DA PESQUISA AO PROJETO: EDIFÍCIO DE BALANÇO ENERGÉTICO NULO - O CASO DO LABZERO|UNB

Cláudia Naves David Amorim (1); Joara Cronemberger Ribeiro Silva (2); Caio Frederico e Silva (2); Ayana Dantas de Medeiros (3); Thiago Montenegro Góes (3); João Manoel Dias Pimenta (4); Marco Antonio Egito (4); Adolfo Bauchspiess (4); Loana Nunes Velasco (5)
(1) Doutora, Arquiteta e Urbanista, clamorim@unb.br, Universidade de Brasília, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte, Brasília-DF, (61) 3107 7454
(2) Doutores, Arquitetos e Urbanistas, joaracronemberger@gmail.com, caiosilva@unb.br, FAU, Universidade de Brasília, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte, Brasília-DF
(3) Mestres, Arquitetos e Urbanistas, Doutorandos do Programa de Pós-Graduação da FAU-UnB, medeirosayana@gmail.com, tgoes@hotmail.com
(4) Doutores, Engenheiros, pimenta@unb.br, egito@ene.unb.br, adolfobs@gmail.com Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte, Brasília-DF
(5) Doutora, Engenheira, loana.velasco@gmail.com, Universidade de Brasília, Campus Gama, Gama, DF

RESUMO
Um edifício de balanço energético nulo ou quase nulo (*nearly zero energy building* - NZEB) é projetado para ser energeticamente eficiente e capaz de gerar energia a partir de fontes renováveis para suprir sua própria demanda anual. No entanto, a concepção de tais edifícios exige uma combinação complexa de conhecimentos e expertises e, sobretudo, uma organização adequada para aplicação nas diversas etapas de projeto, em um processo de projeto integrado. Este artigo tem por objetivo apresentar a experiência de concepção projetual de um edifício NZEB, contemplado pela chamada pública NZEB Procel Edifica 2019, a ser construído no campus da Universidade de Brasília, intitulado LabZERO|UnB. O método constou de definição da equipe de projetistas e do processo de projeto integrado, estabelecimento de pressupostos e diretrizes para o projeto, risco preliminar, simulações computacionais iniciais, anteprojeto, projeto básico e simulações e cálculos finais para a síntese do desempenho energético. Como resultados, nesta experiência de concepção projetual, o processo de projeto integrado, utilizado como metodologia, mostrou-se eficiente e evidenciou a possibilidade de transpor experiências de pesquisa para a prática de projeto. Destacam-se ainda as barreiras e potencialidades relacionadas à coordenação de uma equipe multidisciplinar. A partir deste processo integrado, tem-se um projeto completo de uma nova edificação NZEB que foi submetida e selecionada para financiamento de sua construção. A concepção do edifício de 200m² funcionará como escritório colaborativo para grupos de pesquisa da UnB. A geração distribuída de energia elétrica no sistema fotovoltaico instalado na cobertura e área lateral foi estimada em 58,29 kWh/m².ano (superior à demanda estimada em 34.29 kWh/m².ano). Assim, demonstra-se o real alcance do balanço energético nulo por meio de estratégias arquitetônicas simples, de acordo com o clima da zona bioclimática.
Palavras-chave: balanço energético nulo, arquitetura, processo de projeto integrado, simulação computacional.

ABSTRACT
A nearly zero energy building (NZEB) is designed to be energy efficient and capable of generating energy from renewable sources to compensate for its own annual demand. However, the design of such buildings requires a complex combination of knowledge, expertise and, above all, an adequate organization for application of an Integrated Design Process (IDP), throughout its various design stages. This article aims to present the project design experience of LabZERO|UnB, a NZEB building awarded in the public call NZEB Procel Edifica 2019, to be built on the campus of the University of Brasília. The method consisted of defining the design team and the integrated design process, establishing assumptions and guidelines for the project, schematic design, initial computer simulations, design development, simulations, and final calculations for the synthesis of energy performance. As a result of the work process, the Integrated Design Process (IDP), used as a methodology, proved to be efficient and underlined the possibility of translating research experiences into the design practice. The barriers and potentialities related to the coordination of a multidisciplinary team stand out, as well as the organization, planning and achievement of goals. The LabZERO|UnB project succeeded in

the public call, its construction was selected to be financed. The design concept of the 200m² building sought will function as a collaborative office for research groups. The distributed generation of electricity in the photovoltaic system installed on the roof and louvres was estimated at 58.29 kWh/m².year (more than the annual final electricity demand of 34.29 kWh/m².year). This process indicates the real possibility of reaching the zero energy balance objectives, using simple architectural strategies compromised with local climate.
Keywords: nearly zero energy building, architecture, integrated design process, computational simulation.

1. INTRODUÇÃO

Os edifícios de balanço energético nulo ou quase nulo (*nearly zero energybuilding* – NZEB) são edificações de alta eficiência energética com geração distribuída associada, de fonte renovável, que alcançam um balanço anual energético próximo à zero (PROCEL Edifica, 2019). A ideia de ZEB surgiu nos anos 90 e tornou-se parte das políticas energéticas de diversos países: na Europa, a *EU Directive on Energy Performance of Buildings* (EPBD) estabeleceu o objetivo de todos os edifícios serem *nearly zero energy* até 2020; o *Building Technologies Program* do *US Department of Energy*, estabeleceu *zero energy homes* até 2020 e edifícios comerciais *zero energy* até 2025. Para o estado norte-americano da Califórnia, as metas são ainda mais ambiciosas: todos os novos edifícios comerciais e 50% dos existentes deverão ser ZEBs até 2030 (KEELER; BURKE, 2010). Além disso, esta categoria edilícia está alinhada aos objetivos do desenvolvimento sustentável 7 e 11.

