



# Inovações e tendências no ensino e pesquisa em conforto ambiental e sustentabilidade do ambiente construído



Cláudia Naves David Amorim  
Gustavo de Luna Sales  
Joára Cronemberger Ribeiro Silva  
Luciane Cleonice Durante  
Simone Berigo Büttner  
(Organizadores)





# Inovações e tendências no ensino e pesquisa em conforto ambiental e sustentabilidade do ambiente construído

Cláudia Naves David Amorim  
Gustavo de Luna Sales  
Joára Cronemberger Ribeiro Silva  
Luciane Cleonice Durante  
Simone Berigo Büttner  
(Organizadores)

2022



## Equipe editorial

**Organizadores** Cláudia Naves David Amorim  
Gustavo de Luna Sales  
Joára Cronemberger Ribeiro Silva  
Luciane Cleonice Durante  
Simone Berigo Büttner

**Coordenação Geral VI ENANPARQ** Sylvia Ficher, Presidente de Honra, PPG-FAU/UNB;  
Ricardo Trevisan, Presidente, PPG-FAU/UNB;  
Pedro Paulo Palazzo de Almeida, PPG-FAU/UNB  
Carolina Pescatori Candido da Silva, PPG-FAU/UNB

**Coordenação Científica VI ENANPARQ** Ana Paula Campos Gurgel, FAU/UNB  
Benny Schvarsberg, PPG-FAU/UNB  
Cláudia Naves David Amorim, PPG-FAU/UNB  
Erica Mitie Umakoshi Kuniuchi, DAU/UNB  
Joára Cronemberger Ribeiro Silva, PPG-FAU/UNB  
Leandro de Souza Cruz, FAU/UNB  
Maria Fernanda Derntl, PPG-FAU/UNB  
Vanda Alice Garcia Zaroni, FAU/UNB  
Milena D'Ayala Valva, TECCER/UEG

**Projeto gráfico e diagramação** Isabella Capanema

Textos, imagens, figuras e ilustrações são de responsabilidade dos autores.

Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta publicação poderá ser reproduzida por qualquer meio sem a autorização dos autores.

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Inovações e tendências no ensino e pesquisa em  
conforto ambiental e sustentabilidade do  
ambiente construído [livro eletrônico] /  
organização Cláudia Naves David Amorim...  
[et al.]. -- 1. ed. -- Cuiabá, MT :  
Ed. dos Autores, 2022.  
PDF.

Vários autores.  
Outros organizadores: Gustavo de Luna Sales,  
Joára Cronemberger Ribeiro Silva, Luciane Cleonice  
Durante, Simone Berigo Büttner.  
Bibliografia.  
ISBN 978-65-00-54215-8

1. Acústica (Arquitetura) - Aspectos ambientais  
2. Arquitetura 3. Conforto ambiental 4. Projeto  
ambiental integrado 5. Sustentabilidade I. Amorim,  
Cláudia Naves David. II. Sales, Gustavo de Luna.  
III. Silva, Joára Cronemberger Ribeiro. IV. Durante,  
Luciane Cleonice. V. Büttner, Simone Berigo.

22-132135

CDD-720

### Índices para catálogo sistemático:

1. Conforto ambiental : Arquitetura : Projetos 720

Aline Grazielle Benitez - Bibliotecária - CRB-1/3129

# Índice

+ Prefácio	6
+ Apresentação	10
+ Parte 1. Ensino	13
14	O ensino de Conforto Térmico: uma busca por métodos mais integrados com as práticas projetuais Simone Berigo Büttner e Flávia Maria de Moura Santos
26	Relato da experiência de ensino-aprendizagem em Acústica Arquitetônica em Berçário localizado em Cuiabá/MT Luciane Cleonice Durante, Ivan Julio Apolonio Callejas e Daniela Barros Silva Freire Andrade
38	Metodologia ativa aplicada ao ensino integrado de Conforto Lumínico e Arquitetura de Interiores Karyna de Andrade Carvalho Rosseti, Everton Nazareth Rossete Junior e Elisa Pagliarini Cox
48	Exploraciones pedagógicas en confort y eficiencia energética realizadas por el Grupo de Investigación EMAT en Colombia Jorge Hernán Salazar Trujillo
58	Integrando graduação e pós-graduação no ensino de Conforto: Uma experiência na Universidade Federal de Minas Gerais Roberta Vieira Gonçalves de Souza e Rejane Magiag Loura
+ Parte 2. Pesquisa	69
70	Projeto Ambiental Integrado: ensino e pesquisa-ação no projeto de edifícios de balanço energético nulo Cláudia Naves David Amorim, Joára Cronemberger Ribeiro Silva e Ayana Dantas
84	Critérios de avaliação de sistemas de certificação e interface com o conforto ambiental de edificações residenciais Luciane Cleonice Durante, Carolina Mendonça Zina e Raquel Naves Blumenschein
94	Experimentos de condições ambientais na iniciação científica embasados nos princípios da Cultura Maker Vanda Alice Garcia Zanoni, Pedro Henrique Gonçalves e Caio Frederico e Silva
107	Ensino de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) e Design Circular em Arquitetura e Urbanismo: Resultados de Pesquisa-Ação no curso da Unicamp Vanessa Gomes
+ Perfil dos autores	122

## Parte 2. Pesquisa

# Projeto, Ensino e Prática: Inovações e experiência rumo ao balanço energético nulo em edifícios

**Cláudia Naves David Amorim**

Universidade de Brasília, clamorim@unb.br

**Joára Cronemberger Ribeiro Silva**

Universidade de Brasília, joaracronemberger@unb.br

**Ayana Dantas de Medeiros**

Universidade de Brasília, ayna.medeiros@urr.br

O atual cenário de mudanças climáticas exige um esforço coletivo no sentido de mudança de paradigmas em várias áreas do conhecimento, incluindo a arquitetura e o urbanismo. Observa-se a necessidade de reestruturação de práticas projetuais que precisam cada vez mais ser alimentadas por pesquisas desenvolvidas para aprimoramento da sustentabilidade e qualidade ambiental de edifícios e cidades. O presente capítulo apresenta recentes experiências inovadoras no ensino e prática de projeto arquitetônico desenvolvidas na Universidade de Brasília (UnB), com especial foco em edificações de balanço energético nulo ou quase nulo (nearly zero energy building - NZEB). Envolvendo disciplinas da graduação e pós-graduação, estas experiências precedentes culminaram no desenvolvimento de um projeto selecionado em uma chamada pública para construção de um edifício demonstrativo NZEB no campus universitário. O método norteador de trabalho foi baseado nos conceitos de Processo de Projeto Integrado (PPI), cujas características

incluem a interação entre as disciplinas desde o início do processo, o estabelecimento de metas de desempenho ambiental e o uso de ferramentas de simulação. Sua utilização evidenciou a importância da divisão de tarefas por equipes articuladas, o uso de ferramentas de simulação computacional e a presença de facilitador que favoreça a comunicação entre as equipes especialistas, delimitando prazos e nível de detalhamento. Por fim, a edificação NZEB a ser construída poderá ser utilizada como um laboratório real de técnicas e sistemas, estimulando atividades acadêmicas multidisciplinares de ensino, pesquisa e extensão, auxiliando na criação de uma cultura de projeto com enfoque ambiental integrado.

**Palavras-chave:** Projeto. Ensino. Edifício. Balanço energético nulo. NZEB.

## 1. Introdução

Na atualidade, o cenário de mudanças climáticas exige um esforço coletivo no sentido de quebra de paradigmas em várias áreas do conhecimento, incluindo a Arquitetura e o Urbanismo. Verificam-se exigências cada vez maiores de capacitação técnica voltada à sustentabilidade, com destaque para os impactos ambientais, sociais e econômicos decorrentes do planejamento arquitetônico e urbanístico. Como consequência, observa-se a necessidade de reestruturação de práticas projetuais, alimentadas por pesquisas desenvolvidas para o aprimoramento de aspectos ambientais nos edifícios e nas cidades, e das práticas de ensino nos cursos superiores de arquitetura e urbanismo, de modo a atender às novas demandas.

