XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído
XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído
JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

USO DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL NO PROCESSO DE PROJETO ARQUITETÔNICO INDUSTRIAL *ZEB* EM BRASÍLIA

Roberta Carolina A. Faria (1); Thiago Montenegro Goes (2); Caio Frederico e Silva (3)
(1) Arquiteta, Graduada pela Universidade de Brasília, robertacfaria7@gmail.com, Universidade de Brasília , Campus Darcy Ribeiro, ICC Norte, SiCAC-FAU, cep: 70910-900, (61) 99807-1294
(2) Arquiteto, Doutorando pela Universidade de Brasília, tgoes@hotmail.com, Universidade de Brasília , Campus Darcy Ribeiro, ICC Norte, SiCAC-FAU, cep: 70910-900, (61) 98322-8564.
(3) Doutor, Professor, caiosilva@unb.br, Universidade de Brasília, Campus Darcy Ribeiro, ICC Norte, SiCAC-FAU, cep: 70910-900, (61) 98157-5708

RESUMO

Este artigo tem como objetivo apresentar análises termoenergética e lumínica desenvolvidas com o uso de simulação computacional no processo de projeto de edifício industrial com o objetivo de atingir um balanço energético nulo para o contexto de Brasília – Distrito Federal (DF). O método usado durante as análises foi a integração de simulações computacionais com as etapas tradicionais de projeto de arquitetura, sendo elas: estudo preliminar, anteprojeto e complementares com a finalidade de validar as estratégias passivas de design para alcançar um edifício *Zero Energy Building* (*ZEB*). Para isto, as simulações foram feitas por meio do software *DesignBuilder* (versão 5.5) onde avaliou-se três indicadores principais, tais como Percentual de Horas Ocupadas em Conforto (POC), *Daylighting* e consumo de energia (*Fuel Totals*). Também apresenta-se a análise volumétrica do galpão industrial a qual contribuiu para as avaliações do projeto quanto à sua orientação, geometria, materiais de fechamento, dimensionamento das aberturas, iluminação natural e ventilação natural. Os resultados mostram que os usos dos materiais aliados às estratégias passivas de climatização e iluminação propostas para o edifício diminuíram 71% do consumo de energia ao longo do projeto. Além disso, com a instalação de 1.000 módulos fotovoltaicos de 405 W de potência o edifício passa a produzir 7.450.380,00 KWh, sendo, portanto, categorizado como um *ZEB, cumprindo a premissa do projeto*.
Palavras-chave: Eficiência energética, Simulação computacional, Galpão, *ZEB* e *DesignBuilder*.

ABSTRACT

This paper presents a thermal-energetic analysis process aided by computer simulation during an industrial architecture project based on low energy consumption in Brasilia – Federal District (DF). The method used during the analysis was integrate thermal-energetic simulations with traditional steps of architectural projects, such as, preliminary study, pre-project and advanced towards the complementary part, which will validate the design strategies to achieve a Zero Energy Building (ZEB). Therefore, the simulations were made by DesignBuilder software (5.5 version) where were validate three following performance indicators: comfort percentage of occupied hours (POC), daylighting and energy consumption. Towards, some building characteristics, such as orientation, geometry, materials, openings, natural lighting and natural ventilation was validated in a 3D model of the industrial project. In summary, the simulation results show that the passive strategies designed for the building decreased 71% of energy consumption and also with 1.000 photovoltaic modules with 405W power installed the building could produce 7,450,378.00 KWh, being characterized as a ZEB, as the purpose of the project.
Keywords: Energy efficiency, Computer Simulation, Pavillion, Zero Energy Building and DesignBuilder

1. INTRODUÇÃO

A revolução digital causa impacto em diversas áreas de produção da sociedade contemporânea, dentre elas se enquadra a arquitetura. O emprego de ferramentas digitais ocasiona uma transformação disruptiva na forma de se projetar, já que possibilita uma compreensão baseada em evidências do ambiente construído por meio de avaliações qualitativas e quantitativas, devido ao emprego de simulações computacionais (KOLAREVIC 2003 apud NARDELLI, 2007), (KOLAREVIC, 2005). Dessa forma, é possível melhorar a tomada de decisão de um projeto de arquitetura por meio da avaliação da performance do edifício, antes mesmo de sua construção, inclusive avaliando a performance energética e ambiental (BURKE, KEELER, 2010, HANSEN e LAMBERTS, 2011, ATHIENITIS, O'BRIEN, 2015). Portanto, análises a partir de ferramentas de simulação auxiliam as decisões de projeto baseado em evidência, de forma mais consciente (ATTIA et al. 2012). Essas ferramentas de simulação conferem maior precisão e agilidade à aquisição dos resultados (SCALCO et al., 2010), o que pode ser muito benéfico desde as fases iniciais de projeto, visto que as decisões que possuem maior impacto na performance ambiental e energética da edificação são tomadas ainda nas fases de concepção preliminar do projeto arquitetônico.

