LABZERO|UNB: SIMULAÇÃO PARA O DESEMPENHO DE EDIFÍCIO DE BALANÇO ENERGÉTICO NULO EM BRASÍLIA

Thiago Montenegro Góes (1); Ayana Medeiros Dantas (2) Roberta Carolina Farias (3); Caio Frederico e Silva (4); Joára Cronemberger Ribeiro Silva (5); Cláudia David Naves Amorim (6)

(1) Doutorando, arquiteto e urbanista, thiago.goes01@ gmail.com, UnB, Campus Darcy Ribeiro, ICC Norte, Gleba A, Subsolo da FAU (SICCAC), 61 98322-8564
(2) Doutoranda, arquiteta e urbanista, medeirosayana@gmail.com, UnB, Campus Darcy Ribeiro, ICC Norte, Gleba A, Sala 150 (LACAM), 61 98197 4477
(3) Arquiteta e urbanista, robertafaria7@gmail.com, UnB, Campus Darcy Ribeiro, ICC Norte, Gleba A, Subsolo da FAU (SICCAC), 61 99807-1294
(4) Doutor, Professor do PPG FAU UnB, caiosilva@unb.br, UnB, Campus Darcy Ribeiro, ICC Norte, Gleba A, Subsolo da FAU (SICCAC), 61 98157-5708
(5) Doutora, Professora da FAU UnB, joara.cronemberger@gmail.com, UnB, Campus Darcy Ribeiro, ICC Norte, Gleba A, Sala 150 (LACAM), 61 98200-5061
(6) Doutora, Professora do PPG FAU UnB, clamorim@unb.br, UnB, Campus Darcy Ribeiro, ICC Norte, Gleba A, Sala 150 (LACAM), 61 98122-2576

RESUMO

O artigo se propõe a apresentar os resultados das análises da simulação computacional para o cálculo do desempenho ambiental do edifício LabZERO|UnB, localizado na cidade de Brasília-DF, um dos quatro projetos contemplados no edital ELETROBRAS/PROCEL para Edificações nZEB (balanço energético quase nulo). Apresentam-se os principais estudos de desempenho ambiental e energético do projeto, focando em 4 eixos: a) sistema de iluminação artificial; b) iluminação natural; c) desempenho energético e d) potencial de geração de energia fotovoltaica por meio de sistemas *on-grid* e *off-grid*. A esse fim, diversos programas foram utilizados: *Radiance*, por meio de Relux e *Honeybee*, *EnergyPlus (v. 8.9)*, via *DesignBuilder (v6.0)*, assim como SAM. As simulações do LabZERO|UnB estimaram demanda anual de energia elétrica final de 34,29 kWh/m².ano (7.1MWh/ano), correspondente a uma demanda anual de energia primária de 54,88 kWh/m².ano (11,4 MWh/ao). Verifica-se, portanto, o atendimento pleno à condição de edifício nZEB incorporando os elementos geradores de energia à plástica do edifício.

Palavras-chave: nZEB, eficiência energética, simulação computacional, energia fotovoltaica

ABSTRACT

The paper aims to present the results of the analysis of the environmental performance simulations carried in the development of the LabZERO|UnB, located in Brasília-DF, one of the four design contemplated within the ELETROBRAS/PROCEL contest for Zero-Energy Buildings (ZEB). It is presented the main environmental and energetic performance analysis carried: a) artificial lighting; b) daylight; c) energetic, and; d) on-grid and off-grid photovoltaic generation potential. For that, different kinds of software are employed: Radiance, with Relux and Honeybee, EnergyPlus (v.8.9), with DesignBuilder (v6.0), as well as SAM. The LabZERO|UnB simulations estimated an annual final electricity demand of 34.29 kWh/m².year (7.1MWh/year), corresponding to an annual primary energy demand of 54.88 kWh/m².year (11.4 MWh/year), a significantly lower value compared to office buildings in Brasilia, comparable to international successful cases. Therefore, verifies the compliance with the ZEB standard with the incorporation of PV panels as part of the building design.

Keywords: nZEB, energy efficiency, performance simulation, PV energy

1. INTRODUÇÃO

As edificações são peças centrais na transição para uma sociedade de baixo carbono, com menor impacto ambiental e eficiência energética, visto que os edifícios são responsáveis pelo consumo de 32% de toda energia gerada no mundo, equivalente a 19% das emissões de gases do efeito estufa (IPCC, 2018), além de consumir 50% de toda matéria-prima extraída pela ação antrópica (RUUSKA, HÄKKINEN, 2014). Iniciativas como os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU) (2015), a Nova Agenda Urbana (2016) e o Acordo de Paris (2015) apontam a necessidade da redução do consumo energético das edificações, geração de energias limpas e cidades e comunidades mais sustentáveis para mitigação das mudanças climáticas e crise ambiental.

As edificações com balanço energético nulo, também denominadas pelo termo em inglês *Zero-Energy Buildings* (ZEB), por definição são edificações que possuem uma demanda e geração de energia renovável equivalente no intervalo de um ano (TORCELLINI, 2006). Contudo, a equivalência entre consumo e geração não é suficiente, sendo fundamental alcançar uma redução de demanda. Para isso são necessárias estratégias de conservação e eficiência energética desde o estudo preliminar (ATHIENITIS & O'BRIEN, 2015), que também proporcionem conforto térmico e lumínico, além de minimizar o impacto ambiental da edificação na sua fase de operação. Isso inclui integração com estratégias passivas, principalmente em termos de iluminação e ventilação natural, além de uma envoltória de alto desempenho. Segundo a ASHRAE (2011), novas edificações têm potencial de redução de 50% da demanda energética em relação a edificações tradicionais somente com a adoção de estratégias de conservação e eficiência energética comercialmente disponíveis.

