnicas e simulações computacionais. A metodologia adotada neste trabalho fundamenta-se na identificação *in-loco* das diversas características que afetam o desempenho energético de três edificações pré-selecionadas, na sugestão de estratégias simples de redução de consumo. Tal como no emprego de modelos computacionais desenvolvidos em softwares específicos visando a análise de sua efetividade. Espera-se com este trabalho ressaltar a importância do planejamento arquitetônico objetivando a eficiência energética para a qualidade de vida e o bem-estar financeiro dos usuários. Para que o projeto de novas edificações seja avaliados com base em critérios bem definidos, levando-se em conta as consequências destes empreendimentos no avanço científico e da qualidade de vida da população macaense.

Após esta introdução, o estudo encontra-se estruturado em três seções adicionais. A seção 2 descreve o procedimento metodológico aplicado ao estudo. A seção 3 descreve as descobertas da pesquisa e discute seus resultados. Por fim, a seção 4 resume as conclusões e expõe sugestões para futuras investigações.

2. Materiais e Métodos

A etapa inicial do trabalho consistiu no levantamento de informações técnicas e detalhes construtivos que influenciam no desempenho energético de cada uma das edificações analisadas. Para tanto, foram coletados dados referentes a: localização, número de pavimentos, dimensões, áreas, quantidade de salas e seus respectivos usos, orientação das fachadas e elementos de proteção solar. Posteriormente, foram desenvolvidos modelos computacionais das edificações utilizando softwares específicos, tais como: Autodesk Revit; Autodesk AutoCAD; DIALux Evo e Analysis SOLAR. Nestes modelos foram adicionadas informações técnicas como o georreferenciamento da edificação em relação ao Norte, assim como os elementos sombreadores, sejam eles constituídos por edificações adjacentes ou por elementos de proteção solar já instalados na edificação, de modo a possibilitar uma maior compreensão a respeito da incidência solar sobre os ambientes avaliados. A carta solar da região foi utilizada para a definição da máscara de sombra dos edifícios, facilitando as análises da disponibilidade de iluminação natural em cada um deles. Além disso, foi adicionado a estes modelos o posicionamento de cada dispositivo de iluminação artificial presente na edificação, considerando-se características como a capacidade de iluminação e o consumo energético.

Uma característica relevante dos ambientes analisados é o grau de refletância dos materiais de revestimento das suas superfícies (piso, paredes, e forro). A definição deste valor foi realizada por meio do método do papel branco, com uso de um luxímetro modelo TLux-100 digital da marca Incoterm, que consiste em um sensor fotométrico de silício. O método do papel branco para medições com luxímetro fundamenta-se na atribuição de uma refletância de 90% para uma folha de papel branco, cujo nível de iluminância deve ser comparada àquela apresentada pela amostra em questão. O nível de iluminância da superfície em estudo foi calculado por meio da Eq. (1):

$$\rho = \frac{E_c \cdot 90}{E_p} \text{Eq. (1)}$$

Onde:

ρ = refletância da amostra (%);

E_c = Nível de iluminância refletida pela amostra (lux);

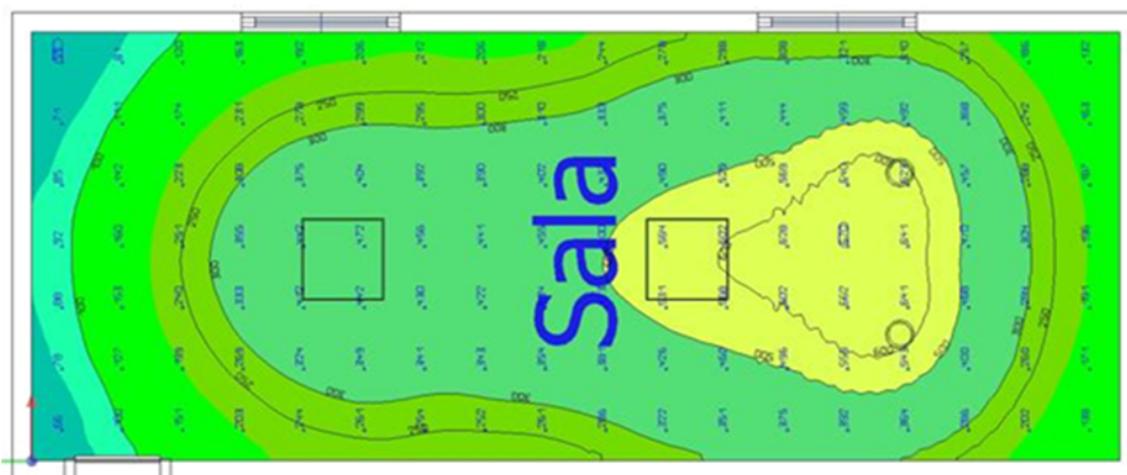
E_p = Nível de iluminância refletida pelo papel branco (lux);

90 = Valor adotado para a refletância do papel branco (em %).

Este procedimento foi realizado para as paredes, divisórias e piso. Para o forro, foi utilizado o valor padrão de refletância para a cor branca, disponível no software DiaLux. Uma

vez coletados esses dados, e desenvolvidos os modelos de cada sala analisada nas edificações, são realizadas as simulações de iluminação para uma série de cenários relevantes (como o cenário atual e um cenário com elementos otimizados, para diferentes dias e horários), considerando o perfil de uso para cada caso. Com as simulações, uma variedade de dados é gerada pelo *software*, como os gráficos de isolinhas e cores falsas, além de valores numéricos absolutos que auxiliam a análise dos resultados obtidos de forma visual e objetiva (Figura 1). Por meio do resultado destas simulações são propostas estratégias para melhorar a eficiência energética das edificações em estudo. Essas sugestões podem englobar não só os elementos de iluminação artificial, como também o correto uso de sistemas de ventilação (natural ou artificial), ou até mesmo a possível geração de energia, caso seja observado que a edificação possui grande potencial para tal.