Essa capacidade de avaliação é extremamente relevante no contexto global atual de conservação ambiental e da integração do homem ao meio ambiente. Isso decorre do impacto que as construções causam ao meio ambiente, visto que as edificações consomem durante seu ciclo de vida 50% de toda matéria-prima extraída da natureza (RUUSKA e HÄKKINEN, 2014). Quanto ao consumo de energia elétrica, durante a fase de operação, as edificações são responsáveis pelo consumo de 47% no cenário nacional e 70% de toda energia elétrica gerada no mundo (PESSOA *et al*., 2013), o que representa um quarto das emissões de CO_2 antrópicas mundiais (IPCC, 2007).

Para produzir uma arquitetura que respeite essas demandas energéticas, Corbella e Yannas (2003) afirmam que a adequada associação do edifício com entorno promove uma redução do consumo de energia, o que é fundamental na busca de uma arquitetura mais sustentável. As decisões de projeto influenciam diretamente todo o ciclo de vida das edificações, que consequentemente causam impacto na degradação ambiental. Aspectos como forma, técnicas construtivas e materiais empregados estão estritamente ligados ao consumo energético das edificações (OLGYAY, OLGYAY, 1963, NABONI et al., 2015).

Nesse sentido, nas últimas décadas cresce o emprego de certificações ambientais de terceira parte na indústria da construção (REICHARDT et al., 2012), que contribui com a busca por edificações mais sustentáveis, significando edificações com melhor desempenho, especialmente, no sentido energético. Desde o início do século XX almejam-se metas ambiciosas como o conceito de edificações de balanço energético nulo (*Zero Energy Building - ZEB*) (TORCELLINI *et al.*, 2006), inclusive com compromissos internacionais para atingir tais metas na Europa e nos Estados Unidos. Além disso, já existem iniciativas sobre eficiência energética na esfera nacional, tais como o Plano Nacional de Eficiência Energética, elaborado pelo MME (2011), e o Projeto 3E (MMA, 2010). De acordo com Torcellini *et al.* (2006), uma boa definição de edifício *ZEB* é aquela que foca inicialmente em diminuição da demanda energética por meio de conservação e eficientização energética para depois fazer o uso de sistemas renováveis de energia disponíveis no local. Para isso, é de grande importância que seja elaborado um estudo de caracterização do entorno e do clima, para incorporação de estratégias passivas antes de implementar o uso de estratégias ativas. Um exemplo de arquitetura *ZEB* é o *EcoCommercial Building (ECB)* em Noida na Índia, o qual reduziu 40% de energia, em comparação com os padrões da ASHRAE 90.1-2004, utilizando estratégias passivas de design associando tecnologias de automação nas proteções solares e foram instalados sistemas fotovoltaicos. (RAKHEJA, 2013)

A introdução de um estilo arquitetônico voltado à melhoria do desempenho energético de edifícios está quase sempre atrelada à tecnologia utilizada no desenvolvimento dos projetos. Athienitis e O'brien, (2015) argumentam que as ferramentas de simulação computacional são instrumentos fundamentais para a obtenção desses objetivos, especialmente se empregadas desde as fases iniciais de projeto, como forma a fornecer *feedbacks* para se ter maior embasamento nas tomadas de decisão. Neste sentido, Lamberts *et al.* (2005) discutem que as complexas ferramentas existentes e a falta de programas nacionais são as principais causas da pouca utilização de tecnologias digitais no Brasil.

Sendo assim, o presente artigo almeja incorporar o emprego de simulações computacionais no desenvolvimento de projeto de uma edificação industrial *ZEB* no contexto climático de Brasília. A pertinência do estudo da tipologia industrial se deve ao grande consumo energético desse setor. Além disso, o clima ameno de Brasília se mostra muito adequado à implementação de uma edificação *ZEB* e propício ao uso de estratégias passivas para proporcionar conforto, pelo potencial de geração de energia fotovoltaica devido à alta radiação solar (DOMINGOS 2014, apud SUDBRACK, 2017). Neste sentido, tentou-se explorar

o clima local de Brasília como um forte condicionante de projeto para atingir um balanço energético nulo no projeto da tipologia industrial.

2. OBJETIVO

O objetivo desse artigo é apresentar a metodologia de desenvolvimento do projeto arquitetônico de uma edificação industrial *ZEB* no contexto climático de Brasília por meio do uso de ferramentas de simulação ambiental desde as etapas iniciais de projeto.