A esse fim, é necessário que a edificação seja concebida desde as etapas iniciais com intuito de alto desempenho e geração de energias renováveis, ao invés de contemplar somente medidas de conservação, eficiência e geração energética nas etapas finais de projeto. Isso é especialmente relevante porque são nas etapas iniciais que há maior potencial de influenciar o projeto com menos custos e retrabalho, proporcionando maior qualidade ao projeto (TOWLER & SINNOTT, 2013). Entretanto, para que isso ocorra, a metodologia de desenvolvimento de projeto deve contemplar interação e colaboração entre os diversos agentes e disciplinas que interferem no desenvolvimento do projeto, o que ocorreu na experiência do LabZero da Universidade de Brasília (LabZERO|UnB).

O projeto para o LabZERO|UnB localiza-se dentro do Parque Científico e Tecnológico da Universidade de Brasília (PCTec/UnB), que visa o desenvolvimento socioeconômico e o fortalecimento das estruturas de pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I). Em termos de partido arquitetônico, o projeto tem como premissa a adequação da arquitetura para favorecer o aproveitamento de recursos passivos, de forma adequada ao clima local, classificado como Tropical de Altitude (Zona Bioclimática 4, ABNT, 2005). Buscou-se promover uma arquitetura em conformidade com o padrão construtivo da Universidade de Brasília, destacando, na volumetria, alguns dos sistemas inovadores utilizados na edificação.

2. OBJETIVO

Apresentar os resultados das análises de desempenho ambiental da edificação por meio de uso de ferramentas de simulação computacional no desenvolvimento do processo de projeto integrado do LabZERO|UnB, um dos quatro projetos contemplados no edital ELETROBRAS/PROCEL para Edificações nZEB.

3. MÉTODO

Neste artigo, apresentam-se as principais análises de desempenho ambiental e energético do projeto do LabZERO|UnB, discutindo os desafios à implementação desse tipo de prática, como também a relevância de iniciativas de fomento à disseminação de edificações de balanço energético nulo.

Tendo em vista o caráter educativo e representativo do LabZERO|UnB, tanto interna quanto externamente, a arquitetura utiliza-se de sistemas inovadores como elementos de marco visual, no intuito de evidenciar as práticas projetuais aplicadas, como a estrutura metálica, os brises com sistemas fotovoltaicos integrados, as instalações elétricas aparentes e a integração visual entre área técnica e ambiente de trabalho. Quanto à morfologia do edifício (Figura 01), a forma alongada e pouco profunda, com fachadas maiores na orientação Norte-Sul, permite o aproveitamento da luz natural e uma proteção solar otimizada e eficaz (AMORIM; CRONEMBERGER, 2020).

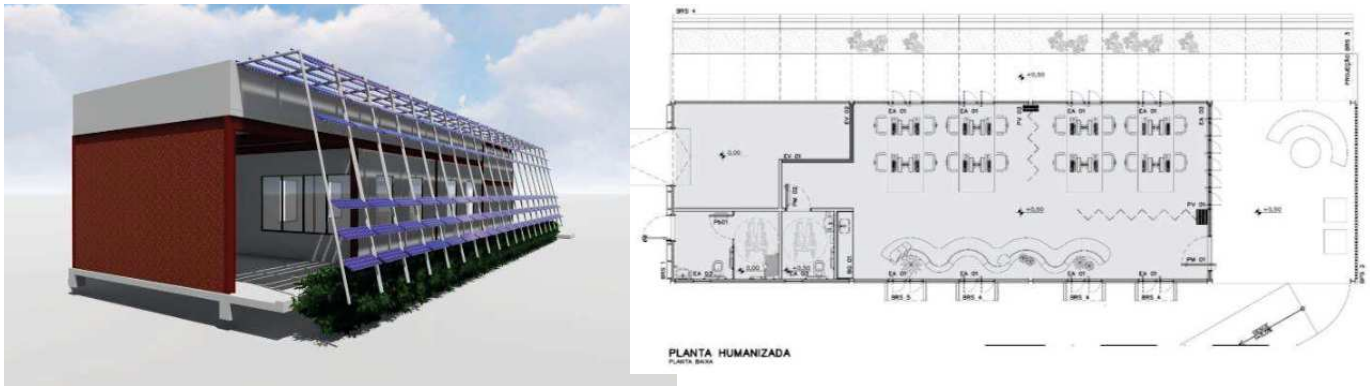

Figura 01 – Perspectiva e planta-baixa do projeto LabZERO|UnB (AMORIM; CRONEMBERGER, 2020).