Figura 1 – Exemplo de simulação da distribuição lumínica de uma sala.



Fonte: Elaborado pelo autor

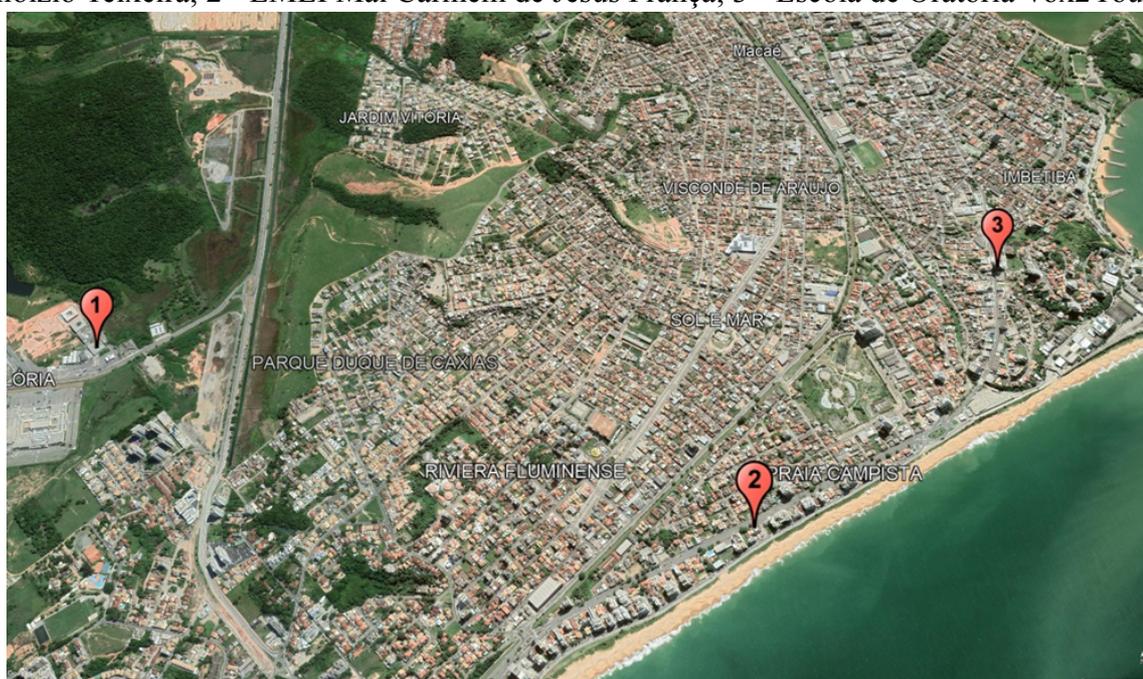
Podemos então, de forma objetiva, definir a metodologia através dos seguintes passos:

- 1 – Obtenção ou desenvolvimento do projeto arquitetônico da edificação analisada;
- 2 – Exportação do arquivo em AutoCad para o *software* de simulação lumínica DIALux, incluindo características específicas de cada ambiente de estudo, como posição de iluminação artificial e/ou situação de iluminação natural;
- 3 – Otimização do sistema de iluminação escolhido, sendo ele natural ou artificial;
- 4 – Realização da rotina de simulação, com obtenção de isolinhas, diagramas numéricos, gráfico de cores falsas, e de representações 3D renderizadas;
- 5 - Compilação e análise dos resultados.

3. Resultados e Discussão

De forma a obter uma análise mais objetiva dos resultados obtidos, cada estudo de caso será abordado separadamente, ressaltando-se suas devidas particularidades, assim como as possíveis soluções encontradas para os problemas observados. A Figura 2 apresenta a localização exata de cada uma das três edificações analisadas no mapa da cidade de Macaé.

Figura 2 - Mapa dos Edifícios Contemplados pelo Estudo. 1 - Bloco A do Campus Aloizio Teixeira; 2 - EMEI Mai Carmem de Jesus França; 3 - Escola de Oratória Vox2You



Fonte: Google Earth

3.1. Estudo de Caso 1 - Bloco A do Campus Aloísio Teixeira

A edificação objeto do estudo situa-se na Avenida Aloizio da Silva Gomes, 50 – Novo Cavaleiros, local conhecido como Polo Universitário de Macaé. Nesse endereço, distribuídos pelos seus cinco edifícios, encontram-se em funcionamento a Secretaria de Educação de Macaé, e os *Campi* da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, da Universidade Federal Fluminense – UFF, da Faculdade Professor Miguel Ângelo da Silva Santos – FeMASS, e do Colégio de Aplicação de Macaé – CAP, estes dois últimos operando atualmente no Bloco A, o objeto de estudo desta seção.

O Bloco A classifica-se como uma edificação quadrada, com fachadas de aproximadamente 42 metros (Figura 3). É composta por pavimento térreo, 2º e 3º pavimentos, totalizando 4.422,48 m², além da área de telhado. Possui pátio lateral amplo que dá acesso aos demais blocos e um jardim central descoberto, no formato de átrio. Cada andar possui sanitários

feminino e masculino. O pavimento térreo é basicamente composto por salas destinadas ao setor administrativo e ao auditório, enquanto o 2º e o 3º pavimento acomodam salas de aula e laboratórios. O acesso ao 2º e 3º pavimento é feito por meio de duas caixas de escada e por uma rampa. Estas informações foram obtidas por meio do projeto arquitetônico fornecido pela Secretaria Adjunta de Ensino Superior, e complementadas por visitas *in-loco*, registros fotográficos e entrevistas com os usuários da edificação. Neste trabalho optou-se pela análise dos pavimentos 2 e 3 da edificação, visto que são constituídos de salas de aula com alta potência instalada de iluminação e amplamente utilizados no período noturno.

