



**MUSEUS EM EDIFÍCIOS HISTÓRICOS E NET ZERO ENERGY BUILDINGS: UMA PARCERIA VIÁVEL NO BRASIL?**

***MUSEUMS IN HISTORICAL BUILDINGS AND NET ZERO ENERGY BUILDINGS: A VIABLE PARTNERSHIP IN BRAZIL?***

***MUSÉES ADAPTÉS DANS LES BÂTIMENTS HISTORIQUES ET NET ZERO ENERGY BUILDINGS: UN PARTENARIAT VIABLE AU BRÉSIL?***

**BYRRO RIBEIRO, MARINA. (1); LOMARDO, LOUISE LAND BITTENCOURT (2)**

1. Oikos Arquitetura.- Departamento de Arquitetura  
Rua Visconde de Figueiredo, 64-201 Tijuca – RJ, 20550-050  
E-mail: [marinabyrro@gmail.com](mailto:marinabyrro@gmail.com)

2. Escola de Arquitetura e Urbanismo / UFF.- Departamento de Arquitetura  
Rua Passo da Pátria, 156 - São Domingos, Niterói - RJ, 24210-240  
E-mail: [louiselbl@gmail.com](mailto:louiselbl@gmail.com)

**RESUMO**

Uma nova geração de museus está sendo construída no domínio da arquitetura ambiental - são os museus baseados no conceito NZEBs, que têm o balanço anual de consumo de energia do edifício próximo de zero. Projetos de museus já apresentam resultados na redução do consumo de energia, com utilização de novas tecnologias, intervenções bioclimáticas e construções passivas. Embora a aplicação de conceitos de eficiência energética na arquitetura de museus seja corrente em diversos países, no Brasil ainda se configura como um desafio a ser vencido. Em se tratando de eficiência energética em museus adaptados em edifícios históricos essa prática ainda não conseguiu ser implantada aqui. Porém, uma nova etapa surge - museus que também geram energia limpa e renovável para consumo próprio, podendo ainda utilizar energia da rede de distribuição existente. Essa perspectiva de criação de edifícios históricos eficientes pretende otimizar recursos de manutenção dos edifícios museus adaptados. Esse artigo pretende discutir a viabilidade do conceito NZEBs para o futuro dos museus brasileiros adaptados em edifícios históricos, para criar uma infraestrutura sustentável e dinâmica.

**Palavras-chave:** NZEBs-*Net Zero Energy Buildings*; Edifício Histórico Eficiente; Arquitetura Ambiental de Museus; Arquitetura Passiva; Eficiência Energética;

## **ABSTRACT**

*A new generation of museums is being built in the field of environmental architecture - museums based on the NZEBs concept, with nearly zero energy building consumption annual balance. Museum projects have already shown results in reducing energy consumption, using new technologies, bioclimatic interventions and passivhaus. Although the application of energy efficiency concepts in museum architecture is common in several countries, in Brazil it is still a challenge to be overcome. In terms of energy efficiency in museums adapted in historic buildings, this practice has not yet been implemented here. However, a new stage appears - museums that also generate clean and renewable energy for their consumption, and can also use energy from the existing distribution network. This perspective of creating efficient historic buildings intends to optimize maintenance resources of adapted museums. This article aims to discuss the feasibility of the NZEBs concept for the future of Brazilian museums adapted in historic buildings, in order to create a sustainable and dynamic infrastructure.*

**Keywords:** NZEBs-Net Zero Energy Buildings; Energy Efficiency in Historic Buildings; Environmental Museums Architecture ; Passive House; Energy Efficiency;