Segundo Athienitis e O´Brien (2015), os NZEBs caracterizam-se por um projeto e operação rigorosos do edifício como sistema energético integrado, com bom ambiente interno adequado à sua função. Alguns pontos fundamentais são citados: abordagem integrada da eficiência energética, projeto passivo e ativo e operação do edifício; e otimização da coleta solar, exigindo projeto do edifício e telhados utilizados para a conversão em energia elétrica, calor útil e iluminação natural. A Tabela 1 apresenta a diferença de concepção de projeto e operação entre edifícios convencionais e edifícios NZEB.

Tabela 1 - Projeto e operação de edifícios NZEB versus edifícios convencionais.

PROJETO E OPERAÇÃO DOS SISTEMAS DO EDIFÍCIO	EDIFÍCIOS CONVENCIONAIS	EDIFÍCIOS NZEB
Envoltória/materiais do edifício	Passivos, não projetados como um sistema energético	Otimizados em projeto passivo integrado com sistemas solares ativos
Aquecimento, Ventilação e Condicionamento de Ar (AVAC)	Grandes sistemas super dimensionados	Pequenos sistemas AVAC otimizados, integrados com sistemas solares, combinando aquecimento e potência, armazenamento sazonal e energia distrital
Sistemas solares/geração renovável- Tecnologias para Energia Renovável (TER)	Sem integração sistemática – um pensamento posterior	Totalmente integrados: iluminação natural, solar térmico, fotovoltaico, solar híbrido, sistemas geotérmicos, biocombustíveis integrados com micro redes inteligentes
Sistemas de automação predial	Sistemas de automação predial não utilizados efetivamente	Controles prediais para otimizar desempenho
Projeto e operação	Projeto e operação de edifícios considerados à parte	Projeto e operação de edifícios totalmente integrados e otimizados, atendendo ao conforto ambiental

Fonte: Adaptado de Athienitis e O´Brien, 2015

Nota-se que a característica deste tipo de edificação envolve um projeto que integra sistemas passivos e ativos, além da especificação de sistemas de ventilação e condicionamento de ar otimizados, conectando luz natural e geração de energia. Por outro lado, a prática de projeto deve mudar de um processo tradicional linear para uma abordagem colaborativa entre arquitetos, engenheiros estruturais, mecânicos e eletricistas, além de outros profissionais. Por definição, o Processo de Projeto Integrado (PPI) orienta a tomada de decisões em diversas especialidades profissionais, envolvendo o uso de recursos naturais, consumo de energia e a obtenção de qualidade ambiental (KELLER; BURKE, 2010; ATHIENITIS; O'BRIEN, 2015). Kwok e Grondzik (2007) definem o PPI como aquele que envolve várias disciplinas de modo sinérgico, para produzir edificações mais eficientes, responsáveis e com um custo de ciclo de vida mais baixo. Já Keeler e Burke (2010) o conceituam como sinônimo de projeto sustentável. Os autores ressaltam que no caso do projeto integrado é importante compreender as variáveis do projeto como um todo unificado, envolvendo decisões sobre o consumo de energia, recursos naturais e a qualidade ambiental.

As principais características do projeto integrado são:

- Processo iterativo, não linear: em contraste com o processo de projeto convencional (linear), onde os membros da equipe trabalham isoladamente, o PPI promove ciclos de *feedback* crescentes entre todos;

- Colaboração e inovação: é essencial que todos os participantes dividam a mesma visão do projeto desde o início, para fornecer *inputs* e *feedbacks* ao resto da equipe. Os colaboradores do projeto podem ser

solicitados a trabalhar em tarefas fora de seu objetivo usual. O PPI encoraja todos a dividir o aprendizado e aperfeiçoar o processo como um todo;

- Equipe multidisciplinar: de maneira ideal, o PPI inclui todos os *stakeholders* em um projeto, que deverão estar presentes desde os estágios iniciais de trabalho, fornecendo sua própria *expertise* para o processo de projeto. Pode haver outros consultores, a depender das necessidades específicas de cada projeto (ATHIENITIS; O'BRIEN, 2015).

Os referidos autores mencionam estratégias e questões ligadas ao projeto do edifício NZEB mencionando a questão projetual, enumerando as fases iterativas de concepção em Projeto Conceitual, Desenvolvimento do Projeto e Projeto Técnico, conforme apresentado na Figura 1.



Figura 1 - Fases iterativas do processo de projeto NZEB. Fonte: adaptado de Athienitis; O´Brien, 2015

Outro aspecto mencionado pelos mesmos autores está relacionado a questões técnicas e de pesquisa, onde em especial tratam dos modelos de simulação computacional a serem utilizados. Ressalta-se a importância dos insumos de pesquisas a serem aplicados durante o processo de projeto, ou seja, o desenvolvimento de um projeto NZEB exige conhecimento e pesquisa prévia, em especial nos casos de prazos restritos. Gonçalves e Bode (2015) afirmam que neste tipo de projeto, a simulação computacional tornou-se etapa obrigatória no processo, adicionando complexidade, mas favorecendo o aprimoramento do projeto.

Mendes e Amorim (2020) relatam uma experiência de aplicação dos conceitos de Projeto Integrado em disciplina da pós-graduação, durante a qual empregou-se o método proposto por Athienitis e O´Brien (2015) com dois fatores cruciais: objetivos de projeto bem definidos e compartilhados por toda a equipe e; presença de um facilitador (coordenador), que organiza o tom da colaboração e comunicações efetivas durante o processo de projeto. Também ocorreu a formação de equipes de especialistas nos diversos temas a serem abordados no projeto, com estabelecimento de reuniões periódicas de toda a equipe para compartilhamento de resultados e alinhamento de ações. Uma equipe especializada em simulações computacionais atuou transversalmente, recebendo e fornecendo *inputs* às demais. A experiência demonstrou-se eficiente, observando-se que o processo de projeto atingiu fluidez apropriada e o projeto proposto na disciplina atingiu resultados técnicos apropriados, com um consumo de energia menor que sua produção, alcançando a meta de se tornar um edifício de balanço energético nulo (MENDES; AMORIM, 2020). Esta foi definida como a base do método a ser utilizado na experiência de projeto integrado do LabZERO|UnB.