Figura 3 – Fachada principal do Bloco A do Campus
Aloísio Teixeira



Fonte: Acervo pessoal

O modelo da edificação em Building Information Modelling (BIM) utilizado para a realização do estudo solar foi gentilmente cedido pelo docente Leandro Tomaz Knopp, professor vinculado ao curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio de Janeiro – *Campus Macaé*. O docente é responsável pela disciplina de Introdução ao BIM, oferecido como eletiva para os cursos de engenharia da instituição. Este modelo foi georreferenciado no programa Revit para sua localização real e orientado conforme sua posição referente ao Norte verdadeiro. A partir daí foram simuladas as diversas condições solares de hora em hora para os dias 21 de dezembro e 21 de junho, equivalentes aos Solstícios de verão e de inverno, respectivamente. Estes dias representam as condições extremas de sol, onde o mesmo se posiciona ou em sua trajetória mais baixa, ou em sua trajetória mais alta.

Devido à sua orientação em relação ao norte verdadeiro, todas as fachadas do edifício apresentam boa captação de radiação solar, o que pode favorecer o uso da iluminação natural, caso os elementos de proteção solar existentes sejam empregados corretamente. Foi possível diagnosticar entre os elementos de proteção solar: brises verticais fixos incorporados à estrutura do edifício, situados nas fachadas sudoeste e noroeste, e brises verticais metálicos móveis em conjunto com brises verticais fixos, situados nas fachadas sudeste e nordeste. No 3º pavimento de todas as fachadas, percebe-se que o beiral da edificação atua também como brise horizontal.

Os elementos de proteção solar foram contemplados na etapa de projeto, entretanto, pôde-se verificar que alguns brises encontram-se danificados, o que pode prejudicar o desempenho termo-luminoso da edificação. Além disso, a utilização de brises móveis manuais, apesar de dinâmica e funcional, depende diretamente da proatividade e conhecimento de sua operação por parte dos usuários, que precisam conhecer as condições ideais de posicionamento dos brises para cada época do ano e condição de céu para que possam posicionar as estruturas de forma eficiente.

A etapa inicial necessária para a avaliação da iluminação artificial atualmente empregada no edifício em estudo é o levantamento do correto posicionamento de cada lâmpada ou conjunto de lâmpadas nos ambientes analisados. Para tanto, com o uso de uma trena eletrônica, foi realizada a medição *in-loco* da disposição de todos os dispositivos de iluminação artificial das salas. Atualmente, grande parte das salas visitadas utilizam lâmpadas fluorescentes tubulares, com potências de 32 watts cada, da fabricante OSRAM, modelo FO32w/640-K378 white.

Os ambientes estudados apresentam basicamente as mesmas características, constituídos de paredes pintadas na cor marfim, tetos revestidos com forro na cor branco gelo, divisórias na cor bege e pisos de granilite. Portanto, foram adotados valores distintos de refletância para cada uma destas superfícies, com exceção dos forros. Devido à dificuldade em se realizar o procedimento em altura, empregou-se para este elemento uma refletância de 59% obtida diretamente a partir do banco de dados do software DIALux.

Os resultados deste estudo foram obtidos por meio de simulação computacional, entretanto, para fins de calibração do modelo, foi utilizada rotina experimental, publicada em estudo prévio em uma das salas da edificação [12]. Por fim, empregou-se o software DIALux com o objetivo de verificar se o output do software estava de acordo com os dados aferidos experimentalmente.

Os dispositivos selecionados para substituir os existentes pertencem ao catálogo da fabricante Phillips, modelo WT470C LED42S/840 PSU WB TW1 L1300, com 30,5 watts de potência e fluxo luminoso de 4100 lúmens. É importante destacar que este modelo foi utilizado

para fins ilustrativos, de forma a ressaltar a oportunidade de redução de consumo ao optar-se por lâmpadas mais eficientes. Contudo, em estudos práticos, as lâmpadas reais, com suas características próprias, devem ser consideradas na simulação. O cálculo do consumo médio mensal tanto para o cenário atual quanto para o cenário proposto foi realizado considerando-se que todas as lâmpadas permanecerão ligadas diariamente das 17:00 até às 22:00 horas durante uma média de 22 dias úteis por mês. Percebe-se que a iluminação proposta apresenta maior rendimento lumínico, além de demandar menor quantidade de energia para operar. Concluiu-se que a redução total de consumo pode chegar a 496,28 kWh, ou seja, quase 50% do consumo atual.

Além da substituição das lâmpadas atuais por modelos mais eficientes e do remanejamento das mesmas visando melhor aproveitamento do fluxo luminoso, existem outras estratégias que podem ser empregadas para aprimorar a eficiência energética, dentre as quais destacamos:

- **Utilização de materiais com maior refletância** - Nos ambientes estudados, pode-se perceber que os elementos construtivos, como paredes e pisos, apresentam valores reduzidos de refletância. Com isso, sugere-se que ao planejar a reforma dos ambientes, especialmente as paredes, sejam escolhidas tonalidades e padrões de acabamento mais reflexivos, que contribuirão para uma maior uniformidade na difusão dos feixes luminosos. Ao se analisar o emprego de uma tinta com refletância de 80% nas paredes, pode-se perceber que os resultados divergem bastante em diversos pontos de medição, destacando-se a melhor distribuição obtida com o material de maior refletância, especialmente em pontos próximos às paredes, os quais são, reconhecidamente, locais problemáticos para a difusão da iluminação. Essa seria uma estratégia eficaz e de baixo custo, pois as paredes precisam ser pintadas periodicamente.
- **Divisão adequada dos circuitos de iluminação** - A segunda estratégia proposta é a divisão adequada dos circuitos de acionamento dos dispositivos de iluminação artificial. Atualmente, verificou-se que a divisão desses circuitos nas salas não obedece a um critério lógico e, com isso, os usuários são invariavelmente compelidos a acionar todas as luzes do ambiente para obter níveis mínimos de luminosidade, gerando desperdício. Portanto, sugere-se que os circuitos sejam reorganizados em zonas paralelas às janelas da edificação. A primeira zona localiza-se próximo às janelas da sala de aula, a segunda zona no meio da sala e a terceira zona no canto oposto às aberturas. Com isso, possibilita-se o acendimento progressivo das zonas conforme necessário, economizando-se energia.