## **RÉSUMÉ**

*Une nouvelle génération de musées est en train de se construire dans le domaine de l'architecture environnementale - ce sont les musées basés sur le concept des NZEB, qui ont un bilan annuel de consommation d'énergie proche de zéro. Les projets des musées montrent déjà des résultats en termes de réduction de la consommation d'énergie, en utilisant les nouvelles technologies, les interventions bioclimatiques et le passivhaus. Bien que l'application des concepts d'efficacité énergétique dans l'architecture des musées soit courante dans plusieurs pays, au Brésil, c'est encore un défi à relever. En termes d'efficacité énergétique dans les musées adaptés aux bâtiments historiques, cette pratique n'est pas encore mise en œuvre ici. Cependant, une nouvelle étape apparaît - les musées qui génèrent également de l'énergie propre et renouvelable pour leur consommation, et peuvent également utiliser l'énergie du réseau de distribution existant. Cette perspective de création de bâtiments historiques performants entend optimiser les moyens d'entretien des musées adaptés. Cet article vise à discuter de la faisabilité du concept des NZEB pour l'avenir des musées brésiliens adaptés aux bâtiments historiques, pour créer une infrastructure durable et dynamique.*

**Mots-clés:** NZEBs-Net Zero Energy Buildings; Patrimoine et énergie; Architecture bioclimatique des musées; Architecture passive; Efficacité énergétique;

## **Introdução**

As consequências das atuais crises, sanitária / social / econômica / ambiental, colocam em evidência problemas desencadeados pela forma como nossa sociedade vem se relacionando e interferindo na natureza, para dela retirar um desigual desenvolvimento. Preocupa saber que nossos ecossistemas são um repositório de microrganismos que, diante do desequilíbrio ecológico provocado pela intensificação do desmatamento, podem exportar doenças desconhecidas até então. O aquecimento provocado por uma urbanização que desconsidera o meio ambiente e assim se impõe sobre o território, também provoca outros desdobramentos da crise ambiental que vivemos.

Muitas áreas do conhecimento têm desenvolvido novos conceitos para incorporar a ecologia em suas práticas profissionais, sendo a arquitetura e urbanismo um dos campos onde projetar com a natureza é uma prática que tem se consolidado. O patrimônio histórico edificado que representa uma extensa área de edifícios preexistentes, de forma ainda tímida, busca estratégias bioclimáticas para conforto ambiental numa interação entre edifício e meio ambiente. Os museus, muitos deles adaptados em edifícios históricos, que sentem a crise econômica pela escassez de investimentos, quase sempre públicos, precisam minimizar custos de manutenção e efetivar estratégias de conservação preventiva de suas coleções com menor consumo de energia.

Porém, no Brasil ainda temos dificuldades em desenvolver uma abordagem de eficiência no campo do patrimônio histórico construído. Existe resistência em aceitar intervenções que não fiquem restritas a técnicas de restauro e conservação, ou seja, dificuldades em reconhecer a necessidade de intervenções que visem modificar aspectos do bem preservado. Isso pode estar contribuindo para o crescimento de outra crise, a do setor do patrimônio edificado em sua contribuição para suprir necessidades de espaços construídos para a atual sociedade.

O uso da energia tem sido importante tema na arquitetura, independente da tipologia a ser considerada. Por longo período o uso de equipamentos na arquitetura e conseqüentemente o incremento no consumo de energia fizeram e ainda fazem parte da solução de conforto e proteção do clima exterior. Essa visão vem sendo desestimulada por uma abordagem ambiental que considera a aplicação de materiais e suas características para a criação de um microclima. O desenho dos edifícios

adaptados ao meio ambiente, a coleta de dados climáticos para obtenção de condições de conforto ambiental, relação entre construção e clima local de forma a respeitar o meio ambiente e diminuir o consumo de energia, são elementos cada vez mais presentes nos projetos de arquitetura.

Como consequência do desenvolvimento do conceito de ambiente construído sustentável, a relação entre energia e arquitetura passa a estar interligada também pela possibilidade de produção de energia limpa nos edifícios, pelos conceitos de eficiência energética e pela diminuição dos agentes poluentes oriundos da indústria da construção.

Os museus, recentemente, cresceram no mundo todo e da mesma forma no Brasil. Aumentaram de tamanho, de público e também na utilização de equipamentos voltados à dinamização das exposições. Expandiram seus sistemas de ar condicionado, de iluminação artificial, de segurança, bem como seus sistemas de conservação de acervos e outros. Como consequência, aumentaram também o consumo de energia.