Experiências de projeto, monitoramento e *benchmarking* de NZEBs relatadas por Garde e Donn (2014) apresentam 30 estudos de caso residenciais e não residenciais, agrupados em climas frios, moderados e quentes. Três destes edifícios podem ser comparados às condições do LabZERO|UnB devido às similaridades de uso e climáticas. Nestes casos identificam-se demandas de energia variando de 16 a 66 kWh/m^2.ano, com produção de 44 a 115 kWh/m^2.ano. Em um dos casos, a produção de energia é 7 vezes superior à demanda. A Tabela 2 apresenta dados de demanda e produção energética dos mesmos.

Tabela 2 - Demanda e produção de energia em 3 ZEBs

EDIFÍCIO E LOCALIDADE	TIPOLOGIA	DEMANDA ENERGÉTICA KWH/M².ANO	PRODUÇÃO ENERGÉTICA KWH/M².ANO
ENERPOS- Ilhas La Reunion (21°S, 55°L)	Escritórios e salas de aula	16	115
Illedu Centre - Ilhas La Reunion (21°S, 55°L)	Escritórios	66	92
ZEB@BCA Singapura(1°20 N, 103°L)	Escritórios e salas de aula	40	44

Fonte: Garde e Donn, 2014

No contexto brasileiro, ainda não há um normativo com relação a NZEBs, mas ações pontuais têm sido empreendidas para alavancar a melhoria da eficiência energética em edifícios, através de regulamentos e normas de eficiência energética (BRASIL, 2009), desempenho de edifícios (ABNT, 2013), cuja revisão está sendo finalizada em 2021, e geração distribuída de energia (ANEEL, 2012). No entanto, ações concretas para a construção e monitoramento de edifícios NZEB são recomendadas para viabilizar a disseminação do conceito.

Neste contexto, o Procel Edifica realizou em 2019 uma chamada pública para apoiar a construção de até 4 (quatro) NZEB's em localizações estratégicas no país (PROCEL EDIFICA, 2019). Os objetivos da chamada incluíram: fomentar o conhecimento, estudo e desenvolvimento de projetos NZEB; criar um efeito de demonstração de edificações NZEB, possibilitando a adoção em larga escala, e, por fim, verificar a viabilidade técnica e financeira de construção e operação de edificações NZEB. A chamada pública foi lançada em 02 de dezembro de 2019, com prazo de entrega do projeto em 20 de fevereiro de 2020. A chamada solicitava envio do Projeto Básico da edificação NZEB a ser construída ou que passasse por *retrofit*, reunindo "os elementos que definem a edificação, objetivando a precisão de suas características básicas e seu desempenho almejado na obra, com a estimativa de custo e prazo de execução" (PROCEL EDIFICA, 2019).

A Universidade de Brasília tem investido no fortalecimento das ações de sustentabilidade em seus *campi*; segundo Taucher e Brandli (2006) "a dimensão socioambiental, neste contexto, coloca-se como princípio para o desenvolvimento institucional". Assim, a construção de um edifício de balanço energético nulo, com possibilidade de replicação desta tipologia, demonstra ser um importante passo para a disseminação e consolidação das práticas sustentáveis na Universidade, com reflexos e impactos, inclusive, para a cidade. Com o objetivo de avançar em seus propósitos de sustentabilidade de seus *campi*, a UnB desenvolveu, através de equipe multidisciplinar, um projeto de laboratório e espaço de *coworking*, denominado LabZERO|UnB, que foi um dos 4 contemplados na chamada Procel Edifica (3° lugar geral). Neste artigo apresenta-se a experiência de processo de projeto desta edificação NZEB, com especial enfoque nas etapas de concepção, resultados, barreiras e potencialidades.

2. OBJETIVO

O objetivo geral do trabalho é apresentar a experiência do processo de projeto integrado de um edifício NZEB a ser construído no campus da Universidade de Brasília, intitulado LabZERO|UnB, detalhando as etapas projetuais, barreiras e potencialidades.

3. MÉTODO

Os procedimentos metodológicos estão distribuídos em 4 etapas, quais sejam: 1. Definição da equipe e diretrizes iniciais; 2. Risco Preliminar; 3. Simulações computacionais iniciais e Anteprojeto e; 4. Novas simulações e Projeto Básico. As etapas são descritas em detalhe a seguir.

3.1. Definição da equipe e diretrizes iniciais

A definição da equipe participante do projeto é parte importante da concepção projetual, pois o perfil deve proporcionar o desenvolvimento pleno dos produtos, dentro do prazo estipulado. Estabeleceu-se também como premissa o envolvimento das instâncias administrativas ligadas à gestão de projetos e obras da Universidade, em função de tratar-se de uma proposta de construção de um edifício no *campus*, envolvendo questões burocráticas e ações administrativas. Além disso, a *expertise* dos técnicos ligados ao setor de obras da universidade é fundamental para o desenvolvimento do projeto conforme as normas internas, além de realizar a concretização de trabalhos teóricos resultantes de pesquisas na área e o envolvimento das equipes de técnicos, e concomitantemente atuar na capacitação deles em temas relacionados ao projeto bioclimático, com fins em eficiência energética, etc. Entende-se esta parceria entre pesquisa e projeto/ação como crucial para alavancar ações mais efetivas no sentido da maior eficientização das construções nos *campi* da Universidade como um todo. Concluiu-se pela necessidade de uma equipe mista que conjugasse uma mistura de pesquisadores e profissionais de várias especialidades e modalidades de atuação, com a possibilidade de aplicar na prática os conceitos de pesquisas e trabalhos anteriores desenvolvidos pela equipe de professores e pesquisadores, implementando-os na proposta projetual de forma ágil.