3.2. Estudo de Caso 2 - Escola Municipal de Educação Infantil Mai Carmen de Jesus França

A edificação onde funciona a Escola Municipal de Educação Infantil Mai Carmen de Jesus França, objeto do estudo, situa-se na Avenida Nossa Senhora da Glória, 745 – Praia Campista, Macaé, em um terreno de 356,19 m² posicionado na interseção desta com a Rua Sargento Francisco Pereira da Silva (Figura 4). A edificação apresenta formato predominantemente retangular, com fachadas frontal e de fundos de aproximadamente 25,30 metros, e uma fachada lateral de 9,10 metros. É composta por pavimento térreo e pavimento superior, totalizando 403,00 m². O telhado é do tipo colonial, composto por estrutura de madeira e telhas cerâmicas. Possui pátios, frontal (de acesso ao interior da edificação) e lateral (área de lazer), além de uma área de serviço descoberta nos fundos.

Figura 4 – Fachada principal da Escola Municipal de Educação Infantil Mai Carmen de Jesus França



Fonte: Acervo pessoal

O pavimento térreo é composto por hall de entrada, vestiário, sanitários masculino e feminino, refeitório, cozinha, área de serviço, lavanderia, corredor de circulação e três salas de aula, de aproximadamente 16 m² cada. O pavimento superior é composto por sala da direção, almoxarifado, sanitários masculino e feminino, secretaria, sala de professores, corredor de circulação, e quatro salas de aula, de aproximadamente 17 m² cada. O acesso ao pavimento superior é realizado por meio de duas escadas, posicionadas nas extremidades da edificação. Neste trabalho, optou-se pela análise das salas de aula dos pavimentos superior e térreo, da sala da direção, da secretaria e da sala dos professores, visto que são ambientes de uso intensivo, ou seja, são habitados durante todo, ou quase todo o período de expediente da instituição.

A orientação solar das fachadas do edifício foi obtida por meio do aplicativo Google Earth. Com isso, verificou-se que a fachada com menor número de aberturas, a fachada lateral,

está orientada para nordeste, captando assim, predominantemente, o sol da manhã, enquanto a fachada com o maior número de aberturas, a fachada frontal, está orientada para noroeste, experimentando alto grau de radiação solar durante a maior parte do dia. Esta característica é interessante para o aproveitamento da iluminação natural, objetivo deste estudo, porém requer cuidados especiais, de forma a evitar a absorção de calor, que pode ser prejudicial ao conforto térmico dos usuários.

Por meio da análise dos projetos fornecidos e de registros fotográficos, foi possível diagnosticar entre os elementos de proteção solar: brises verticais fixos incorporados à estrutura do edifício, situados na fachada noroeste e nordeste. Assim como, brises horizontais fixos, situados na fachada noroeste. No pavimento superior percebe-se que o beiral da edificação atua também como brise horizontal.

Foi observado que os elementos de proteção solar verticais foram contemplados na etapa de projeto, porém não foi possível averiguar se sua inclusão foi realizada especificamente para controle da radiação solar ou para fins estéticos. No caso dos brises horizontais, fomos informados pelas responsáveis pela instituição que os mesmos foram recentemente instalados, em uma tentativa de reduzir o calor nos ambientes.

Sendo assim, este estudo procedeu o cálculo dos brises ideais para a edificação. O resultado do processo de cálculo apontou que o sistema de proteção solar ideal para a edificação seriam brises horizontais conjugados a brises verticais. Porém, concluiu-se que os brises atuais, ainda que instalados com carência de dimensionamento, atendem às necessidades técnicas impostas pela arquitetura da edificação e por sua orientação solar, logo, não foi sugerida sua reestruturação. No caso dos brises verticais, estes seriam de grande ajuda para bloquear o sol da tarde, entretanto, sua instalação poderia ser custosa e descaracterizaria totalmente a arquitetura da edificação. Por isso, não foram recomendados.

Foram realizadas as medições de refletância para as paredes internas brancas e azuis, divisórias, muro externo e piso. Com isso, percebeu-se que para as divisórias o valor calculado para as refletâncias se mostrou bem elevado (95%), o mesmo aconteceu para as paredes brancas, cujos cálculos apontaram um valor de 105%, o que, na verdade, não é viável, pois desta forma o elemento medido estaria refletindo uma quantidade maior de luz do que aquela que ele recebe. Sabemos que o método empregado pode levar a inconsistências nas medições e, por isso, visando não propagar erros, optou-se por empregar tanto para as paredes brancas quanto para as divisórias uma refletância de 90%.

Com base nas informações obtidas, foram realizadas ao todo 660 simulações por meio do Software DIALux, sendo estas divididas em três rodadas de simulação para cada sala:

Rodada 1 – Situação antiga. Salas sem brises horizontais.

Rodada 2 – Situação atual. Salas com brises horizontais.

Rodada 3 – Situação futura. Proposta de ampliação das janelas de todas as salas, de forma a elevar os níveis de iluminação natural.