Como processos complementares, além da iluminação e ventilação natural, o projeto inclui o uso de ventilação induzida (ou forçada) por uma chaminé solar com exaustores de alta eficiência. Para condições em que a ventilação natural e a indução não sejam suficientes, um conjunto de exaustores de alta eficiência com controle de velocidade é acionado, mantendo o fluxo de ar necessário para o espaço ocupado. Além dos sistemas passivos, que mantém o conforto térmico e luminoso com sombreamento, luz e ventilação naturais e outras técnicas passivas, a eficiência energética do projeto é garantida pela escolha de sistemas de iluminação artificial e condicionamento de ar eficientes, além do aquecimento solar de água. O projeto tem uso racional da água potável, aproveitamento de fontes alternativas de água, geração distribuída com gerador fotovoltaico do tipo conectado à rede, gestão de resíduos, acessibilidade e novas tecnologias.

3.1. Propostas de Análises de Desempenho

Diversos aspectos do projeto foram avaliados por meio de ferramentas de simulação computacional, não somente para estimar as demandas de consumo e geração de energia elétrica, essencial para o desenvolvimento de um projeto de uma edificação de balanço energético nulo, assim como no intuito de auxiliar a tomada de decisões em projeto e como ferramenta para vislumbrar o processo de etiquetagem da edificação.

Foram realizadas simulações para avaliações de:

i. iluminação natural,
ii. sistema de iluminação artificial,
iii. desempenho termoenergético das envoltórias,
iv. demanda de energia elétrica, e,
v. potencial de geração de energia fotovoltaica dos sistemas *on-grid* e *off-grid*.

As simulações computacionais para verificação da condição de iluminação artificial no edifício deram-se por modelagem e cálculo no software *Radiance*/*Relux*, versão 2019.3, com o objetivo de otimizar a eficiência energética do sistema, garantir taxas de iluminação adequadas, conforme NBR ISO/CIE 8995-1:2013, e servir base para avaliação energética. Os dados de entrada foram: a geometria do edifício (altura, largura, profundidade e pé direito útil); os equipamentos de iluminação artificial de cada ambiente; e a altura do plano de trabalho (70 cm).

Já para análises de iluminação natural, empregou-se o programa *Radiance* por meio da interface gráfica *Daysim*/*Honeybee*, *plugin* de *Grasshopper*/*Rhinocerous3D* (Figura 02). Para a avaliação do desempenho da iluminação natural, utilizaram-se 2 métricas: DA (*Daylight Autonomy* – ou Autonomia de Iluminação Natural) considerando 300 lux; e UDI (*Useful Daylight Iluminance* – ou Iluminância Útil da Iluminação Natural) considerando no máximo 2.000 lux[1]. Em ambos os casos o plano de medição considera a altura do plano de trabalho a 80 cm em relação ao piso e a malha de pontos distribuída a cada 50 cm. Em termos de disponibilidade de luz natural no período de ocupação da edificação, considerou-se válido o intervalo das 8h às 18h, durante todos os 12 meses do ano.

Para a análise do desempenho energético da edificação e verificação da demanda de eletricidade, utilizou-se o *EnergyPlus* 8.9, por meio da interface gráfica *DesignBuilder* 6.0 (Figura 02). A geometria do

[1] Considera-se UDI, pois assim contempla-se iluminância com reflexões, diferentemente de ASE (*Annual Sunlighht Exposure*) que considera somente insolação direta. Dessa forma, emprega-se somente limite de iluminância superior em UDI visto que o objetivo é avaliar somente a iluminação excedente, que possa prejudicar o conforto.

modelo seguiu o projeto arquitetônico e o arquivo climático é tipo Swera para a cidade de Brasília-DF. A refletância dos materiais é baseada nas orientações gerais da NBR 15.575 (2013), que define valores de absortância para cores claras como 0,4 e escuras como 0,7. Piso e teto foram modelados como escuros, enquanto as demais superfícies foram definidas como claras. Apesar de realizados diversos testes, os vidros apresentados neste artigo são de característica simples com transmissão luminosa de 0,87. A caracterização dos sistemas construtivos segue padrões da NBR 15.220 (2005), com Weber *et al.* (2017) de referência para modelagem no *EnergyPlus*. A composição de vedação vertical externa é proveniente de Sudbrack (2017), com paredes externas de fibrocimento e lã de rocha (0,89 W/m²K), além de cobertura composta por telha metálica com isolamento (0,80 W/m²K), cavidade ventilada (10 ren/h) e laje *steel deck* (3,16 W/m²K)[2].

Quanto aos equipamentos de composição elétrica, a potência instalada segue como referência o RTQ-C, com exceção da iluminação que respeita o projeto luminotécnico apresentado na análise do sistema de iluminação artificial. A rotina de uso é das 8h às 22h para os 5 dias da semana. Com exceção à área de *coworking*, as demais zonas possuem provimento de ventilação natural. Os banheiros, área técnica e varanda utilizam-se do modelo de rede de ventilação (*airflow network*). A taxa de abertura das esquadrias é de 88%, conforme projeto. Já para cobertura e torre de caixa d'água utiliza-se uma taxa constante de 10 renovações por hora. Na área de *coworking*, opta-se por uma situação mais conservadora em termos de consumo de energia, com o emprego de sistema de condicionado artificial com um *setpoint* de 24°C da temperatura operativa dentro da zona e não há *setback* durante todo período de uso. O coeficiente de performance (CoP) do sistema de condicionamento artificial é de 5,00. Além disso, há controle da iluminação artificial, com *setpoints* de 150 lux para a área de varanda e 300 lux para o *coworking*.