No âmbito da sustentabilidade, o tema de edificações de balanço energético nulo ou quase nulo (Nearly zero energy buildings - NZEB) não é exatamente novo, mas ainda pede muita discussão. Há anos, Sartori et al. (2012) discutiam a consistência dessa definição. A diretiva europeia (EUROPEAN UNION, 2010) para o desempenho energético de edificações, que previa que todas as edificações novas deveriam ser de consumo energético quase nulo até o final do ano 2020, passou por revisões e ampliações que incluíram ambições também em relação à pegada de carbono de edifícios novos e retrofitados (EUROPEAN COMMISSION, 2019). Desde então, o conceito expandiu-se para outros aspectos e abordagens – não apenas se trata de reduzir e atender à demanda energética elétrica com energias renováveis, mas de energia primária; da pegada de carbono das edificações em todas suas fases do ciclo de vida; abordagem sobre edificações novas; assim como a reabilitação do parque construído existente, entre outros. Em latitudes mais altas, há ainda o impulso pela necessidade de otimizar uma demanda energética que já não se encaixa com as condições econômicas e ecológicas de produção, somado às evidências indicadas pela comunidade científica sobre a necessidade de enfrentar as mudanças climáticas de maneira mais sustentável.

Esse movimento está na base da necessidade de formação de um corpo profissional e científico para gerar e disseminar conhecimento em torno desses temas e assim perseguir os objetivos marcados. Universidades e institutos científicos, em todas as regiões do planeta, colocaram mãos à obra para formar arquitetos, engenheiros e profissionais de áreas afins. Algumas das estratégias mais inovadoras e exitosas

para aliar pesquisa e desenvolvimento à formação têm sido as competições interuniversitárias e a construção de edifícios demonstrativos (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2021; UBIÑAS, 2014). Ambas se baseiam na abordagem de aliar a teoria à prática, em paralelo à adoção de estratégias de comunicação para atingir o grande público leigo (SÁNCHEZ et al., 2014; WARNER et al., 2009).

Segundo o Intergovernmental Panel on Climate Change (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2007), a profissão do arquiteto e urbanista vem testemunhando um ressurgimento da demanda para integração de estratégias e técnicas ambientais passivas e híbridas no projeto de edificações, para mitigar os impactos no ecossistema e prover a adaptação do ambiente construído às alterações climáticas esperadas (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2007). Nesse contexto, o grupo EDUCATE (Environmental Design in University Curricula and Architectural Training in Europe) (ENVIRONMENTAL DESIGN IN UNIVERSITY CURRICULA AND ARCHITECTURAL TRAINING IN EUROPE, 2012) sugere algumas ações que podem ser adotadas para o aprimoramento do ensino, visando a disseminação da sustentabilidade no currículo das escolas de Arquitetura e Urbanismo, resumidas de forma genérica nos seguintes itens:

1. Desenvolver interconexões entre exposições teóricas e ateliê de projeto;
2. Promover uma abordagem baseada em pesquisa analítica e holística para o projeto;
3. Aumentar a competência da sustentabilidade nas várias fases do currículo;
4. Promover a posição central do ateliê de projeto no currículo;
5. Promover a aprendizagem centrada no estudante e com o auxílio de ferramentas adaptadas à realidade deste (incluindo o uso de ferramentas computacionais e e-learning – ensino/acompanhamento a distância).

A partir desta contextualização, apresentam-se neste capítulo algumas experiências inovadoras no ensino e na prática projetual que combinam ensino, pesquisa e prática, em diferentes fases e momentos, culminando com a experiência de projeto desenvolvido com a meta de atingir o balanço energético nulo em uma edificação. As experiências apresentadas encontram-se no âmbito da Faculdade de Arquitetura e

Urbanismo da Universidade de Brasília (FAU-UnB), em exercício nos cursos de graduação e pós-graduação.

## 2. Métodos e experiências inovadoras do ensino de sustentabilidade, eficiência energética e NZEBs

### 2.1. O método de Processo de Projeto Integrado

Para a obtenção de melhores resultados com relação à sustentabilidade, a prática de projeto deve mudar de um processo tradicional linear para uma abordagem colaborativa entre arquitetos, engenheiros estruturais, mecânicos e eletricitistas, além de outros profissionais envolvidos com o ambiente construído. 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; O'Brien et al., 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 referidos autores ressaltam que no caso do projeto integrado é importante compreender as variáveis do projeto como um todo, unificado.

As principais características do Processo de Projeto Integrado são:

- Processo iterativo, não linear: em contraste com o processo de projeto convencional (linear), em que os membros da equipe trabalham isoladamente, o PPI promove ciclos de feedbacks 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, em que 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 (O'BRIEN et al., 2015).

Outro aspecto mencionado pelos autores aqui referenciados está relacionado a questões técnicas

e de pesquisa, tratando em especial dos modelos de simulação computacional. Ressalta-se a importância dos insumos de pesquisas a serem aplicados durante o processo de projeto, ou seja, o desenvolvimento de um projeto com características de sustentabilidade ambiental exige conhecimento e pesquisa prévia, em especial nos casos de prazos restritos. Monteiro et al. (2015), ao mencionarem o que chamam de "Projeto do Edifício Ambiental", afirmam que as principais diferenças são de natureza filosófica e metodológica, estando presentes uma visão de mundo comprometida com a minimização de impactos negativos (Monteiro et al. 2015). Os autores afirmam ainda que neste tipo de projeto a simulação computacional tornou-se etapa obrigatória na metodologia, adicionando complexidade, mas favorecendo o aprimoramento dos resultados.

### 2.2. Competições interuniversitárias: o exemplo Solar Decathlon

O Departamento de Energia Norte-Americano (DOE) organiza, desde 2002, a competição bianual interuniversitária Solar Decathlon, com foco no desenvolvimento de casas energeticamente eficientes que funcionam apenas com energia solar. Trata-se de um evento internacional tão exitoso que vem rendendo ainda competições paralelas, como na Europa (desde 2010), China (desde 2012), América Latina e Caribe (desde 2015), África (2019) e Oriente Médio (desde 2018). Neles, equipes oriundas de diversas partes do mundo devem projetar, construir e operar protótipos de edificações residenciais autossustentáveis e altamente eficientes, num processo que leva dois anos.

As equipes são multidisciplinares, formadas principalmente por estudantes e docentes de Arquitetura, Engenharia, Comunicação, Administração e Finanças. O ponto alto do trabalho se alcança em um evento com duração de duas a três semanas, quando os protótipos permanecem abertos ao público geral para demonstração, e são, finalmente, submetidos a 10 provas (justificando o nome "decathlon"). Elas giram em torno dos pilares: arquitetura, engenharia e construção, sustentabilidade, gestão e eficiência energética, inovação, comunicação, conforto ambiental e funcionamento dos aparelhos domésticos, onde todo o funcionamento das casas é monitorado e verificado por especialistas. Utilizando-se de instrumentação específica, são tomadas medidas reais e instantâneas de dados com foco em conforto térmico, acústico, lumínico, bem como de produção e consumo de energia elétrica para o funcionamento dos equipamentos.

Ao longo dos anos os eventos geraram uma inestimável fonte de dados sobre casos de estudos reais, verdadeiros laboratórios vivos que deram origem a variado material educacional e científico, objetos de livros, artigos e edições especiais de periódicos de alto impacto. A maior parte desse material está sistematicamente organizada em uma plataforma on-line de conhecimento (SOLAR DECATHLON, 2019) que é a principal fonte de informação para a o IEA EBC Annex 74 da Agência Internacional de Energia (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2021) europeia, que tem, entre seus objetivos, a intenção de organizar uma plataforma científica de discussão de novos conceitos para edificações e bairros sustentáveis, conectando a indústria do setor da construção à academia, em nível internacional.