Abaixo encontram-se listados os resultados obtidos para cada um dos ambientes analisados após a avaliação das três rodadas de simulação.

a) Salas 1 e 2 – Andar Superior

As salas em questão estão voltadas para a fachada noroeste, recebendo assim altos níveis de incidência direta de radiação solar entre as 10:30h e 15:30h, o que pode vir a prejudicar o desempenho térmico do ambiente caso as janelas não sejam devidamente sombreadas. No verão, quando a trajetória solar atinge ângulos mais elevados em relação ao horizonte, a concentração de sol ocorre especialmente na região próxima à janela, o que pode levar ao ofuscamento do usuário localizado naquela área. Neste sentido, o brise horizontal recentemente instalado atuou de maneira efetiva, protegendo a abertura e reduzindo quantidade de luz penetrante em cerca de 30%. Contudo, apesar das janelas possuírem dimensões consideráveis (2,00 m x 1,20 m), a sua área útil de iluminação (ou seja, a porção da janela que permite a passagem de luz) é reduzida, e o formato da sala de aula é retangular, com a janela localizada em seu lado mais estreito, características estas que não contribuem para uma distribuição efetiva da luz natural. Sendo assim, foi proposta uma intervenção nas esquadrias, para a aumentar sua área útil de iluminação.

A estratégia se provou eficaz para as estações mais quentes do ano, permitindo uma autonomia de luz natural durante quase todo o dia. Com isso, as lâmpadas só precisariam ser acionadas antes das 09:00h e a partir das 16:00h em dias de céu claro. No entanto, nas estações de clima mais ameno, o sol atinge inclinações mais baixas em relação ao horizonte, adentrando as salas mais profundamente. Este não é um problema para os primeiros períodos da manhã até o meio do dia, devido aos brises horizontais existentes, porém à tarde, há uma tendência de penetração de raios solares diretos, o que não é desejado. Contudo, uma vez que nas estações mais amenas a cidade de Macaé normalmente não registra temperaturas muito elevadas, sugere-se a ampliação das áreas úteis de passagem de luz natural nas esquadrias, em conjunto com a instalação de persianas confeccionadas em material com alto grau de reflexão, de forma que as mesmas possam ser operadas bloqueando a radiação solar direta nestes horários e permitindo a penetração de luz refletida e difusa no ambiente. Com isso, a sala contará com autonomia de luz natural entre 09:00h e 16:00h, especialmente no final da tarde, mesmo nas estações mais frias do ano.

Normalmente a instalação de anteparos internos, como cortinas, não são indicados para bloqueio da radiação solar, pois impedem a passagem de luz, mas não de calor. Porém, neste caso em específico, onde as temperaturas não tendem a ser elevadas no inverno, esta pode ser uma opção que apresenta boa relação custo-benefício.

b) Salas 3 e 4 – Andar Superior

As salas 3 e 4 do andar superior, ao contrário das salas 1 e 2 supracitadas, são compostas por apenas uma janela cada. Com isso, sua autonomia de luz natural tende a ser menor. Isto ocorre especialmente na sala 4, a qual é a única que apresenta uma janela com dimensões menores (1,50m x 1,20m) que as demais (2,00m x 1,20m). Sendo assim, nos dois casos, recomenda-se a ampliação da área de iluminação útil das janelas, com instalação de cortinas venezianas produzidas com material de alta refletividade. Com isso, mediante a correta operação deste instrumento, espera-se obter autonomia de luz natural no período entre 09:00h e 15:00h.

É relevante ressaltar que as salas de aula do andar superior são acessadas por meio de amplo e arejado corredor de circulação. Este conta com janelas orientadas para o Sul (direção do mar), que apesar de confrontadas frontalmente pela lateral do edifício vizinho, são naturalmente sombreadas e recebem fluxo de ar constante proveniente da brisa do mar, que fica localizado poucos metros à frente. Sendo assim, recomenda-se que estas janelas sejam mantidas constantemente abertas, assim como a porta das salas de aula. Além disso, sugere-se, em caso de intervenção maior a ser realizada na edificação, que as paredes das salas do andar superior (onde se localizam as portas das salas) recebam também uma janela. Esta nova abertura viabilizaria um maior fluxo da brisa do mar para o interior das salas, garantindo ventilação cruzada. A inclusão destas janelas também ajudaria a nivelar a distribuição da iluminação natural nas salas, pois a claridade proveniente do corredor incidiria justamente na parte mais afastada da janela principal da sala, a qual é a região mais escura da mesma.

c) Salas 1, 2 e 3 – Andar Inferior

As salas 1, 2 e 3 do andar inferior possuem praticamente as mesmas características. Mesmo formato retangular, mesmo posicionamento e tamanho das esquadrias e, por isso, serão analisadas em conjunto. Estas diferem daquelas posicionadas no andar superior, pois apesar do mesmo formato retangular, contam com maior número de esquadrias (duas janelas de 2,00m x 1,20m em cada sala), as quais encontram-se posicionadas em seu lado maior, favorecendo a distribuição de luz natural. Neste contexto, percebe-se que os brises recém-instalados contribuem para uma redução da concentração de calor no período da tarde. Além disso, algumas janelas

deste pavimento contam com brises verticais anexados à estrutura do edifício, os quais proporcionam proteção extra contra o sol de final de tarde.

A análise das simulações indicou que a configuração atual destas salas já proporciona boa autonomia de luz natural, tanto no verão quanto no inverno e, por consequência, não é recomendável aumentar a área útil de iluminação destas aberturas. Isto poderia ocasionar excesso de insolação no ambiente, especialmente no período das 10:00h às 15:00h em dias de céu claro nas estações mais frias do ano, quando o sol percorre trajetórias de menor altitude. Portanto, sugere-se, em detrimento de uma maior área de passagem de luz nas janelas, a realização de um posicionamento dinâmico das cadeiras dos alunos. Recomenda-se que nas estações mais quentes do ano as cadeiras sejam posicionadas mais próximo às janelas, de forma paralela às mesmas até o meio-dia. E no centro da sala, também de forma paralela às janelas no período da tarde. Com isso, estima-se que a iluminação artificial deverá ser acionada somente a partir das 16:30h.