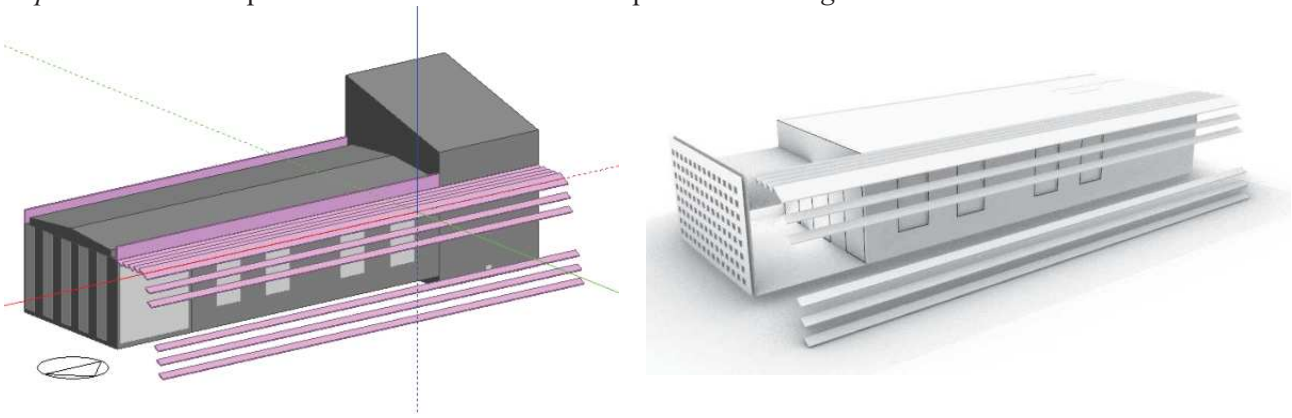

Figura 02 – À esquerda, modelagem no DesignBuilder e à direita modelagem no Rhinocerus 3D (AMORIM; CRONEMBERGER, 2020).

Para análise do potencial de geração de energia fotovoltaica utilizou-se o software SAM do *National Renewable Energy Laboratory* (NREL). Foram projetados 2 sistemas fotovoltaicos distintos: um campo fotovoltaico do tipo conectado à rede pública de distribuição (*on-grid*), integrado à cobertura da área técnica da edificação, orientado à Norte, com inclinação de 15◦. O outro sistema fotovoltaico foi concebido como um campo integrado ao desenho dos brises que dão sombra à fachada Norte – utilizando um banco de baterias para armazenamento (*off-grid*), e não estará conectado diretamente à rede pública. Esse desenho inusual tem por objetivo atender a pesquisas futuras relacionadas com gestão de energia pelo lado da demanda.

Considerou-se um sistema com 12 módulos TRINASOLAR TSM-DE15MII-400W TALLMAX de 400 Wp de silício monocristalino para o sistema *on-grid* e painéis YINGLI YL100P-17B 2/3 36 CÉLULAS POLICRISTALINO 100W com medidas 2,5x66x101cm e 100W de potência nas condições de teste padrão STC para o sistema *off-grid*. Para o cálculo, utilizou-se a metodologia de Pinho e Galdino (2014).

[2] A camada de ar da cobertura é modelada como uma zona térmica, o que divide o sistema em três elementos, por isso os valores de transmitância separados. A partir do cálculo do manual da transmitância segundo a NBR 15.220 (2005) o valor total da transmitância da telha, cavidade e laje é de 0,58 W/m²K.

4. RESULTADOS

Os resultados das análises de desempenho ambiental e energético do projeto do LabZERO|UnB por meio de simulação são apresentados nos itens a seguir, assim como a verificação do balanço energético da edificação.

4.1. Análise da Iluminação Natural

A simulação de iluminação natural evidencia a disponibilidade abundante desse recurso na área de *coworking*, conforme mostra o mapa de *Daylight Autonomy* (Figura 03). Há uma predominância de autonomia de luz natural no ambiente superior a 80% das horas do ano com mais de 300 lux. Valores de iluminância acima de 2.000 lux, que podem acarretar ofuscamento e cargas térmicas excessivas, são pontuais e inferiores a 40% do tempo. Além disso, estão concentradas exclusivamente junto às aberturas, conforme ilustrado na Figura 04.