Considerando os aspectos econômicos dos museus, e do ponto de vista de uma gestão sustentável, os principais custos da gestão de um museu estão divididos entre custos fixos, dinâmicos e de oportunidades. Grande parte do orçamento dos museus provém de custos fixos onde estão alocados, como um dos principais elementos deste item, os custos de manutenção da estrutura dos prédios (IBRAM, 2014, p.23).

Além da estrutura física dos museus, temos que considerar que o principal ativo do patrimônio de um museu é seu acervo e que para cuidar de sua preservação são criadas estruturas de conservação, segurança e riscos, que envolvem importantes fontes de custos (IBRAM, 2014, p. 25 e 70). Estas estão, direta ou indiretamente, relacionadas à arquitetura dos museus, que pode facilitar ou não sua implantação.

A conservação preventiva das coleções tem no edifício um dos primeiros elos da corrente de transmissão composta por elementos que podem auxiliar na preservação dos acervos. Assim, a arquitetura do museu assume um lugar estratégico. Em tempos de convergência de diversas crises como a ambiental, a econômica e a sanitária, os custos fixos envolvidos na gestão, que envolvem a relação arquitetura e energia, ganham contornos de urgência para os museus.

Verifica-se ainda que a arquitetura é considerada, do ponto de vista dos administradores das instituições, como elemento de gasto, apesar de agregar valor e atrair público. Mas a arquitetura pode ser também elemento de redução de custos fixos quando pensada em relação ao seu desempenho ambiental, térmico e de ventilação naturais, que podem ajudar no controle de umidade e temperatura para a conservação preventiva, bem como para o conforto dos usuários.

### **Consumo de Energia nos Museus Brasileiros**

O Instituto Brasileiro de Museus - IBRAM realizou estudo exploratório “Museus e a Dimensão Econômica: da cadeia produtiva à gestão sustentável” com o qual é possível afirmar que o maior problema dos museus é orçamentário e financeiro, o que faz com que as instituições trabalhem no limite de suas obrigações a ponto de comprometer a conservação de seus acervos (IBRAM, 2014, p.115). Porém, ao afirmar que o estudo buscou identificar elementos importantes para pavimentar o caminho da sustentabilidade do campo museal (IBRAM, 2014, p.122), causa surpresa verificar que falta uma análise do consumo de energia das instituições e ainda, saber qual seria o percentual que esse consumo representa nos orçamentos fixos dos museus.

Como o uso de energia elétrica no setor cultural não é tratado ainda como uma série em kWh publicados que possam revelar tendência de consumo e impactos em relação aos orçamentos dos museus, procuramos nos apoiar em algumas informações parciais, de setores. É o caso das informações coletadas na dissertação de mestrado sobre indicadores de consumo de energia e ferramentas de apoio à gestão (MORALES, 2007) que avalia o consumo de energia na Universidade de São Paulo – USP. Essa pesquisa se mostrou importante para o presente artigo porque a USP possui, como uma das unidades de seu conjunto arquitetônico, o Museu de Arte Contemporânea – MAC.

O trabalho caracteriza as unidades como consumidoras de energia na Cidade Universitária da USP, visando ações de eficiência energética. Foram extraídos do estudo análises que mostram o peso que a unidade museológica MAC apresenta em relação ao consumo do conjunto arquitetônico da Cidade Universitária. Utilizamos

essa pesquisa para exemplificar que o consumo de energia nos museus é, além de crescente, impactante para a gestão de instituições.

O estudo considera o MAC como uma unidade consumidora de energia dentro do conjunto de edificações da USP e, sem entrar nos detalhes das classificações de outras unidades do *campus* e da metodologia utilizada ao longo da análise, o resultado do trabalho traz informações comparativas interessantes.

De acordo com a pesquisa, o MAC foi colocado ao lado de unidades reconhecidas por sua forte demanda de energia, pela utilização intensa de sistemas de iluminação, de condicionamento de ar e de equipamentos específicos, todos funcionando com energia elétrica. Em algumas tabelas da dissertação, o MAC foi colocado à frente das demais unidades (MORALES, 2007, p.68, 71 e 76) como unidade consumidora.