Por outro lado, nas estações mais frias do ano, as cadeiras devem ser situadas também paralelamente às janelas, porém mais afastadas das mesmas, visto que nesta época o sol tende a penetrar mais fundo no ambiente, podendo gerar níveis excessivos de iluminação nas regiões próximas às janelas, causando ofuscamento. Desta forma, estima-se que a iluminação artificial deverá ser acionada no período anterior às 09:00h e após as 16:00h.

d) Sala dos Professores

Na sala dos professores a instalação dos brises horizontais foi benéfica, especialmente para as estações mais quentes. A sala em questão apresenta uma particularidade em relação as demais, uma vez que possui uma bancada molhada posicionada paralelamente e adjacente ao peitoril da janela. Com isso, os usuários posicionam-se na região mais afastada da janela, ou seja, a que apresenta menor nível de iluminação natural. Desta forma, para manter níveis aceitáveis de iluminação, as lâmpadas precisam se manter acionadas por quase todo o expediente nos meses mais quentes do ano. Por outro lado, nos meses mais frios, quando a trajetória solar é mais inclinada, os níveis de luz natural tendem a se manter aceitáveis entre as 09:00h e 15:00h. Sendo assim, uma vez que este ambiente não apresenta uso contínuo, recomenda-se a manutenção da sua estrutura atual.

e) Secretaria

Atualmente a secretaria da instituição é ocupada por uma única usuária, cuja mesa de trabalho encontra-se posicionada à esquerda da janela, a qual atualmente não conta com nenhum tipo de proteção solar. Verificou-se que, nas condições atuais, a sala proporciona bons níveis de

iluminação natural em dias de céu claro, uma vez que devido à baixa densidade de ocupação, não se faz necessário o posicionamento de estações de trabalho em regiões próximas à abertura. Contudo, a análise das simulações computacionais identificou um possível período de desconforto entre as 14:00h e 16:00h nas estações mais frias do ano, quando o nível de incidência de luz natural pode atingir valores elevados, causando ofuscamento na estação de trabalho atual.

Sendo assim, não se recomenda a ampliação da área útil de iluminação desta janela, assim como a instalação de brise horizontal sobre a mesma também não parece apresentar uma relação custo-benefício satisfatória. Portanto, sugere-se a instalação de uma cortina veneziana produzida com material de propriedade reflexiva, que deve ser acionada no período acima especificado para bloquear a incidência solar direta e permitir a passagem de luz refletida e difusa.

f) Sala da Direção

A sala da Direção apresenta características diversas das demais. É a única sala orientada para a direção nordeste, recebendo elevados níveis de radiação solar direta, especialmente no período da manhã. Uma vez que capta o sol nascente (baixa elevação em relação ao nível do horizonte), seus raios penetram profundamente no cômodo independentemente da época do ano. Este ambiente é continuamente ocupado por duas usuárias, em estações de trabalho fixas, uma posicionada perpendicularmente e adjacente à janela (captando incidência solar direta nas estações mais quentes do ano) e outra situada em frente à janela no outro lado da sala (captando incidência solar direta nos meses mais frios do ano). Ou seja, a despeito do período do ano, alguma usuária trabalhará em desconforto no período da manhã. Apesar disto, em entrevista para este projeto, as usuárias relataram que, excluindo o período matutino, as mesmas se sentem confortáveis quanto à quantidade de luz natural disponível ao longo do dia em dias de céu claro, e que frequentemente não sentem necessidade de acionar a iluminação artificial durante boa parte do expediente.

Atualmente a sala não possui brises fixos, e verificou-se que a instalação do mesmo modelo de brises recém-introduzidos nas demais janelas não seria produtivo, pois os mesmos não são adequados para bloquear o sol das primeiras horas do dia. Também foi verificado que a ampliação da área útil de iluminação das janelas aumentaria em muito o nível de radiação solar na sala, não só pela manhã, como também à tarde, o que poderia causar ofuscamento nas usuárias. Portanto, sugere-se a manutenção do tamanho atual da abertura, porém são necessárias medidas para bloquear a incidência solar pela manhã. Uma opção seria a instalação de cortinas,

porém, ao contrário das demais salas, a orientação solar desta abertura exigiria que as mesmas se mantivessem fechadas durante praticamente todo o período da manhã, obrigando o acionamento da iluminação artificial.

Sendo assim, uma opção interessante seria a instalação de um brise móvel. Neste caso, um toldo de inclinação variável atenderia às necessidades, pois permitiria seu acionamento no período da manhã, em inclinação suficiente para bloquear a radiação direta, não sendo necessária a total obstrução da abertura. Com isso, permitiria-se que a luz refletida e difusa continuasse adentrando o ambiente e garantindo um nível mínimo de autonomia de luz natural no período da manhã. Após o meio-dia o anteparo poderia ser totalmente recolhido, garantindo o máximo de luz natural até o fim da tarde. Desta forma, estima-se que as luzes artificiais só precisariam ser acionadas após as 16:00h.