Vários estudos confirmam que a participação em programas educativos e eventos dessa natureza incrementam o conhecimento de participantes e público em geral sobre as áreas técnicas de conhecimento envolvidas (NAVARRO et al., 2014; WARNER et al., 2009). A operação em tempo real desses laboratórios vivos vem contribuindo para a otimização de parâmetros de projeto e de instalações em direção ao objetivo NZEB e maior sustentabilidade das edificações (UBIÑAS et al., 2014; FERRARA et al., 2020).

### 2.3. Edifícios demonstrativos

Encontram-se na literatura científica recente relatos de um número cada vez maior de edifícios demonstrativos de estratégias para obtenção do objetivo NZEB. Eles estão em praticamente todas as partes do mundo, normalmente com uso residencial, comercial ou institucional. Alguns deles são edifícios reais, projetados ou retrofitados com esse fim, enquanto outros se relacionam a pesquisa acadêmica aplicada e disseminação de conhecimento, frequentemente localizados em universidades e centros de pesquisa. Na União Europeia, o projeto da IEA EBC Annex 52 Task 40, encerrado em 2014, encarregou-se de preparar uma base de dados internacional, disponível para reunir exemplos de edificações, em uma tentativa de estabelecer benchmarks de soluções técnicas e arquitetônicas para climas frios, quentes e temperados. O mapa dessas edificações (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2013), ainda que aparentemente desatualizado, indica, principalmente, sobre a localização desses edifícios no Hemisfério Norte. Destaca-se o fato de que apenas três destes casos estão localizados em zona intertropical. Um logro importante desse projeto foi a discussão da definição do conceito NZEB

e o estabelecimento de ferramentas de avaliação, conforme O'Brien et al. (2015), Voss e Musall (2013) e Hermelink et al. (2012), as quais são amplamente utilizadas pela comunidade científica.

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. Somente três exemplos localizam-se em climas quentes, caracterizados pela demanda predominante para refrigeração, como nas Ilhas La Reunion (latitude 21°S, 55°L) e em Singapura (latitude 1°20'N, 103°L). Evidencia-se a pouca presença de estudos sobre NZEBs nesses climas, que exigem estratégias mais ligadas ao resfriamento do edifício e cujo monitoramento pode trazer respostas e avanços importantes para a pesquisa nessas localidades.

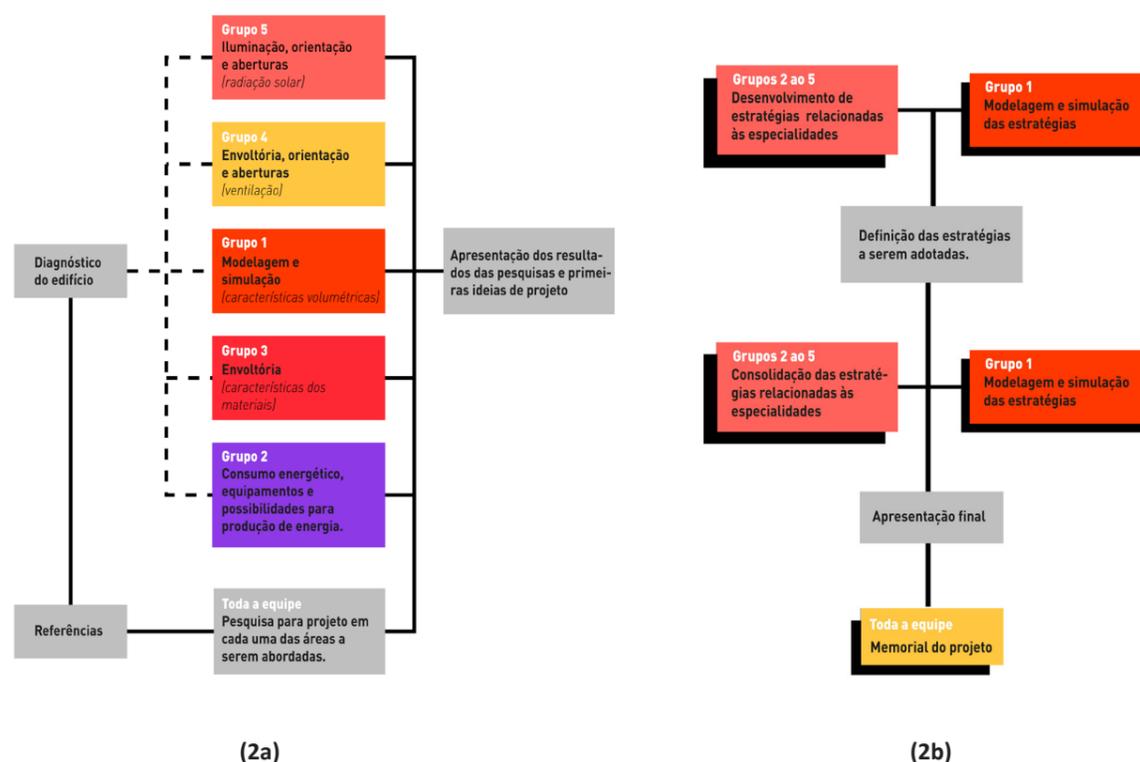
Nos EUA, o New Building Institute (NBI) mantém uma base de dados de edificações intituladas ZE (Zero Energy) no seu território (NEW BUILDINGS INSTITUTE, 2019), ao mesmo tempo que disponibiliza ferramentas para ajudar no desenho e avaliação das soluções. Nelas, além de promover que as edificações usem energias renováveis para suprir sua demanda energética, encoraja-se também a otimização da relação com as redes de alimentação públicas.

Observa-se, portanto, que universidades e centros de pesquisa concentram protótipos e edifícios demonstrativos relacionados à eficiência energética, aplicação de energias renováveis e otimização de parâmetros em operação para atingir o objetivo ZEB ("zero-energy building"). Normalmente, eles servem a pesquisas em nível de graduação, pós-graduação e desenvolvimento industrial em parceria com empresas do setor de construção no desenvolvimento de métodos e novos produtos (ZAHNER, 2020).

No Brasil, deve-se destacar a iniciativa pioneira do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE), da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), que já em 2010, em parceria com a Eletrosul e a Eletrobrás, construiu uma casa que funcionou como laboratório de ensino, pesquisa e edifício demonstrativo de eficiência energética, chamada "Casa Eficiente". Atualmente, o edifício abriga o LMBEE (Laboratório de Monitoramento Ambiental e Eficiência Energética) da própria UFSC, instituição que vem participando ativamente na definição de políticas públicas sobre eficiência energética no país.



Figura 2: Fluxo do projeto conceitual (superior) e fluxo de desenvolvimento do projeto (inferior)



Fonte: Mendes e Amorim (2017, página 6).

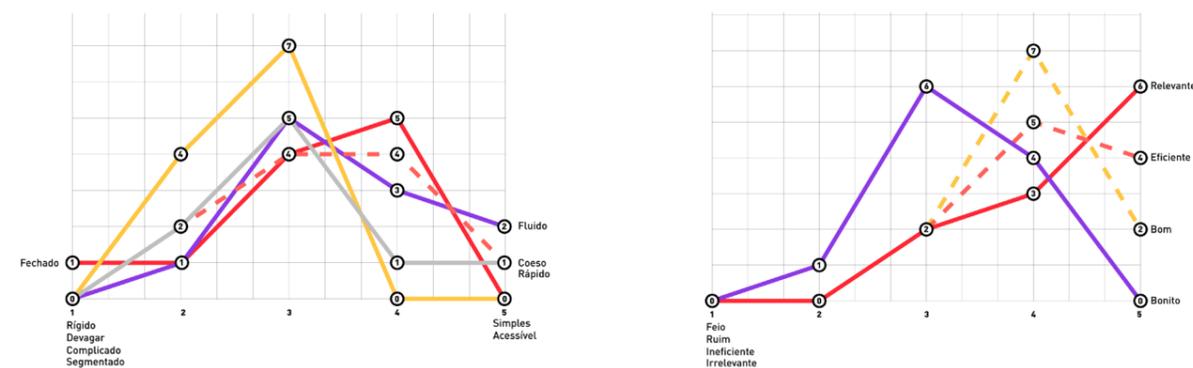
A carga-horária total adotada para foi de quatro créditos semanais, em um total de 60 horas-aula, sendo uma hora-aula correspondente a 50 minutos, com duração de 15 semanas. Contudo, a disciplina exigiu dos alunos 72 horas de dedicação efetiva ao projeto, somados os períodos de trabalho extraclasse. Deste total, 24 horas-aulas foram utilizadas para embasamento teórico através de aulas expositivas e apresentação de seminários de leitura. As demais 48 horas-aulas foram destinadas ao desenvolvimento do projeto de retrofit para NZEB.