Como resultados temos que, em relação à quantidade de usuários e à área edificada destacaram-se, como unidades prioritárias para melhoria das condições de eficiência energética, o Museu de Arte Contemporânea, o Centro de Computação Eletrônica e o Hospital Universitário, para atuação dos gestores (MORALES, 2007, p.87).

Esse trabalho serve como alerta para a necessidade de melhoria do padrão de consumo e eficiência energética nos museus brasileiros, que sofrem com os cortes de financiamentos para suas atividades fim.

### **Arquitetura preexistente adaptada para museus**

O museu está intrinsecamente ligado ao patrimônio histórico, tanto no que se refere ao patrimônio construído composto pela arquitetura que ocupa quanto pelas coleções que guarda, preserva e expõe. Mesmo considerando o grande crescimento de novos prédios para o uso museológico, ainda assim, persiste uma grande ocupação de arquiteturas preexistentes que mantêm um forte vínculo com o patrimônio edificado e sua representação nas cidades.

Em diversos países o campo de patrimônio edificado e da arquitetura de museus têm buscado soluções que atendam com maior eficiência o consumo de energia em seus espaços. Porém, os museus adaptados em edifícios históricos, apresentam diversas particularidades e restrições do ponto de vista desta adaptação. Por esta razão têm se intensificado as discussões, encontros e conferências para a divulgação de soluções e compartilhamento de experiências e resultados.

O ICOM – *International Council of Museums* e o ICOMOS – *International Council of Monuments and Sites* têm desenvolvido estudos especiais sobre critérios de sustentabilidade nos museus e em edifícios históricos, enfatizando o aspecto ambiental devido ao impacto que soluções de adaptação ao clima exercem sobre a gestão e o custo de operação dos edifícios de museus.

O ICOMOS realizou em 2020, através de seu Comitê ISCSE + CC - *International Scientific Committee on Energy and Sustainability and Climate Change*, o encontro virtual *Heritage and Climate Change: Mitigation as Practice*. O debate visou apresentar alguns temas relacionados à sustentabilidade e mudanças climáticas, ao consumo de energia para a superação da crise de investimentos no setor cultural. Foi enfatizada a necessidade de compreensão da *performance* dos edifícios antigos, a necessidade de monitoramento de intervenções em edifícios antigos, questões de manutenção e da quantidade de intervenções em edifícios antigos que têm sido mal adaptados.

Ressalta-se na apresentação de Peter Cox - ICOMOS Ireland, que para a administração do ambiente construído antigo é importante a aplicação de instrumentos e conceitos como NZEBs – *Net Zero Energy Buildings*, EPCs - *Energy Performance Certificates* e BERs - *Building Energy Rating*. O tema do encontro mostra que as demandas do patrimônio histórico estão cada vez mais próximas das demandas gerais da construção civil, mesmo que mantendo as especificidades que o campo do patrimônio edificado requer.

Da mesma forma, a gestão ambiental nos museus abrange estratégias, tanto nas etapas técnicas quanto nas organizacionais, que envolvem toda a instituição (DARDES e DRUZIK, 2000. p.1) tratando de temas que são comuns ao monitoramento de edifícios em geral. No âmbito do gerenciamento ambiental nos museus estão incluídas operações e etapas de intervenções nos edifícios históricos para eficiência e geração de energia.

### **Uso de fontes alternativas de energia em museus**

Medidas que reduzam os custos de manutenção de um edifício histórico de museu, na direção de diminuir orçamento e melhorar mecanismos de proteção do meio ambiente, requerem procedimentos com menor impacto ambiental, que passam não

somente pela forma de utilização da energia mas também pelas fontes da energia utilizada nestes edifícios históricos adaptados ao uso museológico.

Foram desenvolvidos estudos no campo do patrimônio edificado que consideram a necessidade de estimular a produção local de energia através de fontes renováveis e limpas, de forma a diminuir a participação do campo do patrimônio para o aquecimento do meio ambiente principalmente urbano.