Além das orientações destacadas anteriormente, existem outras estratégias que podem ser empregadas para elevar o nível de eficiência energética da instituição e torná-la mais sustentável, dentre as quais destacamos:

- **Desobstrução das aberturas** - As aberturas da edificação devem estar sempre desobstruídas de mobiliário. O posicionamento de móveis altos próximos às janelas causa interferência direta e imprevisível nos níveis de iluminação proporcionados pela luz natural. Sendo assim, recomenda-se que todo o mobiliário com altura maior que o nível do peitoril das janelas seja instalado em local afastado das mesmas. A obstrução da radiação solar direta deve ser realizada por meio de elementos específicos, como brises e/ou cortinas.
- **Operação correta das esquadrias** - A edificação estudada não possui equipamentos de ar-condicionado e, sendo assim, o controle térmico dos ambientes deve ser realizado exclusivamente por meio de estratégias passivas, o que pode se tornar um procedimento complexo, especialmente nas estações mais quentes do ano. Entretanto, sua localização próxima ao mar e sua arquitetura tradicional com elevado número de aberturas nas fachadas, norte (frente para a Avenida Nossa Senhora da Glória) e sul (Praia Campista) favorecem o emprego da ventilação cruzada. Portanto, sugere-se que as salas de aula (cômodos que apresentam maior densidade de utilização) operem sempre que possível com todas as esquadrias abertas, ou seja, janelas e portas, (as quais estão localizadas em direções opostas), de forma que a brisa constante flua pelo ambiente, reduzindo o desconforto térmico dos ocupantes. Além disso, a luz que entra pela abertura das portas também ajuda a nivelar os níveis de iluminação destes ambientes.

- **Energias renováveis** - Apesar de não integrar o escopo principal deste estudo, cabe ressaltar que a edificação conta com aproximadamente 100 m² de cobertura (estrutura de madeira com telhas cerâmicas) orientada para o Noroeste, o que favorece a instalação de painéis de geração de energia fotovoltaica. O investimento em energias renováveis poderia, a médio prazo, reduzir substancialmente as despesas com energia elétrica e também permitir a instalação de equipamentos de condicionamento de ar para amenização do clima interno em dias mais quentes, sem acréscimo de despesas com as tarifas de energia.
- **Instalação de Aquecedor Solar de Água** - Ainda levando em consideração a orientação do telhado da edificação, ressalta-se a viabilidade de instalação de equipamentos de aquecimento solar de água. Estes equipamentos de custo acessível permitem que a água seja aquecida por meio da radiação solar, dispensando o uso de gás ou energia elétrica, aumentando o nível de eficiência energética da edificação. Conforme informado pelas gestoras da instituição, em períodos normais (sem pandemia), a escola opera em regime integral e, com isso, as crianças tomam banho antes de retornar para casa. Sendo assim, dado o perfil climático de Macaé, onde o Sol impera por grande parte do ano, considera-se que o investimento neste tipo de sistema de aquecimento pode gerar economia imediata para escola.

3.3. Estudo de Caso 3 - Escola de Oratória Vox2You

A edificação objeto do estudo situa-se na Rua Abílio Moreira de Miranda, 45 – Imbetiba, edifício conhecido como Macaé Trade Center (MTC) (Figura 5). Neste endereço encontram-se em funcionamento diversas lojas e salas comerciais, dentre elas a sede da escola de oratória Vox2You em Macaé. Situada na cobertura do edifício, a empresa conta com recepção, sala administrativa e duas salas de aula, onde são ministrados os cursos.

Figura 5 – Fachada do Edifício Macaé Trade Center

Fonte: Google Street View

As duas salas de aula existentes possuem a mesma arquitetura, ou seja, mesma forma retangular, mesmas dimensões (8,00x3,50m), mesmas esquadrias (2 portas de alumínio de 1,20x2,40m), mesma distribuição dos dispositivos de iluminação artificial (4 luminárias), mesmo pé-direito (2,40m), e mesma distribuição de mobiliário. A única diferença é que as salas se encontram em fachadas opostas do prédio, uma voltada para Leste (sol nascente), e outra voltada para oeste (sol poente). Sendo assim, a sala selecionada para o estudo foi aquela voltada para o lado oeste da edificação, devido à grande incidência de radiação solar recebida entre o meio do dia e o final da tarde.

A orientação da sala selecionada (Oeste), indica que sua fachada apresenta boa captação de radiação solar, podendo gerar elevados ganhos térmicos, o que aumenta a necessidade de utilização dos equipamentos de ar-condicionado, grandes consumidores de energia. Percebe-se, inclusive, um desgaste da parede externa, decorrente da exposição constante ao sol e à chuva. Esta exposição da fachada da sala ao sol da tarde causa um sobreaquecimento do ambiente durante o seu uso no período noturno, isto porque o calor proveniente da radiação solar direta vespertina é absorvido pelos materiais da fachada e liberado gradualmente para dentro do ambiente. Com isso, caso os equipamentos de ar-condicionado não sejam acionados, os usuários experimentam uma sensação contínua de aquecimento, mesmo após o pôr do sol.

Visando a redução do impacto deste efeito estufa, propõe-se a instalação de uma proteção solar horizontal ao longo dos oito metros de fachada da sala, de forma que o sol não atinja

diretamente a sua parede. Contudo, sugere-se que ao invés da instalação de um simples telhado, utilizem-se painéis fotovoltaicos para este fim. Desta forma, além de proteger a fachada contra a insolação, a cobertura ainda gerará energia renovável, reduzindo a tarifa de energia elétrica ao mínimo.

Como a utilização do ambiente se dá em período noturno, a realização de estudo direcionado ao uso da iluminação natural torna-se desnecessário. Portanto, procedeu-se à verificação da eficiência da iluminação artificial empregada no cômodo. A etapa inicial necessária para a avaliação da iluminação artificial atualmente empregada no edifício em estudo é o levantamento do correto posicionamento de cada lâmpada ou conjunto de lâmpadas nos ambientes analisados. Para tanto, com o uso de uma trena eletrônica, foi realizada a medição *in loco* da disposição de todos os dispositivos de iluminação artificial da sala. As informações foram posteriormente modeladas no software DIALux, específico para estudos de simulação lumínica. Foi verificado que a disposição atual das lâmpadas não é favorável à disposição do mobiliário, uma vez que as cadeiras estão posicionadas ao longo do perímetro da sala, enquanto as lâmpadas estão no centro da mesma. Com isso, tende-se a uma maior concentração de luz onde teoricamente não é necessário, e a formação de penumbra na região localizada acima das cadeiras. Sendo assim, foram simuladas diversas configurações de posicionamento das lâmpadas, de forma a encontrar a melhor opção para o ambiente. Percebeu-se que a alternativa de iluminação proposta não apresenta um consumo muito menor de energia que a situação atual, porém apresenta maior rendimento lumínico, aumentando o conforto visual dos usuários.