O método didático adotado para o projeto combina os modelos propostos por Carlo, Araújo e Telles (2011) e O'Brien et al. (2015). Os primeiros autores apresentam uma "proposta didática para o ensino de projeto de Arquitetura bioclimática" através da avaliação do "desempenho dos estudantes e a sua evolução ao longo das etapas do processo ensino-aprendizagem". O foco desta metodologia é a definição de papéis para cada aluno em especialidades definidas. A responsabilidade de integração dos diversos conteúdos ao projeto é, então, atribuída aos próprios alunos, que também devem interagir

entre si, fazendo com que todos sejam responsáveis pelos projetos desenvolvidos. Já O'Brien et al. (2015) propõem adotar 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 comunicação efetiva durante o processo de projeto. Assim, o método finalmente utilizado na disciplina, que propôs a formação de equipes nos diversos temas a serem abordados no projeto (Figura 2a); a presença de pelo menos um facilitador; objetivos bem definidos; e reuniões periódicas de toda a equipe para compartilhamento de resultados e alinhamento de ações. Uma equipe especializada em simulações computacionais atuou transversalmente durante o fluxo de desenvolvimento do projeto, recebendo e fornecendo inputs e dando feedbacks às demais, como demonstra a Figura 2b.

Mendes e Amorim (2017) avaliaram a experiência coletando dados sobre a percepção dos estudantes acerca da metodologia de projeto abordada em sala de aula, através de questionário baseado no diferencial semântico. Os resultados sobre a percepção dos alunos

Gráfico 1: Percepção dos alunos com relação ao projeto (esquerda) e percepção dos alunos quanto ao processo (direita)



Fonte: Mendes e Amorim (2017, página 10).

com relação ao projeto mostram que, adotando-se a nota 3 como ponto neutro, as respostas tendem a caracterizar o projeto como relevante, bom e eficiente (Gráfico 1- esquerda). Já quanto à percepção dos alunos com relação ao processo adotado para o projeto, os resultados – também considerando a nota 3 como neutra – apontam um processo que tende a ser considerado fluido, rápido e acessível, (Gráfico 1- direita). No entanto, não é considerado simples e coeso.

Os resultados técnicos produzidos no âmbito do processo de projeto indicam que o edifício existente apresentava originalmente consumo energético total de 115,7 kWh/m<sup>2</sup>.ano, com consumo caracterizado por demanda de 50% devido ao ar condicionado e o restante iluminação e equipamentos. Através de estratégias passivas, como inserção de brises para proteção solar, maiores aberturas para ventilação natural e isolamento térmico na cobertura, além de estratégias ativas como lâmpadas mais eficientes e controles de iluminação, a economia de energia prevista é de 52%, reduzindo o consumo para 51,68 kWh/m<sup>2</sup>.ano, abaixo da média de edifícios de escritórios em Brasília (COSTA; OLIVEIRA; AMORIM, 2017). Foi comprovado que esta energia pode ser gerada localmente, através da instalação de sistemas fotovoltaicos na cobertura do edifício, sendo possível, portanto, a obtenção de um ZEB. Todos os resultados, que superaram a meta de alcance do balanço energético nulo para o edifício, foram obtidos com métodos e técnicas baseados na literatura, com alto grau de confiabilidade e posteriormente publicados em evento internacional da área (WERNECK et al, 2017).

#### 4. O processo de projeto ambiental integrado na prática: experiência LabZero – UnB

No Brasil, observou-se nos últimos 20 anos um notável esforço de agentes públicos, instituições científicas e afins para promover uma maior eficiência energéticas

nas edificações. Entre as várias iniciativas destacam-se o sistema de etiquetagem do nível de eficiência energética de edificações comerciais e de serviços (RTQ-C) e residenciais (RTQ-R), e a obrigatoriedade de adoção da norma de desempenho ABNT NBR 15.575:2013. Entretanto, não há no momento plano oficial para tornar os edifícios NZEB, ainda que exista normativa (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2015) que permite e regula a injeção na rede pública de distribuição de energia elétrica gerada de fontes renováveis em edificações – essa regulamentação e o abundante recurso solar disponível no país (CRONEMBERGER; CAAMAÑO-MARTÍN; SÁNCHEZ, 2012) fazem com que sua adoção seja não apenas viável, como enormemente favorecida. Mesmo que inexistam registros sistematizados sobre edifícios NZEB no Brasil, nota-se nos últimos anos uma crescente produção científica em torno ao tema e o relato de projetos correlatos, em especial em campi universitários, como na UnB (AMORIM et al., 2017; COSTA, 2018). Nesse contexto é que se insere a chamada pública da Eletrobrás, no âmbito do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), o qual selecionou quatro projetos de edificações NZEB estrategicamente distribuídos no território nacional para apoio com recursos econômicos. É condição obrigatória o funcionamento dos edifícios em caráter demonstrativo, abertos à visitação pública continuada e ademais submetidos a um processo de medição e verificação (M&V) pela Eletrobrás.

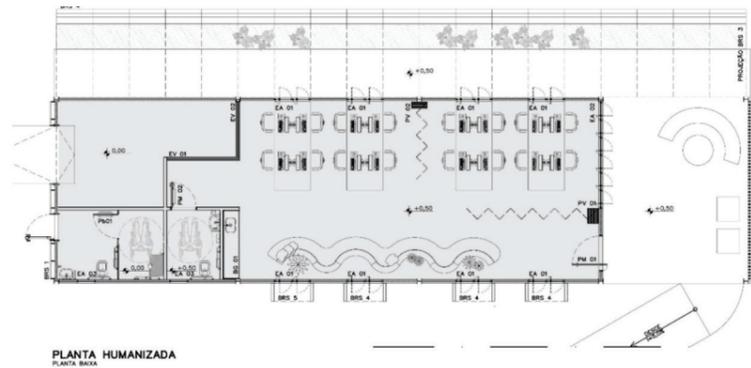
Desta forma, a promoção de NZEBs vem ao encontro de estudos de políticas públicas para sua implementação em maior escala, trazendo benefícios sociais na redução de emissões de carbono, além de contribuir para a transição para uma matriz energética ainda mais renovável. (...) A introdução de NZEBs faz-se então estratégica, uma vez que agrega, além de benefícios sociais, benefícios econômicos e ambientais à sociedade. (...) A disseminação deste conceito,

Figura 3: Perspectiva do projeto LabZero-UnB



Fonte: AMORIM; CRONEMBERGER (2020, página 13)

Figura 4: Planta-baixa do projeto LabZero- UnB



Fonte: AMORIM; CRONEMBERGER (2020, página 14).

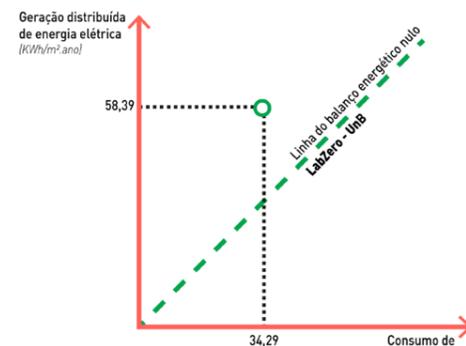
no Brasil, permitirá que a indústria da construção civil nacional volte sua atenção para este tipo de construção, que ao ter um balanço anual energético próximo à zero, contribuirá diretamente para a redução do custo da energia elétrica, nas edificações novas e retrofitadas, que adotarem este conceito. (ELETROBRÁS, 2019).