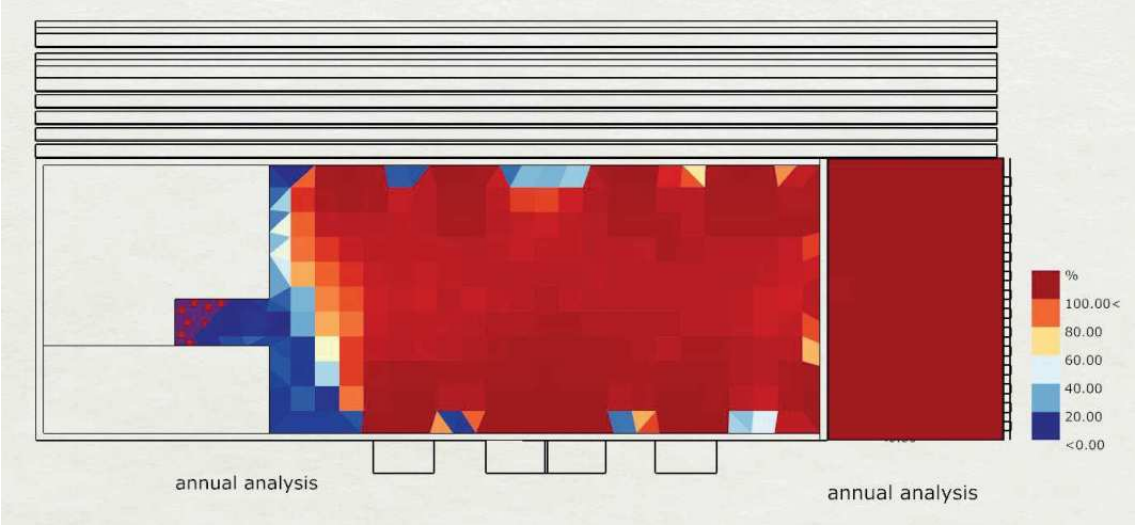

Figura 03 - Mapa de Daylight Autonomy (DA) de 300 lux para área de Coworking e Varanda (AMORIM; CRONEMBERGER, 2020).

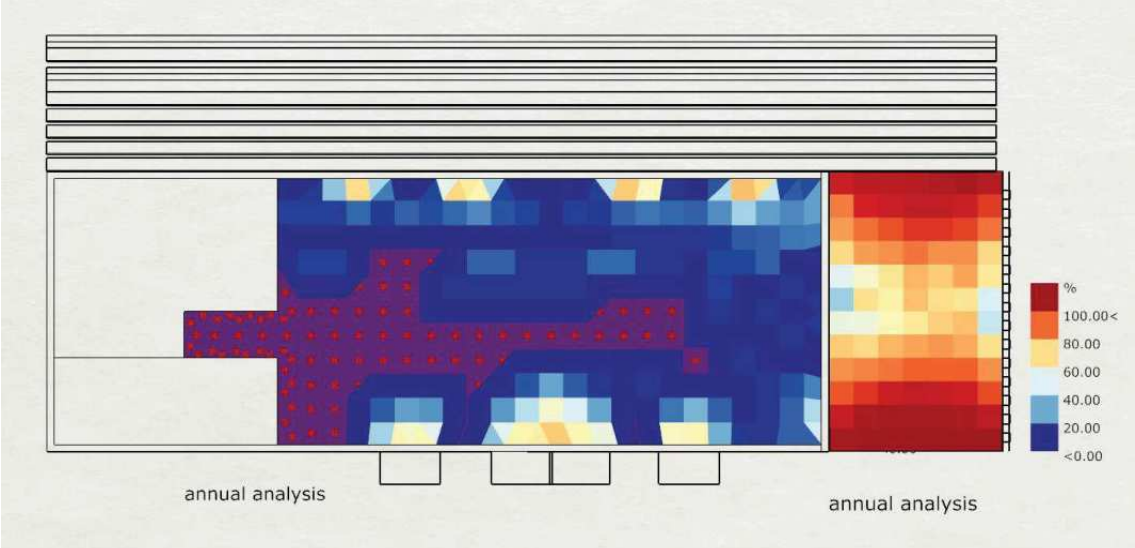

Figura 04 - Mapa de Useful Daylight Illuminance (UDI) acima de 2.000 lux para área de Coworking e Varanda (AMORIM; CRONEMBERGER, 2020).

No geral, os resultados apresentam-se satisfatórios quanto à alta disponibilidade de luz natural durante o período diurno na ocupação dos ambientes por praticamente todo o ano. Valores com autonomia de 300 lux inferior a 80% do tempo são pontuais (atrás de parede e em cômodos como copa e corredor, que em parte não possuem alta demanda de iluminância). Da mesma forma, a compensação para atingir níveis mais altos, como 500 lux nos planos de trabalho, pode ser contemplada pelas luminárias de trabalho previstas no projeto luminotécnico. Além disso, vale ressaltar que seria altamente restritivo demandar que todo o ambiente fosse

atendido pelos 500 lux. Em termos de ofuscamento em potencial, a análise de *Useful Daylight Illuminance* de 2.000 lux, indica excessos pontuais, próximos as janelas, que eventualmente podem ser equacionados com uso de sistemas simples de proteção solar, como persianas. Já na área externa e varanda, naturalmente há índices maiores, especialmente nas extremidades da edificação, onde provavelmente se beneficiaria de algum tipo de proteção maior nesses pontos.

4.2. Análise do Sistema de Iluminação Artificial

A adoção de soluções de alta eficiência possibilitou a iluminância média de 411 lux no ambiente *coworking*, como indicam as simulações no *Relux*. Contudo, nas estações de trabalho, é prevista a utilização de luminárias de tarefa que aumentam a iluminância para 500 lux em média, conforme exigido pela norma NBR ISO/CIE 8995-1:2013.

Desta forma, o projeto prevê um total de 54 luminárias, considerando todas as áreas e ambientes, com potência total de 801W e densidade de potência instalada (DPI) de 3,87 W/m². A iluminação de trabalho, necessária para suprir a demanda mínima de iluminância requerida pela NBR ISO/CIE 8995-1:2013, acarreta um aumento de 1W/m², o que eleva o DPI a 4,87 W/m². Ainda assim, esse desempenho é consideravelmente superior ao limite estimado pela etiqueta A, conforme classificação PBE Edifica PROCEL. Tal fato demonstra, em parte, o potencial de redução de DPI com a aplicação de equipamentos de alta eficiência.