3. MÉTODO

O método proposto para o desenvolvimento do projeto arquitetônico da edificação industrial *ZEB* se apoia no uso de ferramentas de simulação da iluminação natural (*daylighting*) e termoenergéticas, nas etapas de estudo preliminar, anteprojeto e avançando na parte dos complementares. O software em uso é o *DesignBuilder* (versão 5.5) com interface gráfica tanto para *EnergyPlus* (versão 8.5), para a realização das simulações termoenergéticas, como para o *Radiance* (2017) que faz análises de iluminação natural utilizando a metodologia matemática de cálculo Monte Carlo. O fluxo desse trabalho se estabelece em três fases, sendo elas o estudo preliminar, anteprojeto e complementares. Para a etapa de estudo preliminar (1) avalia-se o impacto dos parâmetros de orientação e volumetria, gerando um primeiro insumo de informação relativo ao consumo energético inicial. A partir do valor obtido na fase anterior, é escolhido uma geometria base para avançar na fase de anteprojeto (2), onde serão avaliados os materiais de fechamento opaco e translúcido em seu caráter de conforto térmico e lumínico. Avaliam-se os materiais opacos através da NBR 15.220 e os materiais translúcidos com os indicadores de Percentual de Horas Ocupadas em Conforto (POC) e *daylighting*. Por fim, na etapa de complementares (3), com o uso do dado de consumo de energia final, é feito o balanço energético a partir da geração de energia com as fotovoltaicas estimadas. O método de trabalho descrito está esquematizado na Figura 1 a seguir:

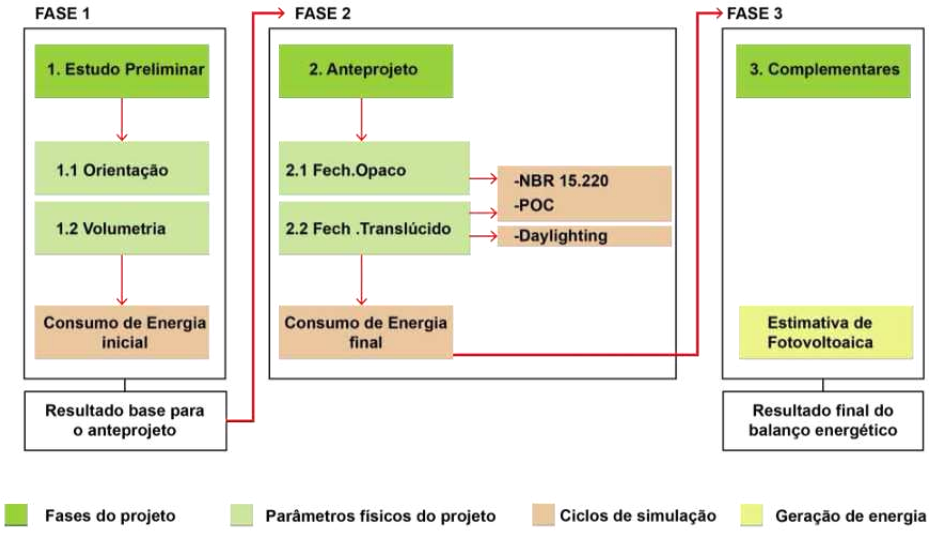

Figura 1 – Esquema gráfico sobre o método. (Fonte: Elaboração dos autores.)

3.1. Consumo de Energia Inicial – Estudo Preliminar

Na fase de estudo preliminar, realizam-se análises de estratégias passivas relacionadas a orientação e volumetria do edifício. Analisa-se o consumo energético de três propostas de volumetria distintas com a mesma área útil, de 15.428,15m^2, conforme Figura 2. Apesar de tradicionalmente considerar-se a melhor implantação com as maiores fachadas voltadas ao sentido norte e sul, opta-se pela implantação das mesmas a leste e oeste em virtude do formato do lote e da logística linear da produção industrial no layout do galpão, como apresentado na Figura 2 e 3.

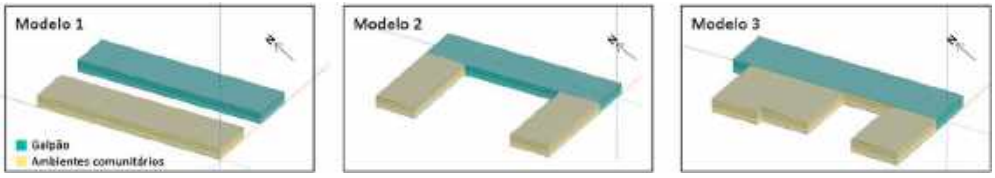

Figura 2 – Propostas de implantação e volumetrias. (Fonte: Elaboração dos autores com *DesignBuilder.*)