Essas pesquisas lembram que ao desenvolver projetos em edifícios históricos deve-se procurar identificar que sistemas de adequação ambiental foram interrompidos ao longo do uso do edifício antigo, como ventilações naturais, iluminações naturais, proteções externas e outros, devendo, somente depois de restaurar as ainda viáveis, buscar incorporar novas estratégias e fontes de energia renováveis (HAYTER e KANDT, 2011, p.10).

No campo específico dos museus, a prática de incorporação de energia renovável foi classificada diante das possíveis fontes a serem utilizadas, particularmente nos edifícios de museus históricos, para produção de energia elétrica. Dentre as diferentes fontes, a energia solar fotovoltaica foi considerada como a principal a ser utilizada, salientando sua eficiência quando associada à energia eólica. Para aquecimento de água, foi considerada a energia solar térmica como a mais adequada para museus o que, no caso dos museus brasileiros, não seria muito importante porque geralmente não precisamos, para o nosso clima quente e úmido, de água quente nas torneiras de espaços públicos, exceto no sul do Brasil. Por último, para climatização, seria recomendável a utilização da energia geotérmica de superfície (MENDES, 2011, p.339).

Diversos países já possuem ampla experiência nas intervenções em edifícios históricos para melhorias no consumo de energia, obtendo êxitos nessas transformações. Estas intervenções vêm ocorrendo principalmente em países de clima frio.

Mas o momento aponta para as novas soluções, que agregam valores, como o conceito NZEBs - *Net Zero Energy Buildings* e sua aplicabilidade junto ao patrimônio histórico edificado em geral (MORA e outros, 2015), e para os museus adaptados em edifícios históricos, em particular.

## **NZEBs-*Net Zero Energy Buildings***

O conceito NZEBs considera que o edifício tem suas necessidades de energia bastante reduzidas através de ganhos de eficiência, e ainda que as necessidades que não foram atenuadas pela eficiência, possam ser atendidas por tecnologias de energia renováveis.

Embora em muitos casos a produção de energia seja local o objetivo não é o de ser uma unidade isolada mas, de se conectar à rede de distribuição, não somente para consumir mas também para fornecer energia. O balanço anual de energia do edifício, gasto e produção com ênfase nos meses de pico e de baixa, deve se aproximar dessa forma de zero.

Alcançar um NZEB sem estar conectado a uma rede seria muito difícil pois a atual situação das tecnologias de armazenamento ainda está limitada (TORCELLINI e outros, 2006, p.4). Assim, não se consegue dotar um edifício de capacidade de armazenamento para os momentos em que as fontes naturais não são suficientes. Contudo, em rede, ele pode ter suas demandas atendidas em momentos de baixa produção própria.

A metodologia de avaliação dos NZEB tem sido estudada para que o balanço anual zero seja alcançado sem uma grande disparidade dos balanços de inverno e de verão. O clima é a principal razão pela qual as definições existentes de edifícios com quase zero consumo de energia (NZEB) são significativamente diferentes de país para país. Trata-se de um processo que, ao progredir em direção à meta da NZEB, com reduzidos gastos e produção de energia local ou nas proximidades, trará benefícios ambientais por uma combinação de tecnologias renováveis de energia.

Em 2010, a Comissão Europeia e o Parlamento adotaram a diretiva relativa ao desempenho energético dos edifícios. A Diretiva de Desempenho Energético dos edifícios da União Europeia exige que todos os novos edifícios, a partir de 2021 (edifícios públicos a partir de 2019), sejam edifícios NZEB. A quantidade de energia necessária deve ser coberta de forma muito significativa pelas energias renováveis produzidas no local ou nas proximidades.

Com esta decisão, a expectativa seria que em 2020 o consumo de energia e as emissões de CO<sub>2</sub> sejam reduzidos em até 6% (seis por cento) em toda a União Europeia (MUSALL e outros, 2010, p.1). Outras expectativas mais otimistas

consideram que a UE consumiria 11% (onze por cento) menos energia ao final de 2020 (BUILD UP), já que os edifícios têm um potencial significativo e ainda inexplorado de economia de energia. A magnitude da economia é justificativa para todo esforço que deve ser feito para alcançá-la. É possível que, devido aos atuais problemas da pandemia mundial, os resultados sejam alterados em relação às metas, já que essa avaliação está prevista para ser realizada ao final do ano de 2020.