4. Conclusões

A análise dos três estudos de caso indicou que a operação das edificações não vem considerando conceitos de eficiência energética, contribuindo para o desconforto dos usuários e gastos desnecessários com energia elétrica. Por meio das simulações computacionais realizadas, o presente trabalho demonstrou que soluções viáveis e resultados tangíveis podem ser obtidos por meio do emprego de estratégias simples e acessíveis. A substituição das atuais lâmpadas fluorescentes por lâmpadas de LED e a alteração de sua distribuição nas salas de aula do Bloco A da Cidade Universitária reduziriam em cerca de 50% o consumo de luz artificial da edificação. Resultado similar foi obtido na Escola Municipal de Educação Infantil Mai Carmen de Jesus França, onde o emprego das estratégias corretas de arquitetura bioclimática apresentam potencial de redução de até 70% no consumo de luz artificial da instituição. Na empresa Vox2You, a instalação de uma cobertura composta de painéis fotovoltaicos reduziria a incidência solar em uma de suas duas salas de aula, diminuindo a necessidade de utilização dos equipamentos de ar

condicionado em dias de temperatura mais amena, além de gerar energia renovável, de forma que a tarifa de energia elétrica fosse reduzida ao mínimo, com prazo de retorno do investimento de apenas 29 meses. Com isso, espera-se que os resultados práticos e o potencial de economia obtidos fomentem o desenvolvimento de novas pesquisas e que atraiam empreendedores que pretendam elaborar modelos de negócios com base em conceitos de eficiência energética.

Considerando o impacto positivo dos resultados obtidos, esta pesquisa apresenta alguns desdobramentos que podem ser futuramente explorados, tais como a realização de estudos em novas edificações educacionais, a aplicação da metodologia em edificações residenciais e/ou comerciais, a análise de outros aspectos da arquitetura bioclimática que influenciem diretamente no consumo energético das edificações, e a realização de medições com equipamentos específicos visando a comparação de seus resultados com aqueles obtidos por meio das simulações computacionais.

Referências:

1. WU, W.; SKYE, H.M. **Residential net-zero energy buildings: Review and perspective.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2021, 142, 110859. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110859>
2. CALISE, F.; CAPIELLO, F.L.; D'ACCADIA, M.D.; VICIDOMINI, M. **Dynamic modelling and thermoeconomic analysis of micro wind turbines and buildings integrated photovoltaic panels.** *Renewable Energy* 2020, 160, 633-652. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.06.075>
3. MOKHARA, C.; NEGROU, B.; BOUFERROUK, A.; YAO, Y.; SETTOU, N.; RAMADAN, M. **Integrated supply-demand energy management for optimal design of off-grid hybrid renewable energy systems for residential electrification in arid climates.** *Energy Conversion and Management* 2020, 221, 113192. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113192>
4. GÜL, O.; TAN, N. **Application of fractional-order voltage controller in building-integrated photovoltaic and wind turbine system.** *Measurement and Control* 2019, 52, 1145-1158. <https://doi.org/10.1177/0020294019858213>
5. LAMBERTS R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. **Eficiência energética na arquitetura.** 3ª ed.; Rio de Janeiro: Eletrobras, 2019.
6. BANCO MUNDIAL. **Urban population (%) of total population.** Disponível online em: <https://data.worldbank.org/indicator/SP.URB.TOTL.IN.ZS>, último acesso em: 14/09/2021.
7. SHAQOUR, A.; FARZANETHH.; YOSHIDA, Y.; HINOKUMA, T. **Power control and simulation of a building integrated stand-alone hybrid PV-wind-battery system in Kasuga City, Japan.** *Energy Reports* 2020, 6, 1528-1544. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2020.06.003>
8. MORAES, M.S. **Análise da viabilidade da implantação de alternativas sustentáveis em uma edificação unifamiliar em Macaé-RJ.** 118 f. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio de Janeiro - Macaé, 2021.
MACIEL, T.S.; LEITZKE, R.K.; DUARTE, C.M.; SCHRAMM, F.K.; Cunha, E.G. **Otimização termoenergética de uma edificação escolar: discussão sobre o desempenho de quarto algoritmos evolutivos multiobjetivo.** *Ambiente Construído* 2021, 21(4). <https://doi.org/10.1590/s1678-86212021000400567>
9. LEONE, C.; FLORIO, W. **Análise paramétrica de iluminação natural e de proteção solar de edifícios torcidos.** *Ambiente Construído* 2021, 21(4). <https://doi.org/10.1590/s1678-86212021000400568>
10. COSTA, L.M.; ALVAREZ, C.E.; MARTINO, J.A. **Proposta de método de projeto baseado no desempenho para edifícios energeticamente eficientes.** *Ambiente Construído* 2021, 21(2). <https://doi.org/10.1590/s1678-862120210002200533>

11. DA COSTA, B.B.F; MANHÃES, A.L.P. **Impactos da Indústria de Óleo e Gás na Mancha Urbana de Macaé-RJ**. Boletim Ciência Macaé, Macaé, v. 2, ano 1, n. 1, p. 144-146, 30 dez.2021. Disponível em:

<[https://macae.rj.gov.br/midia/uploads/Boletim%20Ci%C3%Aancia%20Maca%C3%A9%20v2%20n1%20\(2021\).pdf](https://macae.rj.gov.br/midia/uploads/Boletim%20Ci%C3%Aancia%20Maca%C3%A9%20v2%20n1%20(2021).pdf)>. Acesso em: 8 fev. 2022.