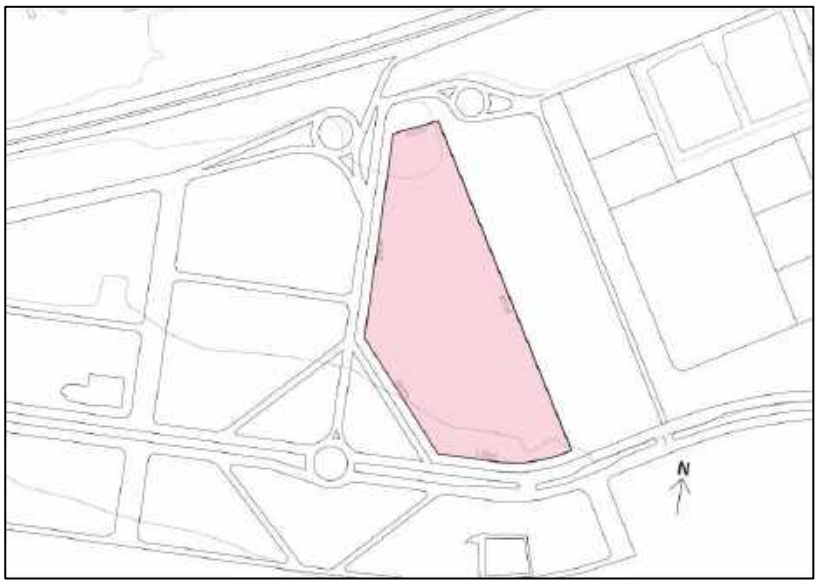

Figura 3 – Geometria do terreno no SIA trecho 17 rua 4, Brasília/DF. (Fonte: Elaboração dos autores)

3.2. Fechamento opaco e translúcido: NBR 15.220 e POC - Anteprojeto

A partir dos resultados da fase anterior, tem-se a definição da orientação e volumetria e assim parte-se à escolha dos sistemas construtivos dos fechamentos opacos e translúcidos. Para a definição do sistema construtivo do fechamento opaco, utiliza-se chapas metálicas com elementos de isolamento termo acústico, como recomendado pela cartilha do Ministério das Cidades e do Meio Ambiente (2008), conforme o detalhamento da Figura 4. O sistema de fechamento opaco apresenta transmitância de 1,65 W/m²K, logo a absortância deve ser inferior a 0,6, conforme recomendação da NBR 15.220 à zona climática 4, onde se inclui Brasília. Sendo assim, define-se a cor branca para o revestimento externo, com absortância de 0,3, de acordo com Dornelles (2008).



NBR 15220

Zona Bioclimática	U Transmitância Térmica	CT Capacidade Térmica
1	U ≤ 2,3	
2		
3	U ≤ 2,3 se α ≤ 0,6 E U ≤ 1,5 se α > 0,6	CT ≥ 130
4		
5		
6		
7	U ≤ 2,3 FV se α ≤ 0,4 E U ≤ 1,5 FV se α > 0,4	
8		sem exigência

Figura 4 – à esquerda, camadas do sistema de fechamento opaco (Fonte: *DesignBuilder* v.5.5) e à direita, caracterização das propriedades termo físicas (Fonte: website Projeteee-MMA, 2019)

Já para o estudo do sistema de fechamento translúcido, avaliam-se diferentes tipos de vidro, por meio da avaliação do Percentual das Horas Ocupadas em Conforto (POC), especialmente porque utilizam-se aberturas zenitais no projeto do galpão para a passagem de luz natural, como ilustrado na Figura 5. Ao se estimar o conforto de uma planta industrial durante o projeto arquitetônico é possível estabelecer as melhores estratégias de design em função do clima, o que contribui para a diminuição da carga energética do edifício.

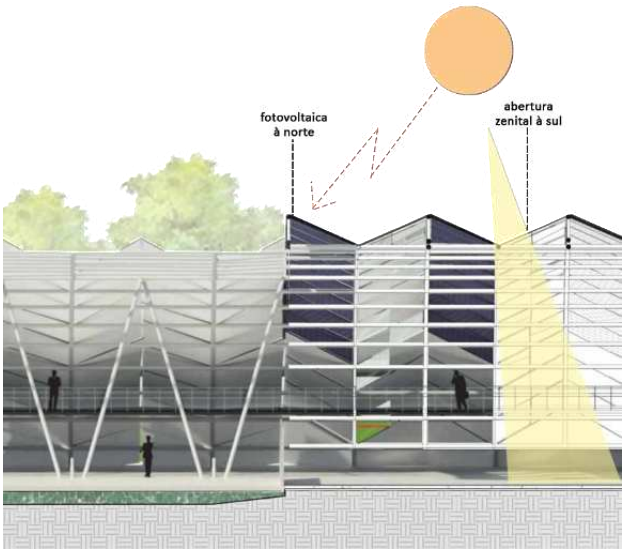

Figura 5 – Corte esquemático com abertura zenital e fotovoltaica. (Fonte: Faria, 2018.)