Essa baixa DPI, aliada com o sistema de controle e automação com sensores e dimerização do sistema de integração entre iluminação natural e artificial, possibilita maior aproveitamento da disponibilidade luz natural e redução significativa no consumo de energia. Esses elementos são contemplados e verificados posteriormente na avaliação por meio de simulação do desempenho energético.

4.3. Análise do Desempenho Energético

Os resultados do consumo de energia da edificação pressupõem um cenário conservador, com condicionamento artificial da área de *coworking* durante todo seu tempo de ocupação. Contudo, a proposta real da edificação prevê condicionamento somente nos momentos em que não há provimento de conforto térmico, especialmente pelo grande potencial de uso de estratégias passivas. Entretanto é prudente assumir uma postura conservadora para garantir o objetivo de uma edificação com balanço energético nulo.

Visto o potencial de aproveitamento da luz natural, a baixa demanda por iluminação artificial, a envoltória de alto desempenho e equipamento de condicionamento de ar eficiente, é possível obter um consumo energético de 34,30 kWh/m².ano, como demonstra a Tabela 01. Somente como critério de comparação, o valor obtido é consideravelmente inferior aos padrões para ambientes corporativos em Brasília-DF levantados por Costa, Oliveira e Amorim (2017), que demonstra um consumo médio de 131 kWh/m².ano.

Tabela 01 - Dados de consumo por usos finais e total por ano e por ano por metro quadrado para toda edificação.

Usos Finais	**Consumo Anual de energia elétrica (kWh/ano)**	**Consumo Anual de energia elétrica (kWh/m².ano)**	**Porcentagem (%)**
Equipamentos	3451,13	16,67	49
Iluminação	874,20	4,22	12
Condicionamento de ar	2773,95	13,40	39
Total	7099,28	34,30	100

(AMORIM; CRONEMBERGER, 2020)

Dessa forma, a divisão do consumo por uso final, conforme Figura 05, é consideravelmente diferente em comparação ao consumo típico para edifícios comerciais previsto pela Eletrobras (2007). Ao contrário de praticamente metade (47%) de o consumo energético ser relativo ao sistema de condicionamento, no LabZERO|UnB o sistema de condicionamento corresponde a 39%. Vale destacar que essa redução poderia ser ainda mais significativa caso fosse empregado um cenário menos conservador quanto ao uso de ar-condicionado. Contudo, uma maior redução é verificada no sistema de iluminação artificial, de 22% para 12%.

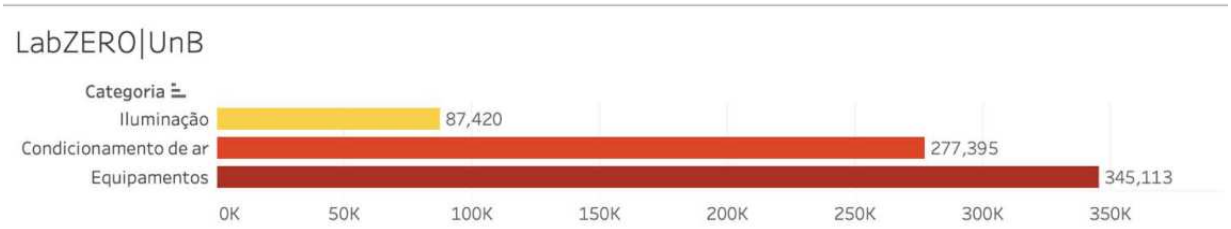

Figura 05 - Gráfico com as porcentagens de consumo por usos finais com a redução do consumo do sistema de condicionamento (AMORIM; CRONEMBERGER, 2020).

Quanto as demais cargas (equipamentos), a demanda ultrapassa os 31% previsto pela Eletrobras (2007), alcançando 49% no LabZERO|UnB. Esse percentual não traduz um aumento quantitativo desse tipo de carga e sim que sua participação na matriz energética do edifício em estudo é maior. Em parte, justifica-se pelo fato dos sistemas de condicionamento de ar e iluminação como principal enfoque destes estudos, sendo diretamente ligados a arquitetura. Para o cálculo de demanda energética dos demais equipamentos elétricos foi mantido o padrão como *default*. De acordo com o próprio conceito de eficiência da edificação, provavelmente os equipamentos adotados também seguirão padrões de alta eficiência, o que reduz sua demanda. Entretanto, como a proposta é de buscar um cenário mais conservador, não se contemplou essa redução para estas análises de desempenho ambiental e energético na etapa de projeto.

4.4. Análise do Potencial de Geração de Energia Fotovoltaica

O gráfico da Figura 06, apresenta os resultados de potencial de geração de energia fotovoltaica para os 2 sistemas (*on-grid* e *off-grid*), enquanto a Tabela 02, apresenta os valores totais. Observa-se que o sistema *on-grid* colocado na cobertura possui geração significativamente superior ao sistema *off-grid*, locado nos *brises*, respectivamente de 7.933 kWh/ano e 4.155 kWh/ano, o que totaliza 12.088 kWh/ano.