Apoiada nas políticas institucionais da UnB em relação a ações de sustentabilidade em seus campi, reuniu-se uma equipe multidisciplinar formada por docentes, estudantes de pós-graduação, graduação e técnicos do setor de obras da universidade para desenvolvimento de um projeto para submissão à chamada pública: o LabZero-UnB. A edificação deverá abrigar um laboratório e espaço de coworking, tendo sido um dos quatro contemplados na chamada (3º lugar geral). No certame foram também vencedores projetos apresentados pelo Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (Cepel) em parceria com a Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio de Janeiro (FAU-UFRJ); pela Universidade Federal de Pelotas (UFPel); do Rio Grande do Sul; e pela Universidade Federal de Integração Latino-Americana (UNILA), em Foz do Iguaçu (ELETROBRÁS, 2020).

Portanto, o LabZero-UnB é fruto de uma competição com objetivo de viabilizar a construção de um edifício demonstrativo. Ele será construído no

Campus Darcy Ribeiro da Universidade, mais especificamente na área do Parque Científico e Tecnológico (PCTec/UnB), com objetivo de fortalecer o desenvolvimento socioeconômico das estruturas de pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I). Sua forma alongada e pouco profunda tem como premissa a adequação arquitetônica para favorecer o aproveitamento de recursos passivos adequados ao clima local, classificado como Tropical de Altitude - Zona Bioclimática 4 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005). Assim, as fachadas mais longas orientadas a Norte e Sul visam maximizar tanto

Figura 5: Gráfico do balanço energético entre consumo e geração da edificação



Fonte: AMORIM; CRONEMBERGER (2020, página 63).

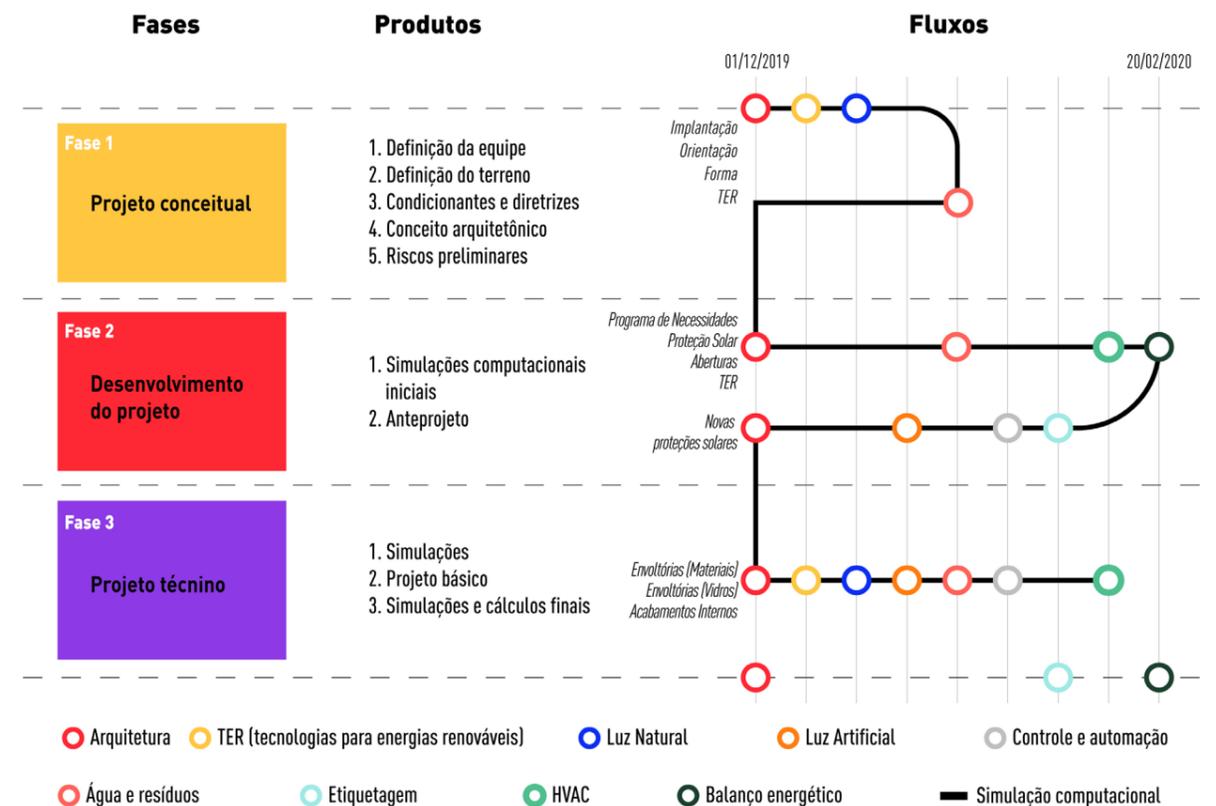
o aproveitamento da iluminação natural quanto a geração de energia elétrica através de sistemas solares fotovoltaicos integrados em cobertura e brises (AMORIM; CRONEMBERGER, 2020). Várias soluções passivas e ativas foram combinadas para garantir o conforto térmico, luminoso e a eficiência energética, como por exemplo, chaminé solar, exaustores e equipamento de climatização e iluminação artificial eficientes. Uso racional da água, gestão de resíduos e mobilidade elétrica serão também características do projeto.

Após sua construção, a edificação será monitorada por sistemas de aquisição de dados (AMORIM; CRONEMBERGER, 2020), de maneira que se poderão validar os dados obtidos nas simulações termo energéticas. Durante a fase de projeto estudaram-se em detalhe o potencial de desempenho ambiental e energético da edificação, em especial o sistema de iluminação artificial, a iluminação natural, o desempenho energético (demanda de energia para funcionamento de todos os sistemas) e potencial de geração de energia fotovoltaica por meio de sistemas on-grid e off-grid (GOÉS et al., 2021). Utilizaram-se os programas de simulação Radiance, por meio de Relux e Honeybee, EnergyPlus, via DesignBuilder, assim como SAM. A demanda anual

de energia elétrica final foi estimada em 34,29 kWh/m².ano, e a geração de energia de 58,39 kWh/m².ano, indicando que, além do atendimento pleno à condição de edifício NZEB (Figura 5), pode esperar-se um excedente de energia previsto para alimentar bicicletas elétricas. Ressalte-se que, durante um ano após o término da construção, a edificação será submetida a um processo de medição e verificação (M&V) pela Eletrobrás para aferição do objetivo marcado de balanço energético nulo.

O sucesso da proposta se deve em grande medida ao processo de desenvolvimento do projeto (AMORIM et al., 2021), para o qual utilizou-se a abordagem de processo de projeto integrado. É certo que a concepção de edifícios NZEB exige uma combinação complexa de conhecimentos e expertises, mas também demanda uma organização adequada para aplicação nas diversas etapas de projeto. A metodologia adotada incluiu a definição da equipe de projetistas e do processo de projeto integrado, o estabelecimento de pressupostos e diretrizes, risco arquitetônico preliminar, simulações computacionais iniciais, anteprojeto, projeto básico, seguidas finalmente pela repetição das simulações do desempenho energético (Figura 6).

Figura 6: Processo de projeto, com produtos e fluxo de projeto



Fonte: AMORIM et al. (2021, página 8)

Contar com uma equipe multidisciplinar com pesquisas previamente desenvolvidas relacionadas ao tema de eficiência energética possibilitou transferir experiências de pesquisa para a prática de projeto. Ressalte-se também a importância de envolver desde o início as instâncias administrativas ligadas à gestão de projetos e obras da Universidade, capaz de lidar com as normas internas e ações administrativas para a consecução da futura obra.