Para isso, realiza-se uma simulação de análise de conforto de 8.760 horas ocupadas no ano simulado no *DesignBuilder*, e com o uso do modelo de conforto adaptativo de De Dear e Brager (2002) a partir da fórmula da Temperatura Neutra (TN) exposta na Equação 1 e utiliza-se voto médio predito (PMV) de ±2,5ºC. De acordo com Assis e Pereira (2010), devido à dificuldade de se estimar um PMV em climas tropicais, alguns autores brasileiros estão adotando diferentes índices adaptativos de forma mais simples que podem ser utilizados em fases iniciais dos projetos arquitetônicos.

Equação 1 – Temperatura Neutra (DE DEAR e BRAGER, 2002)

$$TN = 17,8 + 0,310T_{ar}$$

Onde:

TN é a temperatura neutra (°C);
Tar é temperatura do ar (°C).

3.3. *Daylighting* - Anteprojeto

A partir da avaliação de POC pôde-se escolher o vidro ideal para o projeto, e assim, analisar se a quantidade de luz natural incidente no galpão, que de acordo com a NBR 5413 o valor ideal é de 1000-2000lux para galpão, está adequada ao projeto. Sendo assim, foi feito uma análise de *daylighting* com o *Radiance,* que calcula a distribuição de iluminância (lux) em um determinado plano de trabalho, e *DesignBuilder* versão 5.5 que é a interface de configuração de toda a análise. Dentre os tipos de análise de daylighting, utiliza-se *daylight fator* como tipo de *input* e considera-se o método de céu *Standard sky* e o modelo de céu *CIE overcast day* para a simulação.

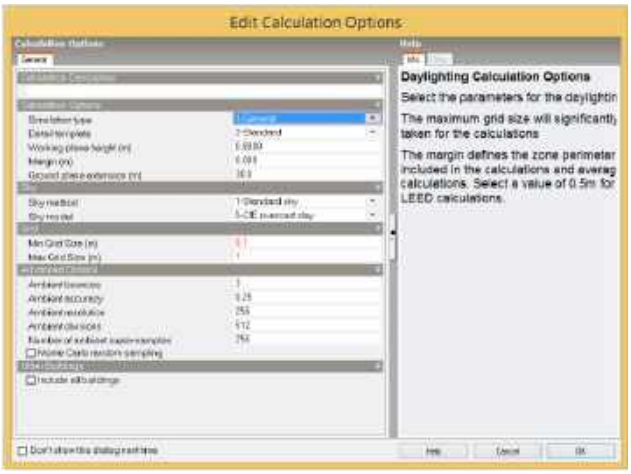

Figura 6 – Configuração da análise de *Daylighting*. (Fonte: *DesignBuilder v.5.5*, 2018.)

4. RESULTADOS

Durante o processo de projeto foram obtidos quatro resultados importantes antes de se obter a informação do balanço energético final do edifício, sendo eles o consumo energético inicial, em função da geometria e orientação, o POC; análise lumínica e consumo final de energia, que fornece o valor base para a estimativa de fotovoltaicas. Os dados são organizados em 4 tópicos detalhados a seguir.

4.1. Orientação e Geometria

Mostra-se na Figura 7 abaixo o decaimento do consumo de energia e isso ocorre pelas mudanças feitas na geometria do edifício. Dessa forma, opta-se em prosseguir com o modelo 3 que possui o menor consumo energético, sendo ele de 3,5 GWh anual, equivalente à 226,85Kwh/m^2 anual.

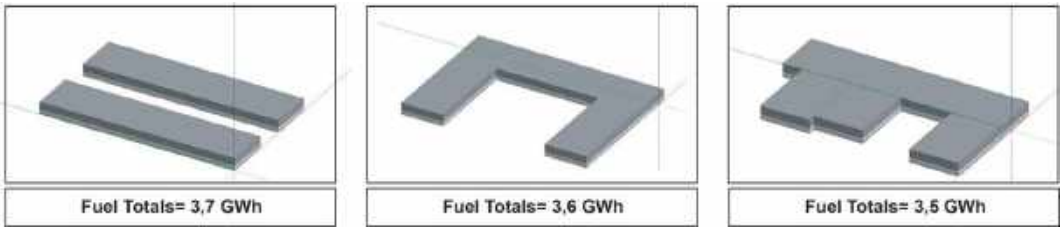

Figura 7 - Comparativo de análise Fuel Totals de Modelos 1,2 e 3 - Estudo Preliminar (Fonte: *DesignBuilder* v.5.5, 2018)

4.2. Percentual de Horas Ocupadas em Conforto (POC)

Para a avaliação do POC testam-se dois tipos de vidros como parâmetro de avaliação, sendo eles vidro simples monolítico de 3 mm e vidro duplo de 6 mm. Os resultados obtidos a partir da planilha de conforto gerada pelo *DesignBuilder* foram que: para o vidro simples o projeto obtém 79% de horas de conforto no ano e para o vidro duplo 81% de horas de conforto no ano, como mostrado na Tabela 1. Com essa conclusão da análise de POC especificou-se o vidro duplo de 6 mm para o projeto do galpão industrial.