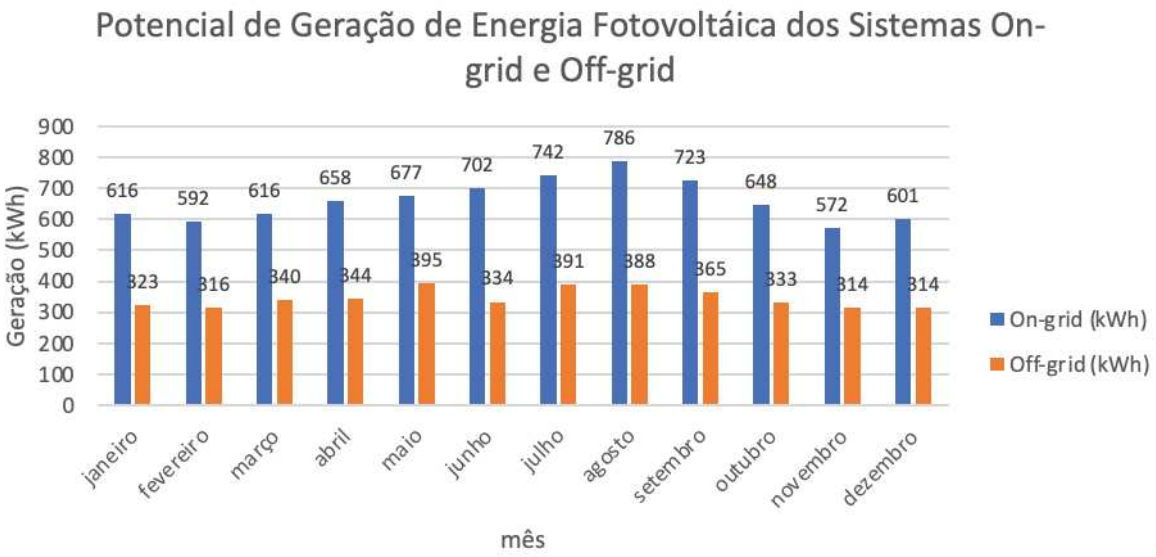

Figura 06 - Geração de energia fotovoltaica Labzero UnB (AMORIM; CRONEMBERGER, 2020).

Tabela 02 – Valores totais do potencial de geração de energia fotovoltaica nos sistemas *on-grid* e *off-grid*.

	On-grid (kWh)	**Off-grid (kWh)**	**Total (kWh)**
Geração	7933,02	4155,18	12088,2

4.5. Análise do Balanço Energético

O gráfico da Figura 07 apresenta o balanço energético entre consumo e geração. Mesmo ao considerar o consumo mais conservador, com emprego do sistema de condicionamento durante todo período de ocupação, o consumo previsto do edifício é de 34,29 kWh/m².ano, enquanto a geração de energia alcança 58,39 kWh/m².ano. Verifica-se, portanto, o atendimento pleno à condição de edifício nZEB (balanço energético

quase nulo). Propõe-se, inclusive, que a energia gerada excedente seja utilizada no abastecimento de bicicletas elétricas, bem como para compensação na rede, auxiliando no abastecimento de outros edifícios do campus da Universidade de Brasília.

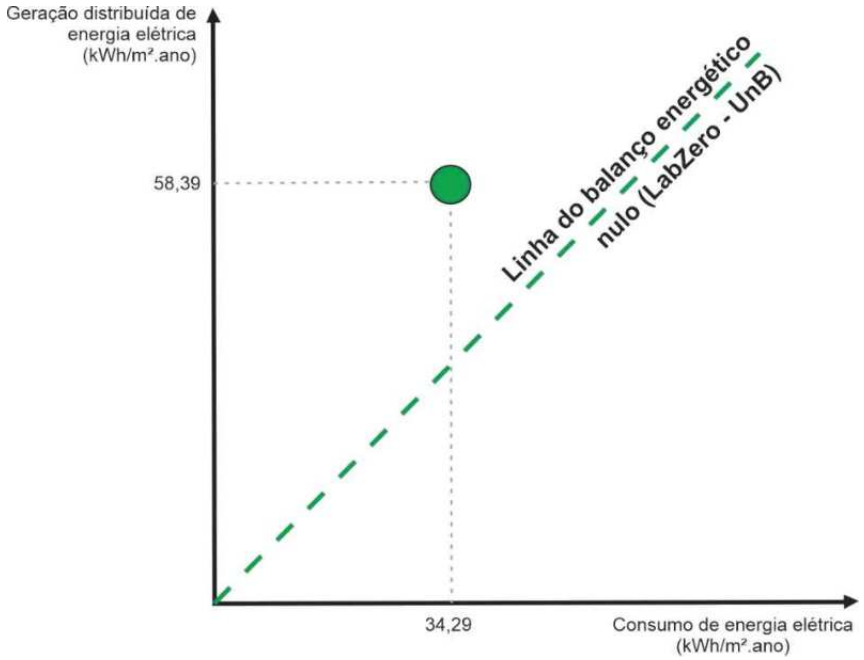

Figura 07 - Gráfico do balanço energético entre consumo e geração da edificação (AMORIM; CRONEMBERGER, 2020).