Após definida a equipe, são realizadas reuniões para tomada de decisões preliminares quanto à natureza e porte do projeto a ser desenvolvido, considerando as limitações de orçamento e prazo.[1] Outras

[1] A Chamada Procel Edifica NZEB definiu como orçamento máximo o valor de 1 milhão de reais. O prazo para entrega

decisões tomadas preliminarmente são relativas ao tipo de edificação (residencial, comercial), função e localização no campus da Universidade. Conforme a metodologia proposta por Athienitis e O´Brien (2015), o facilitador da equipe deve ter como a incumbência de delimitar atribuições para cada um dos participantes e definir os prazos de entrega, em função da retroalimentação necessária de cada fase do projeto. Os desenhos técnicos exigidos pelo edital foram: levantamento topográfico; planta de localização e situação; projeto arquitetônico; projeto de instalações hidráulicas, instalações elétricas, ar-condicionado e luminotécnico; projeto de geração distribuída de fonte renovável. Além do Projeto Básico, eram itens obrigatórios de entrega: Programa de Necessidades, Memorial Descritivo, Orçamento, Cronograma, Relatório de avaliação de consumo energético e geração distribuída e Plano Preliminar de Visitação. Ressalta-se que o edifício deve ser aberto à visitação e monitorado nos 24 meses seguintes à sua construção, para permitir a aferição de seu real desempenho.

3.2. Risco preliminar

O risco preliminar da edificação é definido em função das estratégias bioclimáticas recomendadas para o clima da região (zona bioclimática 4), as Tecnologias de Energia Renovável (TER) a serem empregadas, harmonizando com a arquitetura já existente no *campus*, com área definida em função de limitações orçamentárias. As decisões iniciais e objetivos comuns devem ser desenvolvidos com a participação de todos.

3.3. Simulações computacionais iniciais e Anteprojeto

Após definido o risco preliminar, simulações computacionais são realizadas para validar as primeiras decisões relativas à implantação e orientação, forma da edificação, área envidraçada e sistemas de proteção solar e exposição solar para painéis solares e fotovoltaicos. São testadas algumas variações de desenho e variáveis sensíveis, que retroalimentam o processo de projeto, em uma ação de projeto integrado, da qual participam os membros da equipe. Este processo dura várias semanas, até a obtenção de uma solução energética ideal.

Para a avaliação do desempenho energético da edificação utilizou-se o software *Energyplus* por meio da interface gráfica *DesignBuilder* para o período de todo um ano típico. Os resultados são apresentados pelo de consumo energético em kWh/ano normalizado por metragem quadrada. Os mesmos softwares são utilizados para a realização do desempenho do potencial passivo da área de *coworking* do edifício. Neste caso, os resultados são conferidos por percentual de horas ocupadas em conforto por meio do modelo de conforto adaptativo da ASHRAE-55 tanto para 80% de aceitabilidade, como para 90%. Já à avaliação do desempenho luminoso da área de *coworking*, utiliza-se o programa *Radiance*, por meio do programa *Rhinoceros* 3D e sua linguagem de programação visual *Grasshopper* e o *add-on HoneyBee*. Avaliam-se a Autonomia de Iluminação Natural (*Daylight Autonomy* - DA) para 300 lux, e a *Useful Daylight Iluminance* (UDI) acima de 2000 lux.

3.4. Novas simulações e Projeto Básico

O Projeto Básico, nível no qual deveria ser entregue a proposta da edificação NZEB para a chamada em edital PROCEL EDIFICA 2019, foi definido após testadas por simulação algumas alternativas, em especial relativas às proteções solares, tipos de vidros (transmissão luminosa e fator solar) e materiais de construção (cobertura e paredes). Nesta fase foram definidas também estratégias complementares de automação e controles (AVAC e iluminação), localização dos painéis fotovoltaicos, como Tecnologia de Energia Renovável (TER), projeto luminotécnico e outras estratégias de sustentabilidade, como uso racional da água e tratamento de resíduos, detalhadas pelas equipes de engenheiros e especialistas participantes do projeto. Houve a participação integrada da equipe, onde o grupo responsável pelas simulações trazia resultados, que eram avaliados sob diversos aspectos (energético, estético, funcional, custo), antes da tomada de decisão final sobre o projeto.

3.5. Simulações e cálculos finais

Após as definições do Projeto Básico, retroalimentadas pelas simulações iniciais e testadas várias hipóteses, as simulações finais de consumo energético envolveram os mesmos *softwares* mencionados anteriormente. Além destas, utilizou-se o software RELUX para simulações do projeto luminotécnico, o software SAM do *National Renewable Energy Laboratory* (NREL) para dimensionamento e cálculo de dois sistemas fotovoltaicos independentes, um do tipo *on-grid* e outro *off-grid*. Por fim, foram efetuados cálculos de etiquetagem de eficiência energética, consumo de energia primária e orçamentos das soluções finais, exigidos pelo edital. Para os orçamentos, contou-se com uma empresa junior da engenharia civil, que realizou as

do projeto completo foi estipulado em menos de 3 meses (lançamento da chamada 02/12/19, entrega da proposta 20/02/20).

cotações de 21 itens, acrescidos do percentual de BDI[2], conforme modelo constante na Chamada Pública (PROCEL EDIFICA 2019).

4. RESULTADOS

Como resultado do processo de projeto, organizou-se uma equipe multidisciplinar interuniversitária que elaborou um anteprojeto completo de uma nova edificação NZEB, submetido e selecionado para financiamento de sua construção na Chamada Pública PROCEL EDIFICA 2019. São apresentados a seguir os resultados, obtidos a partir da metodologia definida.