Tabela 1 – Comparativo de análise POC para o tipo do vidro.

Vidro simples 3mm	**Vidro duplo 6mm**
U= 5,70W/m2-k	U= 3,03W/m2-k
6955 horas de conforto	7094 horas de conforto
79%	**81%**

4.3. *Daylighting*

Ao analisar a incidência lumínica do projeto do galpão, verificou-se na norma NBR 5413 que a quantidade de lux ideal para um espaço de classe B, que se refere aos edifícios de cunho industrial e galpão é de 1000-2000lux. Sendo assim, o resultado obtido nessa simulação confirmou que cerca de 80% da área do edifício de galpão recebe iluminação natural suficiente e adequada à norma brasileira, como apresentado na Figura 8 abaixo. Dessa forma, para a análise de consumo de energia total do projeto, pôde-se desconsiderar o uso de iluminação artificial no período diurno da indústria.

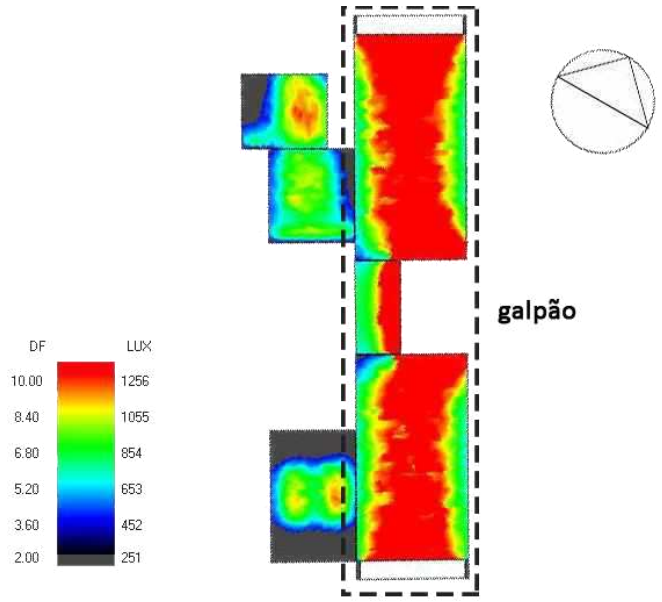

Figura 8 – Resultado da análise de *Daylighting* do galpão. (Fonte: *DesignBuilder* v.5.5, 2018)

4.4. Consumo Energético (*Fuel Totals*)

O resultado da análise de *Fuel Totals*, a qual indica o consumo total de energia do edifício a partir da configuração dos parâmetros no software, estão disponibilizados no Tabela 2 abaixo. A média de consumo final anual foi de 1.004.398,00KWh o que corresponde à 65,10KWh/m^2.

Tabela 2 – Parâmetros de simulação – Fuel Totals

Parâmetros de simulação
Iluminação artificial desligada no galpão
Ventilação natural ligada
Ar condicionado desligado no galpão
Transmitância: U= 1,65 W/m2-K
Vidro duplo 6 mm

Com esse resultado é possível comparar o consumo energético analisado na etapa de estudo preliminar e o consumo final após feitas as especificações de materiais, resultando na diminuição de 71% do consumo energético total anual.

4.5. Fotovoltaicas

O resultado dessa pesquisa por meio do *DesignBuilder* mostrou que para Brasília a tecnologia mais eficaz seriam as fotovoltaicas. Com isso, foi feito uma pesquisa de mercado a fim de especificar um equipamento de alto desempenho e encontrou-se um módulo fotovoltaico de 405W de potência instalada. Foi utilizado no cálculo uma média de incidência solar de 14 horas diárias em 365 dias do ano. Por fim, foi feita uma previsão de geração de energia com as fotovoltaicas para a especificação quantitativa dos módulos como mostrado na Tabela 3, abaixo. E tentando aproximar-se da real demanda energética da indústria foram propostas a alocação de quatro fornos e três paletizadoras que consomem, juntos com o edifício, 7,450,378.00 KWh/ano. Sendo assim para que o edifício obtenha características *ZEB* foi estimada a alocação de 1000 módulos fotovoltaicos.