## 5. Considerações finais

### 5.1 Sobre as experiências de ensino e uso do método Proceso de Projeto Integrado

As experiências de ensino relatadas demonstraram a importância de integrar os aspectos ambientais desde os primeiros riscos de projeto. No âmbito da graduação a integração ocorreu pela presença do professor de Projeto Ambiental Integrado (PAI) no ateliê de projeto arquitetônico, oferecendo insumos e ferramentas para a abordagem ambiental no projeto, sem ainda plenamente aplicar um método. Essa experiência didática reforça a necessidade de ajustes no processo de ensino, de modo a contemplar as constantes evoluções tecnológicas, sociais e ambientais do desenvolvimento humano. No ensino de projeto arquitetônico é imprescindível incorporar as demandas cada vez maiores quanto à sustentabilidade, conforto e qualidade ambiental. Para isto, a integração das disciplinas e o uso dos instrumentos e ferramentas disponíveis devem ser cuidadosamente preparados e constantemente ajustados aos novos objetivos e requerimentos e ao desenvolvimento tecnológico recente. No caso da pós-graduação, onde se aplicou de forma plena o PPI, observou-se que os estudantes já possuíam suas experiências e práticas habituais de projeto, o que poderia se configurar como uma dificuldade adicional. No entanto, o projeto obtido alcançou a meta colocada na disciplina em termos de alcance do balanço energético nulo para o edifício em estudo, evidenciando uma experiência bem-sucedida. Embora o processo não tenha sido avaliado pelos alunos como coeso, foi considerado fluido e acessível, e o conhecimento adquirido foi considerado bom. Ficou evidente a importância da divisão de tarefas por equipes articuladas e a presença de um facilitador que favoreça a comunicação e a troca de informações entre as equipes especialistas. Também é evidente a importância das ferramentas de simulação computacional neste processo, a serem utilizadas por uma equipe que atua de forma transversal aos demais integrantes do projeto, recebendo inputs e oferecendo feedbacks à equipe.

No caso da experiência projetual do LabZero-UnB, o PPI, utilizado como metodologia, mostrou-se eficiente e evidenciou a possibilidade de transpor metodologias de pesquisa e trabalhos anteriores já integrados para a prática de projeto. Nesse caso, constata-se o uso pleno do PPI, com uma equipe multidisciplinar, uso de ferramentas de simulação desde o início e metas claras. Destacam-se como dificuldades as barreiras relacionadas à coordenação de uma equipe multidisciplinar e organização, planejamento e retroalimentação do projeto para o alcance das metas no processo de projeto integrado. Pode-se supor que a utilização de ferramentas como Building Information Modelling (BIM) poderá facilitar e ajudar na superação destas dificuldades, mas certamente exige ainda um esforço adicional na capacitação dos envolvidos. Além dos itens mencionados anteriormente na experiência da pós-graduação, evidencia-se também a importância dos facilitadores, que além de coordenar os ciclos de feedback das simulações computacionais e das decisões entre as equipes especializadas e ao grupo como um todo, têm o papel de delimitar prazos e níveis de detalhamento para cada especialidade e gerenciar a boa execução do projeto. 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 acompanhada pelos facilitadores.

Conclui-se pela replicabilidade do processo, o que também trará mais aportes para discussão e aprimoramento. Certamente há espaço para maior aplicação do conceito de PPI 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 e pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo pode facilitar a transposição da teoria para a prática projetual, formando profissionais aptos a alcançar o balanço energético nulo ou quase nulo nas edificações.

### 5.2. Sobre a perspectiva do Lab-Zero-UnB como plataforma de pesquisa, ensino e extensão

Uma vez construído o LabZero-UnB, espera-se fortalecer as atuais conexões entre os grupos de pesquisa da Universidade que já trabalham com pesquisas relacionadas a balanço energético nulo e sustentabilidade no ambiente construído, além de criar novos laços acadêmicos com as demais instituições brasileiras contempladas na chamada pública, iniciando quicá uma rede de conhecimento nacional sobre o tema de ZEBs.

É possível antever várias áreas que poderão ser objeto de pesquisa e desenvolvimento, tais como: avaliação das estratégias de projetos bioclimáticos; otimização de parâmetros de conforto ambiental; calibração de modelos de simulação previamente utilizados; desenvolvimento de novos sistemas e materiais inovadores; análise da integração de sistemas fotovoltaicos; injeção de energia na rede de distribuição e otimização das baterias; pegada de carbono da edificação; otimização da aquisição de dados da monitorização, entre outros. A própria edificação poderá ser utilizada como objeto de estudo em disciplinas na graduação e pós-graduação e funcionar como um laboratório vivo de técnicas e sistemas.

A proposta também apresenta um plano inovador de visitação, que foi especificamente concebido para atrair e receber visitantes para o edifício demonstrativo a ser construído, com o objetivo de disseminar conhecimento sobre edifícios NZEB no país. Esse aspecto poderá ser também um importante estímulo para a interação da Universidade com a comunidade externa, envolvendo docentes e discentes previamente treinados.

### 5.3. Lacunas de conhecimento e futuras pesquisas

Artigos científicos em profusão sobre o tema de NZEB e assuntos correlatos demonstram que o tema está longe de se esgotar. Ao contrário, diversos estudos recentes apontam as principais lacunas de conhecimento que ainda devem ser salvas, tais como a diferença entre demanda de energia simulada e medida em operação (WILDE, 2014; GERALDI; GHISI, 2020), o custo-benefício das medidas de eficiência energética em diferentes tipos de edificações (FERRARI et al., 2017), o efeito do comportamento dos usuários na operação real (SUN et al., 2017), e mesmo o impacto das condições socioeconômicas no consumo de eletricidade de edifícios residenciais (JONES et al., 2015).

As próximas fronteiras de pesquisa sobre o tema parecem ir na direção de soluções mais sustentáveis e preocupadas com a pegada de carbono das soluções, conectadas aos climas, resgatando usos e tradições locais, sempre atentas às preocupações com combater as mudanças climáticas. A isso, soma-se a importância de produzir conhecimento científico sobre uma base de dados reais obtidos em zonas de clima tropical, coadunada com a realidade técnica e socioeconômica brasileira.

## Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. Resolução Normativa no. 687, de 24 de novembro de 2015. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. Brasília. Disponível em <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>. Acesso em: 05 set. 2021.

AMORIM, C. N. D. et al. Projeto Ambiental Integrado: os Desafios do Ensino de Arquitetura. In: XII ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2008, Fortaleza. Anais [...].

AMORIM, C. N. D. Iluminação natural e eficiência energética: critérios para intervenção em edifícios não residenciais modernos do Plano Piloto de Brasília. Brasília: UnB, 2016. 15f. Projeto de pesquisa: Fundação de Amparo à Pesquisa do Distrito Federal (FAP-DF). Brasília. Edital – 3/2016, 2016.

AMORIM, C. N. D. et al. Da pesquisa ao projeto: edifício de balanço energético nulo – o caso do LabZero-UnB. In: XVI ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO / XII ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2021, Palmas. Anais [...].

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. N. D.; CRONEMBERGER, J. (Org.). Proposta de Projeto de Edificação de Balanço Energético Nulo (NZEB): LabZero UnB – memorial descritivo. Universidade de Brasília, 2020. 76 p.

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.

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

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

CARLO, J. C.; ARAÚJO, A. L. de; TELLES, C. de P. Proposta didática para o ensino de projeto de arquitetura bioclimática. In: XI ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE

CONSTRUÍDO, 2011, Búzios. Anais [...].

COSTA, J. F. W. Edifícios de balanço energético nulo: um estudo para escritórios em Brasília. 2018. 329f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

COSTA, João F. W.; OLIVEIRA, N. P.; AMORIM, C. N. D. Morphological characteristics and energy consumption of office buildings in the central area of Brasília. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE, 2017, Edinburgh. Proceedings, Edinburgh, v. 2, p. 2507-2514, 2017. Disponível em: [https://plea2017.net/wp-content/themes/plea2017/docs/PLEA2017\\_proceedings\\_volume\\_II.pdf](https://plea2017.net/wp-content/themes/plea2017/docs/PLEA2017_proceedings_volume_II.pdf). Acesso em: 06 set. 2018.