4.1 Definição da equipe, diretrizes iniciais e risco preliminar

Conforme as premissas estabelecidas na metodologia, foram definidos inicialmente os participantes já integrantes de grupos de pesquisa e laboratórios da Universidade de Brasília com atuação conjunta no tema NZEB e em disciplinas que trabalham este tema, como a disciplina de pós-graduação Projeto Ambiental Integrado, criada em 2017 e ministrada no Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília. Esta equipe nuclear tem a coordenação de professores dos cursos de Arquitetura e Urbanismo (Laboratório de Controle Ambiental e Eficiência Energética - LACAM), juntamente com professores da Engenharia Mecânica (Laboratório de Ar-Condicionado - LaAr) e Elétrica (LARA - Laboratório de Automação e Robótica), parceiros desde 2014 no desenvolvimento de disciplinas, trabalhos finais de graduação e pós-graduação na temática (BIRCK,2014; PINTO *et al*., 2014; SUDBRACK, 2017). Foram também envolvidos professores dos cursos de Geologia e Ciências Ambientais para o desenvolvimento de temas relacionados à sustentabilidade do projeto (água, resíduos, etc).

A equipe foi definida com 24 integrantes, sendo: 2 arquitetas especialistas em eficiência energética, coordenadoras do processo, 2 especialistas em simulação computacional, que transitam entre todas as demais equipes, 1 arquiteto especialista em eficiência energética, 3 arquitetos e 1 engenheiro civil sem formação específica em eficiência energética, 1 engenheiro mecânico especialista em eficiência energética (responsável por AVAC), 2 engenheiros eletricistas especialistas (1 responsável pela geração de energia fotovoltaica, outro por controles e automação), 2 engenheiros especialistas em orçamento, 2 engenheiros especialistas em aproveitamento de água e resíduos e 4 alunos de graduação em Arquitetura. Houve ainda a colaboração de uma empresa residente no Parque Científico e Tecnológico da Universidade, especialista em etiquetagem de eficiência energética em edificações e uma empresa júnior atuante no campo da construção civil, composta por alunos de graduação em Engenharia Civil e especialistas na elaboração de orçamentos de obras.

Quanto ao projeto, cogitou-se inicialmente utilizar um projeto de edificação residencial NZEB, resultado de dissertação de mestrado já existente (SUDBRACK, 2017), mas empasses quanto ao uso e ocupação de um estabelecimento residencial em um campus universitário, em especial relacionadas à segurança e monitoramento, eliminaram esta proposta. A segunda hipótese tratou da utilização de um projeto de *retrofit,* realizado anteriormente (MENDES *et al*., 2019), em uma edificação existente no campus. Neste caso, o fator limitante foi o custo já que por tratar-se de um edifício de grande porte, o orçamento ultrapassaria a verba oferecida pela Chamada Pública. O projeto de Birck (2014), anteriormente mencionado, pela grande área também apresentaria custo elevado. Decidiu-se, portanto, realizar projeto novo de edifício no campus.

Após as discussões iniciais, definiu-se como objetivo do projeto construir um laboratório aberto e colaborativa, o que permitiria certa flexibilidade na planta sem necessidades programáticas muito específicas. O edifício LabZERO|UnB foi destinado a atividades de escritório em regime de *coworking*, para abrigar grupos de pesquisa dedicados ao estudo de balanço energético nulo e sustentabilidade em edificações, provenientes de diversas áreas do conhecimento. A área escolhida para construção situa-se no Campus Darcy Ribeiro da Universidade de Brasília, precisamente no Parque Tecnológico da Universidade, alinhado às políticas de desenvolvimento tecnológico e de inovação da instituição, além de localizado em sítio de excelente visibilidade, segurança e acesso para visitantes (Figuras 2A e 2B).

[2]BDI é uma sigla que se refere às Bonificações (ou Benefícios) e Despesas Indiretas nas planilhas de custos e que identifica um percentual a ser aplicado sobre os custos diretos com o intuito de financiar os demais custos envolvidos na realização de serviços ou obras.



Figura 2A - Localização do edifício no campus Darcy Ribeiro e 2B. Implantação. Fonte: Amorim e Cronemberger (2020).

As diretrizes iniciais de projeto incluíram as recomendações relativas ao clima local, na zona bioclimática 4, conforme a norma 15.220 (ABNT, 2005), que indicam aberturas médias, sombreadas, cobertura leve e isolada, cores claras. Além disso, definiu-se planta com profundidade reduzida a fim de favorecer a iluminação natural e implantada com as maiores fachadas voltadas para orientação Norte e Sul, reduzindo a incidência solar e otimizando a proteção das fachadas. A cobertura acolhe os painéis fotovoltaicos, assim como a fachada Norte recebe brises fotovoltaicos que funcionam, também, como proteção solar. Os primeiros croquis de projeto (Figura 3) foram desenvolvidos a partir destas diretrizes, mas evoluíram paulatinamente em função de discussões dos vários aspectos com toda a equipe. Vale destacar que o processo de projeto buscou a harmonização estética com o contexto local do campus universitário.

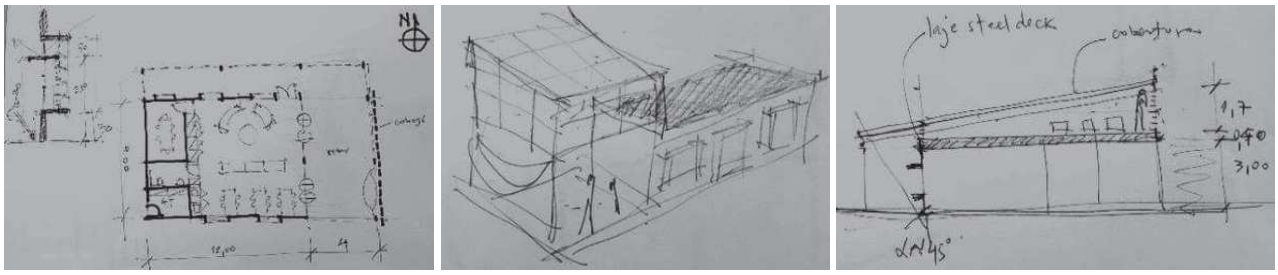

Figura 3 - Croquis com o primeiro risco preliminar do projeto, posteriormente revisto (planta, volumetria e corte). Fonte: autores.