Tabela 3 – Estimativa de Fotovoltaicas (Canadian)

Fotovoltaicas	
1 Módulo – 405W produz 1,458 KWh	
Qtd. Módulos	Produção KWh (Anual)
150	1.117.557,00
500	3.725.190,00
800	5.960.304,00
1000	7.450.380,00

Apesar de se propor o uso de 1.000 módulos fotovoltaicos seria necessário adaptar esse projeto para a legislação vigente do Brasil. Atualmente, a Resolução Normativa nº. 482/2012 (ANEEL, 2012) é a regente dos serviços de micro e minigeração de energia com sistema de compensação energética. Para que o projeto se adeque à legislação brasileira atual em função de poder ser uma distribuidora de energia é necessário que seja produzido até 5MW, tornando-se uma central de minigeração distribuída. Dessa forma, o edifício teria que produzir menos energia para poder conseguir distribuir parte do que foi gerado, e consequentemente não conseguiria suprir sua própria demanda energética, diminuindo a eficiência do sistema *ZEB* proposto em projeto.

O resumo dos resultados obtidos nas análises está sendo apresentado na Figura 9 a seguir:

	1. Estudo Preliminar	2. Anteprojeto	3. Fotovoltaicas
Consumo de Energia Inicial	226,85 KWh/m2	-	-
NBR 15.220	-	-U=1,65W/m2.k -α=0,3	-
POC	-	81%	-
Daylighting	-	80% da área c/ luz natural	-
Consumo de Energia Final	-	65,10KWh/m2	-
Produção de Energia Final	-	-	-1000 módulos; -7.450.378,00KWh

Figura 9– Resultados obtidos nas simulações.



Figura 10 –Projeto final após estudos. (Fonte: Elaboração dos autores.)

5. CONCLUSÕES

Em primeiro lugar, pode-se concluir que a aplicação da simulação computacional no processo de projeto arquitetônico contribuiu para decisões mais assertivas de projetos de edifício de balanço energético nulo, tendo em vista o resultado do decaimento do consumo de energia em 71% do projeto. A estruturação no processo de projeto inserindo as simulações termoenergéticas durante as etapas tradicionais de projeto aproxima a utilização dessas ferramentas pelos profissionais da área oferecendo uma validação de decisões projetuais. Com a utilização dessa metodologia de projeto o edifício pode ser categorizado como *ZEB* devido a diminuição da demanda energética do edifício e a instalação de fotovoltaicas.

Este método de trabalho permitiu antecipar problemas de projeto que poderiam elevar o custo inicial da obra, além de aumentar o valor com o consumo de energia em função de um mau dimensionamento de equipamentos para iluminação e ventilação. Além disso, com a obtenção dos resultados, foi possível desenvolver o projeto, gradativamente, a outros estudos que foram respondendo às demandas relativas a cada fase de projeto. Como exemplo, nas análises dos fechamentos translúcidos, etapa onde houve a dúvida sobre

a quantidade e a qualidade do material aplicado e, após comprovar a melhor solução, validou-se as condições visuais para assim estabelecer um parâmetro de análise de consumo energético final.

As limitações da pesquisa foram, em relação a falta de especificação dos equipamentos utilizados na planta industrial, e a falta de tempo para iniciar e finalizar a fase executiva do projeto devido a sua complexidade. Também em relação a aplicabilidade do conceito *ZEB* no Brasil, pois hoje em dia, para se projetar edifícios com produção de energia no país é necessário se adaptar às demandas da legislação nacional e a infraestrutura de distribuição e transmissão de energia para se conseguir compartilhar a energia produzida.

Os próximos passos em relação a pesquisa passam pela aplicação do mesmo método em outros projetos arquitetônicos, a fim de que a validação através de simulações energéticas possa fazer parte da rotina de um projeto de arquitetura de forma fluida. Assim, obtendo-se mais construções com melhores desempenhos energéticos e que gerem menores impactos ao meio ambiente. Sobre a legislação voltada para produção e distribuição de energia, será necessário a atualização dos normativos vigentes para absorver as novas demandas de construções *ZEB* de forma a incentivar a geração de energia limpa e de construções com baixo impacto ambiental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2**: Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005a.

ANEEL –AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa nº 428, de 17 de abril de 2012**. Disponível em: < http://www2.aneel.gov.br/cedoc/bren2012482.pdf>

ASSIS, E. S.; PEREIRA, I.M. **Avaliações de modelos de índices adaptativos para uso no projeto arquitetônico bioclimático**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 10, n.1, p.31-51. 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ac/v10n1/v10n1a02.pdf>

ATHIENITIS, A.; O'BRIEN, W. **Modeling, Design and Optimization of Net-Zero Energy Buildings**. Ernst & Sohn GmbH & Co. ISBN 978-3-433-03083-7, p. 107-133, 2015.