CRONEMBERGER, J.; CAAMAÑO-MARTÍN, E.; SÁNCHEZ, S. V. Assessing the solar irradiation potential for solar photovoltaic applications in buildings at low latitudes – Making the case for Brazil. Energy and Buildings, v. 55, p. 264-272, 2012.

DOURADO, B. M.; AMORIM, C. N. D. O ensino da sustentabilidade em escolas de Arquitetura e Urbanismo no Brasil. In: XII ENCONTRO NACIONAL DO CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO / VIII ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2013, v.1, p. 452-461. Brasília, 2013. Anais [...].

EDUCATE – Environmental Design in University Curricula and Architectural Training in Europe. Sustainable Architectural Education. White Paper, 2012.

ELETOBRÁS. Edital de Chamada Pública NZEB Brasil. Rio de Janeiro, 2019.

ELETOBRÁS. Chamada Pública Procel Edifica NZEB Brasil. Resultado Final - Etapa Final: Rev. 01. 2020. Disponível em: <https://eletobras.com/pt/AreasdeAtuacao/RESULTADO%20FINAL%20-%20etapa%20final%20Rev.01.pdf>. Acesso em: 05 set. 2021.

EUROPEAN UNION - EU. Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast). 2010/31 ed., 2010. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=celex%3A32010L0031>. Acesso em: 05 set. 2021.

EUROPEAN COMMISSION. Energy performance of buildings directive, 2019. Disponível em: [https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive\\_en](https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive_en). Acesso em: 06

set. 2021.

FERRARA, M. et al. Optimizing the transition between design and operation of ZEBs: lessons learnt from the Solar Decathlon China 2018 scutxpolito prototype. Energy and Buildings, v. 213, p. 109824, abr. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109824>. Acesso em: 05 set. 2021.

FERRARI, S. et al. Energy-environmental and cost assessment of a set of strategies for retrofitting a public building toward nearly zero-energy building target. Sustainable Cities and Society, v. 32, p. 226-234, jul. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2017.03.010>. Acesso em: 05 set. 2021.

FIGUEIREDO, F. G.; SILVA, V. G. Processo de Projeto Integrado e desempenho ambiental de edificações: os casos do SAP Labs Brazil e da Ampliação do CENPES Petrobras. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 12, n. 2, p. 97-119, 2012.

GARDE, F.; DONN, M. Solution sets and Net Zero Energy Buildings: A review of 30 Net ZEBs case studies worldwide. 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 em: 30 mar. 2021.

GERALDI, M. S.; GHISI, R. Building-level and stock-level in contrast: a literature review of the energy performance of buildings during the operational stage. Energy and Buildings, v. 211, p. 109810, mar. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109810>. Acesso em: 05 set. 2021.

GÓES, T. M. et al. LabZero-UnB: Simulação Para o Desempenho de Edifício de Balanço Energético Nulo em Brasília. In: XVI ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO / XII ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2021, Palmas. Anais [...]. No prelo

HERMELINK, A. et al. Towards nearly zero-energy buildings – definition of common principles under the EPDB (Final Report). Ecofys, 2012.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY- IEA IEA EBC Annex 74- Competition and Living Lab Platform. 2021. Disponível em: <https://annex74.iea-ebc.org/>. Acesso em: 05 set. 2021.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY- IEA. IEA SHC Task 40- Net Zero Energy Solar Building. 2013. Disponível em: <https://task40.iea-shc.org/publications>. Acesso em: 05 set. 2021.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE-IPCC. Climate Change 2007: mitigation of climate change. 2007. 863 p. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar4/wg3/>. Acesso em: 05 set. 2021.

JONES, R. V. et al. The socio-economic, dwelling and appliance related factors affecting electricity consumption in domestic buildings. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 43, p. 901-917, mar. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.11.084>. Acesso em: 05 set. 2021.

KELLER, M.; BURKE, B. Fundamentos de projetos de edificações sustentáveis. Porto Alegre: Bookman, 2010.

KWOK, A. G.; GRONZIK, W. T. The Green Studio Handbook. Oxford, UK: Elsevier, 2007. 378p.

MENDES, N. M. M.; AMORIM, C. N. D. Projeto ambiental integrado: uma experiência didática. In: III CONGRESSO DE INOVAÇÃO E METODOLOGIAS DO ENSINO SUPERIOR, 2017, Belo Horizonte, 2017, p. 1-10, Anais [...].

MONTEIRO L. M.; BITTENCOURT L.; YANNAS S. Arquitetura da Adaptação. In: GONÇALVES J.; BODE K. (Org.) Edifício Ambiental. 1st ed. São Paulo: Oficina de Textos; 2015.

NAVARRO, I. et al. Experiences and methodology in a multidisciplinary energy and architecture competition: solar decathlon Europe 2012. Energy and Buildings, v. 83, p. 3-9, nov. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.03.073>. Acesso em: 05 set. 2021.

NEW BUILDINGS INSTITUTE-NBI. Getting to Zero Buildings Database, 2019. Disponível em: <https://newbuildings.org/resource/getting-to-zero-database/>. Acesso em: 05 set. 2021.

O'BRIEN W.; BOURDOUKAN P.; DELISLE V.; YIP A. Net ZEB design processes and tools. In: ATHIENITIS A.; O'BRIEN W. (Org.) Modelling, Design and Optimization of Net-Zero Energy Buildings. Berlin: Ernst & Sohn; 2015.

SÁNCHEZ, S. V. et al. Science behind and beyond the solar decathlon Europe 2012 competition. Energy and Buildings, v. 83, p. 1-2, nov. 2014. Elsevier BV. Disponível em:

<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.07.017>. Acesso em: 05 set. 2021.

SARTORI, I. et al. Net zero energy buildings: a consistent definition framework. Energy and Buildings, v. 48, p. 220-232, 2012. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.01.032>. Acesso em:

SOLAR DECATHLON. Building Energy Competition & Living Lab Knowledge Platform, 2019. Disponível em: <https://building-competition.org/>. Acesso em: 05 set. 2021.

SUN, K. et al. A framework for quantifying the impact of occupant Behavior on energy savings of energy conservation measures. Energy and Buildings, v. 146, p. 383-396, Jul. 2017. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.04.065>. Acesso em: 05 set. 2021.

UBINÁS, E. R. et al. Energy efficiency evaluation of zero energy houses. Energy and Buildings, v. 83, p. 23-35, 2014.

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

WARNER, C. et al. The 2009 Department of Energy Solar Decathlon and the 2010 European Solar Decathlon - expanding the global reach of zero energy homes through collegiate competitions. 34th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), p. 2121-2125, 2009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1109/PVSC.2009.5411425> Acesso em: 05 set. 2021.

WERNECK, D. R. et al. Studies on energy performance utilizing computer simulations towards a ZEB building: a case study in Chico Mendes Institute in Brasília. In: 144 PROCEEDINGS OF THE 33RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE, v. II, p. 2720-2727, 2017, Edinburgh. Proceedings [...].

WILDE, P. de et al. The gap between predicted and measured energy performance of buildings: a framework for investigation. Automation In Construction, v. 41, p. 40-49, 2014. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2014.02.009>. Acesso em: 05 set. 2021.

ZAHNER. Works: Lumenhaus, 2020. Disponível em: <https://www.azahner.com/works/lumenhaus/>. Acesso em: 05 set. 2021.

## Perfil dos autores



**Ayana Dantas de Medeiros**

Arquiteta e urbanista, mestre em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade de Brasília e doutoranda na área de Tecnologia, Ambiente e Sustentabilidade. Docente no Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Roraima e pesquisadora no Laboratório de Controle Ambiental e Eficiência Energética, com ênfase em ventilação e iluminação natural.



**Caio Frederico e Silva**

Arquiteto e Urbanista, doutor em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade de Brasília. Docente da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo e no Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília. Desenvolve pesquisas na área de sustentabilidade do ambiente construído, eficiência energética e simulação computacional.