4.2. Simulações, Anteprojeto e Projeto básico

Em função das primeiras simulações termoenergéticas e de iluminação natural, foi definido o anteprojeto do edifício, com 207 m² de área útil, disposto em com área de escritório (com ambiente reservado para reuniões), copa, banheiro e vestiário, área técnica e bicicletário, além de área externa para descanso e eventos – varanda. A Figura 4 apresenta a referida disposição da edificação em planta baixa.

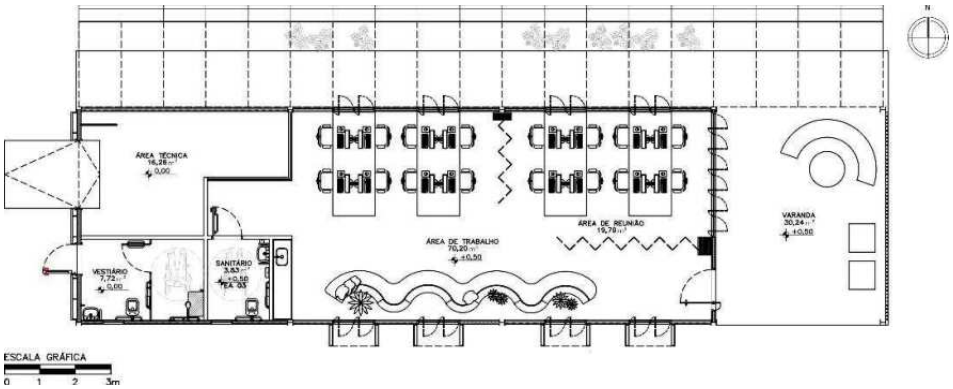

Figura 4 - Planta baixa da edificação com o *layout* proposto. Fonte: Amorim e Cronemberger, 2020.

Na concepção, destacam-se estratégias como a forma da edificação, pouco profunda e com disposição de iluminação natural bilateral; a implantação, com fachadas maiores voltadas para Norte e Sul; área envidraçada nas fachadas limitada a 35% e devidamente protegida com brises (que na fachada Norte também recebe painéis fotovoltaicos); e sistema de chaminé solar na fachada Oeste, para intensificação da ventilação natural, combinada à ventilação forçada quando necessário (Figuras 5A e 5B).



Figuras 5A e 5B - À esquerda, perspectiva evidenciando os brises fotovoltaicos na fachada norte e chaminé solar na fachada oeste; à direita, perspectiva da fachada sul. Fonte: Amorim e Cronemberger, 2020.

Após outra rodada de simulações, definiu-se o Projeto Básico, trazendo detalhamentos do anteprojeto, tais como materiais de envoltória com transmitância térmica e absortância adequadas ao contexto bioclimático (paredes externas painéis de fibrocimento, isolamento de lã de rocha e gesso acartonado, U=0,89 W/m2.K; cobertura laje *steel deck*, telha metálica e isolamento[3], U= 0,57 W/m2.K); sistema de iluminação artificial com lâmpadas e luminárias eficientes e iluminação de tarefa; e automação para AVAC e iluminação artificial.

4.3. Simulações e cálculos finais

As simulações e cálculos finais comprovam que o edifício alcança um consumo médio anual de 34,29 kWh/m^2.ano (7.099,18 kWh/ano) de energia elétrica, correspondente a um valor de consumo de energia primária de 54,88 kWh/m^2.ano (11.358,68 kWh/ano), valor significativamente menor comparado à média de consumo de energia elétrica em edifícios de escritórios de Brasília, que gira em torno de 130 kWh/m^2.ano (AMORIM *et al*., 2019). Quanto a geração distribuída de energia elétrica no sistema fotovoltaico instalado na cobertura e área lateral, é obtido o valor de 58,29 kWh/m^2.ano. Os resultados são compatíveis com as experiências internacionais em climas similares, apresentadas anteriormente (Tabela 2). Com estes dados, comprova-se o alcance da meta de edifício NZEB, ou de balanço energético próximo a zero ou nulo.

O reduzido consumo de energia do edifício é alcançado através de estratégias arquitetônicas e tecnológicas (passivas e ativas). Além dos aspectos de eficiência energética e conforto, a edificação propõe estratégias para uso racional de água e gestão de resíduos. Destacam-se, ainda, aspectos de sustentabilidade como a estrutura em aço e as vedações em painéis pré-fabricados, permitindo uma construção rápida e limpa, com menor geração de resíduos e possível replicabilidade da tipologia.

O edifício obteve etiqueta de eficiência energética nível A[4], como era esperado devido à inserção de estratégias bioclimáticas e de eficiência energética desde sua concepção. Isoladamente, a envoltória obteve Eq_{Num} = 5, a iluminação obteve Eq_{Num} DPI = 5 e o condicionamento de ar $Eq_{NumVent}$ = 5, relacionado ao Coeficiente de Performance (COP) das máquinas, sendo obtidas individualmente etiquetas parciais nível A. Contabilizou-se como ponto de bonificação o uso racional de água (40% de economia) e economia de energia da rede (mais de 30%) e cumpriu-se o pré-requisito geral de divisão de circuitos elétricos. Portanto, a etiqueta geral obtida de eficiência energética do edifício é nível A.