5. CONCLUSÕES

As ferramentas de análise do desempenho ambiental e energético por meio de simulações computacionais demonstram-se peças-chaves no potencial de verificação do balanço energético nulo de uma edificação, assim como elementos fundamentais na tomada de decisão de projeto, ao funcionar como recurso de articulação e integração do método de projeto. Com deste tipo de ferramenta estima-se com assertividade os resultados de desempenho.

O LabZERO|UnB é além de uma edificação de balanço energético nulo, um projeto com potencial de atingir um balanço energético positivo, com geração anual superior ao seu consumo, com demanda de 34,29 kWh/m².ano e geração de 54,88 kWh/m².ano, o que representa potencial para tornar-se um edifício com balanço energético positivo com 60% de margem. Esse resultado ocorre mesmo com hipóteses conservadoras de redução de consumo – como uso constante de condicionamento artificial, mesmo com potencial passivo e equipamentos de escritórios com eficiência regular. Dessa forma, a redução do padrão de consumo de energia de 131 kWh/m².ano para 34 kWh/m².ano deve-se, sobretudo, às soluções ligadas às características do projeto arquitetônico, como forma, envoltória, quantidade e orientação de abertura, aliadas a sistemas de alto desempenho de iluminação artificial e condicionamento mecânico. Isso indica a vantagem de se contemplar as demandas de performance ambiental desde os primeiros estudos do projeto para se atingir edifícios de alto desempenho.

Espera-se que a execução LabZERO|UnB, assim como a própria iniciativa do edital da ELETROBRAS/PROCEL, seja um marco no desenvolvimento de edificações de alto desempenho energético no Brasil e especificamente das edificações de balanço energético nulo. Contudo, nota-se a necessidade de incorporar ferramentas de análise de desempenho ambiental e energético no escopo do desenvolvimento de projeto arquitetônico desde as etapas preliminares, mantendo em mente, também, as fases de operação e monitoramento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220-3: **Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social.** Rio de Janeiro, 2005.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edificações Habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO/CIE 9885-1**: Iluminação de Ambientes de Trabalho – Parte 1: Interior. Rio de Janeiro, 2013.

AMORIM. C. N.D.; CRONEMBERGER, J. **Proposta de Projeto de Edificação de Balanço Energético Nulo – NZEB. LabZERO|UnB - Memorial Descritivo**. Universidade de Brasília, Brasília, 2020.

ASHRAE – AMERICAN SOCIETY OF HEATING. **Advanced Energy Design Guide for Small to Medium Office Buildings: Achieving 50% Energy Savings Toward a Net Zero Energy Building.** American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. 2011

ATHIENITIS, A.; O´BRIEN, W. **Modelling, Design and Optimization of Net-Zero Energy Buildings**. Ernst & Sohn, Berlim, Alemanha, 2015.

COSTA, J. F. W.; OLIVEIRA, N. P. R. de; AMORIM, C. N. D. **Morphological characteristics and energy consumption of office buildings in the central area of Brasilia.** In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE, 33., 2017, Edinburgh. Proceedings. [Edinburgh]: NCEUB, 2017. v. 2, p.2507-2514. Disponível em: . Acesso em: 6 set. 2018

ELETROBRAS. **Avaliação do mercado de eficiência energética no Brasil: sumário executivo – ano base 2005**. Eletrobras. 2007

ELETROBRAS. **Edital de Chamada Pública NZEB Brasil**. Rio de Janeiro, 2019.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **Relatório especial**. 48ª Sessão. Incheon, 2018. Disponível em: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/07/SPM-Portuguese-version.pdf Acesso em: 02/04/2021.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAES. **Acordo de Paris.** COP21. Paris, 2015. Disponível em: https://unfccc.int/documents/9064 Acesso em: 02/04/2021.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAES. **Nova Agenda Urbana.** Habitat III. Quito, 2016. Disponível em: https://habitat3.org/wp-content/uploads/NUA-Portuguese.pdf Acesso em: 02/04/2021.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAES. **Transformando Nosso Mundo: a Agenda 203 para o Desenvolvimento Sustentável**. Cúpula das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável. Nova York, 2015. Disponível em: https://www.br.undp.org/content/brazil/pt/home/post-2015.html Acesso em: 02/04/2021

PBE EDIFICA. **RTQ-C: Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicos**. Brasília: PROCEL Edifica, 2010.

PINHO, T. T., GALDINO, M. A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. CEPEL – CRESEB, Rio de Janeiro, 2014

RUUSKA, A.; HÄKKINEN, T. Material Efficiency of Building Construction. Buildings, n.4, p 266-294, 2014.

SUDBRACK, Larissa Olivier. **Casa Zero: diretrizes de projeto para casas pré-fabricadas de balanço energético nulo em Brasília.** 2017. 214 f., il. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

TORCELLINI, P.; PLESS, S.; DERU, M. **Zero Energy Buildings: A critical look at the Definition**. Conference Paper NREL/CP-550-398333, Califórnia, US. 2006. Disponível em: <https://www.nrel.gov/docs/fy06osti/39833.pdf>

TOWLER, G.; SINNOTT, R. **Chemical Engineering: Design Principles, Practice and Economics of Plant and Process Design**. Elsevier. 2013.

WEBER, F. S., MELO, A. P., MARINOSKI, D. L., GUTHS, S., LAMBERTS, R. **Desenvolvimento de um modelo equivalente de avalição 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 (LabEEE). Universidade Federal de Santa Catarina. Agosto, 2017.