**Carolina Mendonça Zina**

Arquiteta e Urbanista pela Universidade Federal de Mato Grosso. Mestre em Sustentabilidade, Qualidade e Eficiência do Ambiente Construído pelo Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília e doutoranda no Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, na mesma linha. Atua nas áreas de Conforto Ambiental, Sustentabilidade e Análise do Ciclo de Vida.



**Cláudia Naves David Amorim**

Arquiteta e Urbanista, doutora em Tecnologias Energéticas e Ambientais na Università degli Studi di Roma "La Sapienza". Docente da Universidade de Brasília (UnB). Atua em pesquisas nas áreas de sustentabilidade e qualidade ambiental, principalmente nos seguintes temas: Iluminação natural, conforto ambiental, eficiência energética, projeto de arquitetura, reabilitação de edifícios e simulação computacional.



**Daniela Barros Silva Freire Andrade**

Psicóloga, doutora em Educação pela Pontifícia Universidade Católica de São Paulo. Docente no Curso de Psicologia da UFMT e no Programa de Pós-Graduação em Educação. Coordenadora do Grupo de Pesquisa em Psicologia da Infância (GPPIN). Tem experiência em Psicologia da Aprendizagem e Desenvolvimento e da Psicologia Social com ênfase na Teoria das Representações Sociais. Desenvolve pesquisas sobre infâncias e com crianças no contexto da cidade, educação e atenção à saúde.



**Elisa Pagliarini Cox**

Arquiteta e Urbanista, doutora em Urbanismo pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Docente do Departamento de Arquitetura e Urbanismo da UFMT. Atua em pesquisas nas áreas de projeto arquitetônico, clima urbano, urbanismo e produção do espaço.



**Everton Nazareth Rossete Junior**

Arquiteto e Urbanista, mestre em Urbanismo, História e Arquitetura da Cidade pela Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC e doutorando no Programa de Pós Graduação em Estudos de Cultura Contemporânea (PPG-ECCO) da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). Docente do Departamento de Arquitetura e Urbanismo da UFMT. Atua em pesquisas nas áreas de Urbanismo, História, Arquitetura da Cidade e Poéticas, artes e culturas em Estudos de Cultura Contemporânea.



**Flávia Maria de Moura Santos**

Arquiteta e Urbanista, doutora em Física Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). Docente do Departamento de Arquitetura e Urbanismo da UFMT e do Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental. Atua nas áreas de sistemas urbanos, tecnologia construtiva, geografia urbana e conforto ambiental.



**Gustavo de Luna Sales**

Arquiteto e Urbanista, doutor em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade de Brasília. Docente da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da UnB. Desenvolve pesquisas no Laboratório de Sustentabilidade Aplicada à Arquitetura e Urbanismo (LaSUS) e no grupo de pesquisa SiCAC - Simulação Computacional do Ambiente Construído, com foco em ventilação natural para o conforto térmico passivo e a qualidade do ar no espaço construído e aplicação da fluidodinâmica computacional na arquitetura e no urbanismo.



**Karyna de Andrade Carvalho Rosseti**

Arquiteta e Urbanista, doutora em Física Ambiental na linha de Análise Microclimática de Sistemas Urbanos pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). docente do Departamento de Arquitetura e Urbanismo UFMT. Desenvolve pesquisas relacionadas ao conforto ambiental, microclima urbano, modelagem computacional de sistemas urbanos, sustentabilidade e inovação de processos e produtos do ambiente construído.



**Luciane Cleonice Durante**

Engenheira Civil, doutora em Física Ambiental na linha de Conforto Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). Docente do Departamento de Arquitetura e Urbanismo e Coordenadora do Laboratório de Tecnologia e Conforto Ambiental (LATECA) da UFMT. Possui interesse pela área de inovação, sustentabilidade e resiliência do ambiente construído.



**Pedro Henrique Gonçalves**

Arquiteto e Urbanista, doutor em Estruturas e Construção Civil pelo Programa de Pós-Graduação. Docente do curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Goiás - Regional Goiás,, onde são desenvolvidas pesquisas nas áreas de: tecnologia e inovação no ambiente construído, planejamento urbano climaticamente responsável e desempenho das edificações.



**Ivan Julio Apolonio Callejas**

Engenheiro Civil, doutor em Física Ambiental na linha de Análise Microclimática de Sistemas Urbanos pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). Docente do Departamento de Arquitetura e Urbanismo. Possui interesse na área de tecnologia do ambiente construído, com enfoque na sustentabilidade, voltados ao desempenho termo energético das edificações e desenvolvimento de materiais, produtos e processos construtivos inovadores.



**Joára Cronemberger Ribeiro Silva**

Arquiteta e Urbanista, doutora em Arquitetura e Construção pela Universidad Politécnica de Madrid. Docente da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da UnB e vice-coordenadora do Laboratório de Controle Ambiental e Eficiência Energética (LACAM). Desenvolve pesquisas relacionadas a estratégias de eficiência energética, sustentabilidade e integração de sistemas fotovoltaicos no ambiente construído.



**Jorge Hernán Salazar Trujillo**

Arquiteto, mestre em Energias Renováveis com Aplicação na Edificação (Universidad Internacional de Andalucía, Espanha) e em Tecnologias Avançadas em Construção Arquitetônica (Universidad Politécnica de Madrid, Espanha). Professor titular da Universidad Nacional de Colombia. Fundador do grupo de pesquisa em Energia, Meio Ambiente, Arquitetura e Tecnologia. Atua em pesquisas relacionam-se a qualidade ambiental, vento, sol, luz energia e suas implicações nos projetos.



**Raquel Naves Blumenschein**

Arquiteta e Urbanista, doutora pelo Centro de Desenvolvimento Sustentável/UnB. Docente da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo/UnB e Diretora do Parque de Inovação e Sustentabilidade do Ambiente Construído – PISAC/PCTec/UnB. Desenvolve pesquisas com foco em Tecnologia, Ambiente e Sustentabilidade, Qualidade e Eficiência do Ambiente Construído e Projeto e Planejamento Edifício, Urbano e Regional.



**Rejane Magiag Loura**

Arquiteta e Urbanista, doutorado em Ciências e Técnicas Nucleares pela Universidade Federal de Minas Gerais. Docente do curso de Arquitetura e Urbanismo e do Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável da UFMG. Áreas de interesse: abordagem integrada de eficiência energética, conforto ambiental e tecnologia da construção com vistas a resiliência de edificações e cidades frente às mudanças climáticas.



**Roberta Vieira Gonçalves de Souza**

Arquiteta e Urbanista, doutora em Engenharia Civil pela UFSC, Docente da Escola de Arquitetura da UFMG e no Programa de Pós Graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável. Atua na área de sustentabilidade do ambiente construído, eficiência energética e iluminação.



**Simone Berigo Büttner**

Arquiteta e Urbanista, especialista em Conforto Ambiental e Eficiência Energética, mestre em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade de São Paulo (FAU/USP) e doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, na linha de Análise Microclimática de Sistemas Urbanos, da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). Docente do Departamento de Arquitetura e Urbanismo da UFMT. Atua em pesquisas nas áreas de inovação, sustentabilidade e resiliência do ambiente construído.



**Vanda Alice Garcia Zanoni**

Engenheira Civil, doutorado em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade de Brasília. Docente do Departamento de Tecnologia da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da UNB. Principais temas de interesse: conservação do patrimônio moderno, HBIM, desempenho higrotérmico, monitoramento e simulações computacionais, condições de exposição, estado de conservação, durabilidade, degradação, manutenção e reabilitação das edificações, inspeções prediais, necessidades habitacionais, inadequação de moradia, melhoria habitacional e assistência técnica.



**Vanessa Gomes**

Arquiteta e Urbanista, Doutora em Engenharia Civil pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Docente da Faculdade de Engenharia Civil e líder do Grupo de Pesquisa "Qualidade e Sustentabilidade do Ambiente Construído UNICAMP. Atua nas áreas de durabilidade de materiais e componentes, gestão ambiental e redução do impacto ambiental da construção civil.



**UnB**



**UFMT**

ISBN: 978-65-00-54215-8

**CSL**



9 786500 542158