4.4. Processo de projeto: síntese, limitações e potencialidades

Conforme indicado pela literatura (ATHIENITIS; O'BRIEN, 2015), a arquitetura iniciou-se juntamente com a concepção das Tecnologias de Energia Renovável (TER) que, no caso presente, consistiu em energia fotovoltaica. Os ciclos de *feedback* ocorreram periodicamente entre as equipes temáticas, juntamente com as facilitadoras. A concepção da edificação para uso de iluminação natural se deu também desde o risco preliminar. Logo em seguida, o projeto de AVAC, iniciando pelas estratégias passivas (ventilação, resfriamento evaporativo, chaminé solar) foi iniciado. As estratégias ativas de AVAC foram pensadas logo após as primeiras simulações termoenergéticas, em função das horas de desconforto não solucionadas passivamente, dando origem ao anteprojeto. Neste ponto, realizou-se um cálculo inicial de balanço energético da edificação (com os dados das primeiras simulações termoenergéticas e dos painéis fotovoltaicos ainda somente na cobertura). Em seguida, reajustadas as proteções solares e as aberturas, para corrigir alguns

[3] Para as simulações termoenergéticas foi desconsiderado o efeito das placas fotovoltaicas na cobertura, o que significa uma opção conservadora, uma vez que as placas reduzirão o valor da transmitância térmica do conjunto.

[4] A etiquetagem nível "A" de eficiência energética da edificação, exigência da chamada, foi obtida após o processo de projeto aferido por simulações computacionais, mesmo tendo sido calculada somente no final. A etiquetagem foi feita com o método de simulação e também com o novo método prescritivo INI-C (INMETRO, 2021).

problemas identificados. Em função das simulações de iluminação natural, com a edificação mais bem definida, foi feito o projeto luminotécnico, elétrico e de controles e automação. Nesta fase de anteprojeto, também foram concebidas as estratégias para uso racional de água (projeto hidrossanitário) e tratamento de resíduos, aspectos complementares de sustentabilidade do projeto. Após a definição dos materiais da envoltória e acabamentos internos e definido o projeto básico, realizaram-se as simulações finais termoenergéticas, a etiquetagem, os cálculos de energia primária e de balanço energético final da edificação. A Figura 6 apresenta o processo de projeto, produtos e fluxos, relacionando-o às fases iterativas mencionadas na Figura 1.

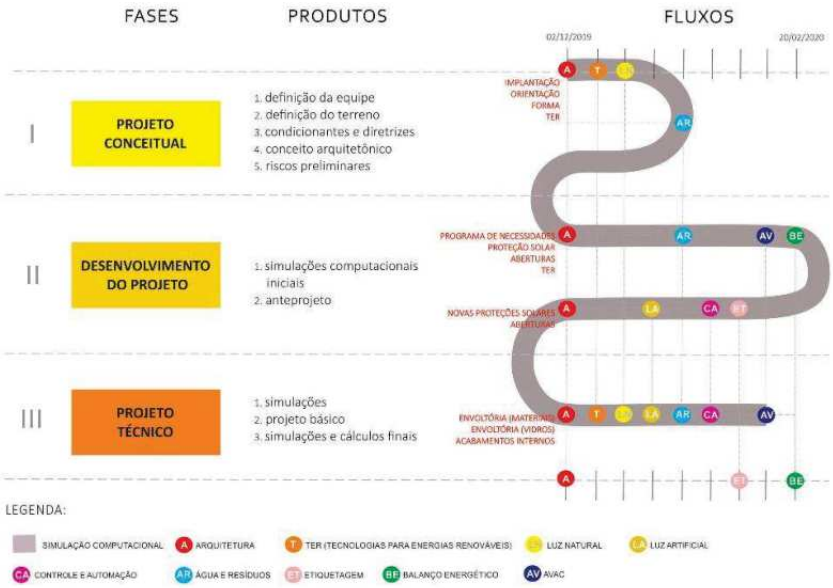

Figura 6 - Processo de projeto, com produtos e fluxo de projeto. Fonte: autores

O processo transcorreu de maneira relativamente regular, devido a ensaios anteriores já mencionadas, envolvendo parte da equipe. Entretanto, alguns pontos importantes decorrentes dessa experiência com limitações de prazo e orçamento devem ser mencionados: 1. O papel dos facilitadores é fundamental para coordenar as diversas decisões a serem tomadas que necessitam de insumos e resultados de várias equipes temáticas; bons facilitadores são cruciais para a consecução dos prazos e constituem-se potencializadores de bons resultados; 2. Inclui-se no papel dos facilitadores a comunicação eficiente com as várias equipes temáticas, no sentido de delimitar o nível de detalhe das soluções propostas por cada um, em cada fase. Nas fases iniciais de projeto, o nível de detalhe deve ser menor, para evitar desgaste de tempo e retrabalho; nas fases finais o nível de detalhe é maior. Percebe-se uma tendência geral dos especialistas a detalhar suas fases desde o início, a ser controlada pelos facilitadores, pois configura-se como uma barreira para o desenvolvimento fluido do processo; 3. A equipe de simulação também tem papel fundamental e interage com várias outras equipes, devendo "traduzir" as propostas arquitetônicas em resultados de simulação, que retroalimentam as novas propostas de arquitetura. Para tal, a comunicação deve ser efetiva e a linguagem deve ser adaptada para atingir todos os perfis profissionais, o que não é simples, podendo se tornar uma barreira no processo; 4. As reuniões periódicas e o compartilhamento de informações e decisões são importantes para o envolvimento e motivação da equipe. No entanto, em alguns momentos, decisões rápidas devem ser tomadas e para isto, novamente, o papel dos facilitadores é fundamental.

5. CONCLUSÕES

O projeto alcançou como resultado um consumo de energia quase 4 vezes menor que a média local para edifícios de escritórios e compatível com experiências internacionais. A geração de energia possível supera a demanda, fazendo do edifício um NZEB, com potencial para abastecer outros usos ou edifícios. As estratégias utilizadas para isto combinam a arquitetura, concebida desde o primeiro traço de acordo com o clima local, direcionada para a produção de energia no próprio edifício; privilegiam-se as estratégias passivas, com o uso de estratégias ativas controlado de forma a otimizar o gasto energético. Após sua construção, a edificação poderá estará aberta ao público com objetivo demonstrativo, possibilitando a disseminação em larga escala.