ATTIA, S, HENSEN, JLM., BELTRÁN, L., DE HERDE, A. **Selection Criteria for Building Performance Simulation Tools: Contrasting Architects and Engineers Needs.** Journal of Building Simulation Performance. V. 5 Issue 3. 2012https://doi.org/10.1080/19401493.2010.549573

BRASIL. Ministério da Cidade. Ministério do Meio ambiente. **Elementos para a organização da coleta seletiva e projeto dos galpões de triagem**. Brasília, 2008. 32 p.

CORBELLA, O.; YANNAS, S. **Em busca de uma Arquitetura Sustentável para os trópicos**. Rio de Janeiro: Revan, 2009.

DOMINGOS, Lucas; KALZ, Dorren; DINKEL, Arnulf; LOMARDO, Louise; SILVA, Vanessa. **Definição de uma classificação climática para o estudo de edificações com balanço anual zero de energia no Brasil**. XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente construído, p.213-222, novembro de 2014, Maceió.

DORNELLES, K.A. Absortância **Solar de superfícies opacas: Métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e PVA.** Dissertação (Doutorado em Engenharia Civil) Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

FARIA, Roberta C. A. **Centro Integrado de Reciclagem de Vidro NZEB**. 2018. 73 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília. 2018.

HENSEN, J. L. M.; LAMBERTS, R. **Building Performance Simulation for Design and Operation**. Inglaterra: Spon Press, 2011.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Mitigation of Climate Change**. Bangkok, 2007.

KEELER, M.; BURKE, B. **Fundamentos de projeto de edificações sustentáveis.** Tradução técnica: Alexandre Salvaterra. Porto Alegre: Bookman, 2010.

KOLAREVIC, B. Prologue. In: **Performative Architecture Beyond Instrumentality**. KOLAREVIC B., MALKAWI A. M. (org.). Estados Unidos: Spon Press. 2005.

LAMBERTS, R.; MENDES, N; NETO, J.A.B.C; WESPHAL, F.S. **Uso de instrumentos computacionais para análise de desempenho térmico e energético de edificações no Brasil.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v.5, n.4, p. 47-68. 2005. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Roberto_Lamberts/publication/282716114_Uso_de_instrumentos_computacionais_para_analise_do_desempenho_termico_e_energetico_de_edificacoes_no_Brasil/links/59317121aca272fc55f78e17/Uso-de-instrumentos-computacionais-para-analise-do-desempenho-termico-e-energetico-de-edificacoes-no-Brasil.pdf>

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **PROJETEEE.** Disponível em: <http://projeteee.mma.gov.br> Acesso em: 28/01/2019.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Projeto 3E**. Disponível em <http://www.mma.gov.br/component/k2/item/10577-p-r-o-j-e-t-o-3e> Acesso em: 10/05/2019

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Plano Nacional de Eficiência Energética – PNEF Premissas e Diretrizes Básicas**. Disponível em:<http://www.mme.gov.br/documents/10584/1432134/Plano+Nacional+Efici%C3%AAncia+Energ%C3%A9tica+%28PDF%29/74cc9843-cda5-4427-b623-b8d094ebf863?version=1.1> Acesso em: 10/05/2019

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

NARDELLI, E.S. Arquitetura e projeto na era digital. **Arquitetura revista,** São Leopoldo, v. 3, n.1,p. 28-36. 2007. Disponível em: <http://www.redalyc.org/pdf/1936/193615506003.pdf>

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

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

RADIANCE. **Manual Pages.** Disponível em : <https://www.radianceonline.org/learning/documentation/manual-pages/pdfs/manpages.pdf> Acesso: 10/05/2019

RAKHEJA, A. **Adapting to climate – case study: EcoCommercial Building, Noida, India**. 2013. Disponível em: < http://www.hpbmagazine.org/attachments/article/11842/13F-EcoCommercial-Building-Noida-Uttar-Pradesh-India.pdf>

REICHARDT, A., FUERST, F., ROTTKE, N., ZIETZ, J. **Sustainable Building Certification and the Rent Premium: A Panel Data Approach**. Journal of Real Estate Research: V. 34, No. 1, 99-126. 2012.

RUUSKA, A., HÄKKINEN, T. **Material efficiency of building construction.** Buildings 4, 266-294; doi:10.3390/buildings4030266. Traduzido pelo autor, 2004.

SCALCO, V. A., PEREIRA, F. O. R., RIGATTI, D. **Impacto de novas edificações na vizinhança: proposta de método para a análise das condições de iluminação natural e de insolação.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 10, n. 2, p. 171-187, abr./jun. 2010.

SUDBRACK, L.O. **Casa Zero: Diretrizes de projeto para casas pré-fabricadas de balanço energético nulo em Brasília.** 2017.242 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) Faculdade de 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

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Apoio a Pesquisa do Distrito Federal (FAP DF) pelo apoio na aquisição da licença do software para o desenvolvimento das simulações do projeto.