O processo de projeto integrado, utilizado como metodologia, mostrou-se eficiente e evidenciou a possibilidade de transpor experiências de pesquisa para a prática de projeto. Destacam-se as barreiras e potencialidades relacionadas à coordenação de uma equipe multidisciplinar e organização, planejamento e alcance de metas no processo de projeto integrado. Em especial, como potencialidades a serem consideradas,

é importante destacar o papel da simulação computacional e da equipe encarregada deste item no processo de projeto, que deve interagir com os demais e comunicar efetivamente os resultados. Evidencia-se também a importância dos facilitadores, que efetivamente coordenam os ciclos de *feedback* das simulações computacionais e das decisões arquitetônicas e tecnológicas entre as equipes especializadas e ao grupo como um todo, além de delimitar prazos e níveis de detalhamento para cada especialidade. Podem constituir-se barreiras no processo os problemas de comunicação na equipe e a tendência ao excesso de detalhamento por parte dos especialistas, no início do processo de projeto, deve ser acompanhado pelos facilitadores.

Certamente há espaço para maior aplicação deste conceito de processo de projeto integrado em outras situações, em especial quando as metas de eficiência energética e sustentabilidade são rígidas, como mostram as tendências atuais. Maior integração deste tipo de metodologia nos cursos de graduação em Arquitetura e Engenharia podem facilitar a transposição disto para a prática projetual, formando profissionais aptos a alcançar o balanço energético nulo ou quase nulo nas edificações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR 15.220-3. **Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. 2005.

AMORIM, C. N. D.; WALTER, J. F. C.; SANCHEZ, J. M. M.; SILVA, J. C. R.; SILVA, E. G. Eficiência energética e iluminação natural: critérios para intervenção em edifícios modernos não residenciais em Brasília- DF In: XV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e XI Encontro Latinoamericano de Conforto no Ambiente Construído, 2019, João Pessoa. **Anais.** ENCAC 2019. Porto Alegre: ANTAC, 2019. p.2314 2322

AMORIM, C.N.D. **Projeto Ambiental Integrado.** Plano de curso da Disciplina. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

AMORIM, C.; CRONEMBERGER. J.**Memorial Descritivo LabZero UnB. Proposta de Edificação de Balanço Energético Nulo.** Universidade de Brasília, Brasília, fevereiro de 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS– ABNT. NBR 15575-1: Edificações habitacionais - Desempenho. Parte 1: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro, 2013.

ANEEL, A.N.D.E. ELÉTRICA (Ed.), Resolução Normativa Nº 482, de 17 de abril de 2012, Agência Nacional de Energia Elétrica, Brasil, 2012

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

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

BIRCK, M. **Projeto de edificação NZEB para o campus da UnB.** Trabalho final de graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

GARDE, F. ; DONN, M. **Solution sets and Net Zero Energy Buildings : A review of 30 Net ZEBs case studies worldwide.** A technical report of Subtask C. IEA Task 40/Annex 52 Towards Net Zero Energy Solar Buildings. Le Tampon, Reunion, 2014. Disponível em https://task40.iea-shc.org/Data/Sites/1/publications/T40A52-DC-TR1-30-Net-ZEBs.pdf.Acesso março de 2021

GONÇALVES, J.; BODE, K.(org). **Edifício Ambiental**. Oficina de Textos, São Paulo, 2015.

IEA SHC Task 40 **Net Zero Energy Solar Buildings.**2013. Disponível em: http://task40.iea-shc.org/. Acesso em fevereiro de 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA-INMETRO. Portaria n° 42, de 24 de fevereiro de 2021. Disponível em: http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC002707.pdf. Acesso em junho de 2021.

MEDEIROS, A.; FERNANDES, G.; SANTANA, R.; TAVARES, T.; AMORIM, C.N.D. Ventilação cruzada e noturna como estratégia de resfriamento passivo em edifício institucional no contexto climático de Brasília/DF. VII Encontro de Sustentabilidade em Projetos. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019. Pp. 200-211. **Anais.**

MENDES, N.; AMORIM, C.N.D. **Projeto Ambiental Integrado, uma experiência didática.** In: SANTOS, F. Meio Ambiente em Foco, Volume 12. Editora Atena, Belo Horizonte, 2020. pp.67-76.

PINTO, G. S. P. ; Pimenta, J. ; BIRCK, M. B.; AMORIM, C. N. D. Proposta de edifício experimental com balanço energético nulo. In: MERCOFRIO, 2014, Porto Alegre. Congresso MERCOFRIO. Porto Alegre, 2014. v. 1**. Anais.**

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

PROCEL INFO. **Seguindo tendência mundial, Brasil começa a investir em edificações NZEB.** Matéria publicada em 27.08.2020. Disponível em http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7B8D1AC2E8-F790-4B7E-8DDD-CAF4CDD2BC34%7D&Team=&params=itemID=%7B37A1E97B-5C1A-4D95-88E4-513B04FE0AA2%7D;&UIPartUID=%7BD90F22DB-05D4-4644-A8F2-FAD4803C8898%7D

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.

SUDBRACK, L. O.; AMORIM, C. N. D.; SILVA, C. F. E. Electricity generation in social housing: strategies for ZEB houses in Brasilia In: Passive and Low Energy Architecture, 2017, Edinburgh. **Proceeding.** PLEA 2017 Edinburgh - Design to Thrive. Edinburgh: NCEUB, 2017. v.I. p.693 700

TAUCHEN, J.; BRANDLI, L. L. A gestão ambiental em instituições de ensino superior: modelo para implantação em campus universitário. **Gestão & Produção,** São Carlos, v.13, n.3, p.503-515, 2006.

VOSS, K.; MUSALL. **Net Zero Energy Buildings. International projects of carbon neutrality in buildings.** Munich: Detail, 2013.

AGRADECIMENTOS

À Secretaria de Infraestrutura e à gestão superior da Universidade de Brasília, pelo apoio institucional. À Eletrobrás/Procel Edifica pelo apoio ao projeto e ao CNPq pela bolsa de Produtividade em Pesquisa.