Nos últimos anos, o número de projetos realizados internacionalmente com a reivindicação de um balanço anual de zero de energia ou zero de emissões, aumentou fortemente. Para várias tipologias e climas, diferentes conceitos foram desenvolvidos (MUSALL e outros, 2010, p.1). E o campo de arquiteturas preexistentes, que envolve um estoque enorme de imóveis englobando edifícios históricos e museus adaptados, vêm também desenvolvendo estratégias nesta direção, além de testar inovadoras soluções NZEB.

### **Museus NZEBs**

Como vimos o consumo de energia compromete grande parte dos recursos permanentes dos museus. Os novos museus em edifícios novos executados recentemente possuem, frequentemente, na sua concepção original projeto de eficiência energética. Porém a grande maioria dos museus encontra-se localizado em arquiteturas preexistentes, alguns em edifícios históricos, onde as intervenções para obtenção dos resultados NZEBs são mais restritivas e necessitam de uma abordagem metodológica e de projetos diferentes e originais.

As dificuldades financeiras para o setor cultural, estando cada vez mais agudas devido ao aprofundamento de crises econômicas, impulsionam soluções diferentes e arrojadas. Apesar do grande desafio, museus adaptados em edifícios históricos já estão realizando intervenções voltadas a alcançar resultados no caminho de atender as exigências NZEBs, estabelecendo uma nova tendência na arquitetura de museus adaptada em prédios históricos.

### **Kunsthalle - Mannheim – Alemanha**

O museu Kunsthalle é um museu de arte alemão localizado na Friedrichsplatz, na cidade de Mannheim. O conjunto arquitetônico do museu é composto por três

unidades que foram construídas em diferentes momentos. O edifício chamado "Billing" é um edifício *Art Nouveau* construído em 1907. Outra parte do conjunto arquitetônico é a ala Athena, uma ligação entre os dois prédios principais, que também foi construída em 1907. O edifício mais recente, chamado de Mitzlaff, foi inaugurado em 1983 e, após opiniões de especialistas, verificou-se que não atendia mais aos requisitos das operações contemporâneas dos museus.

O projeto de renovação energética foi concebido pelo escritório de arquitetura alemão GMP Architekten situado na cidade de Hamburgo, de forma diferenciada, com soluções que levaram em consideração as idades dos diferentes partes do conjunto arquitetônico.

O edifício Mitzlaff, o mais recente e obsoleto, foi refeito mantendo a volumetria existente. O projeto foi desenvolvido para atender demandas altas no padrão de casa passiva, com objetivo de alcançar as premissas do conceito de energia zero - NZEBs. Buscou-se que as áreas de exposição atendessem requisitos especiais de proteção das obras ao criar um microclima adequado para a conservação preventiva das coleções. Este foi definido de forma independente das condições externas de umidade e temperatura do ar, e programado para alcançar esse padrão com o menor consumo de energia possível (BINE, 2012).

O edifício Billing, o mais antigo e protegido em seus aspectos construtivos, recebeu intervenções voltadas à melhoria do desempenho energético para alcançar altos padrões de eficiência, e manter as características de estilo do prédio.



Imagem 1: Vista aérea do museu Kunsthalle Mannheim, o edifício Billing, a ligação Athene (ao meio) e o edifício Mitzlaff - conjunto arquitetônico preexistente. À direita o projeto de renovação energética.  
Fonte: BINE, 2012

Os principais componentes do edifício do museu são uma estrutura de alta qualidade combinada com uma unidade de cogeração e de energia fotovoltaica para o fornecimento de energia.

O novo edifício do museu foi desenhado como uma "cidade na cidade". Dentro de uma estrutura geral simples, foram organizados cubos individuais em uma composição para proporcionar espaços de exposição e salas para funções de apoio. Estas são rodeadas por um átrio central e estão conectadas através de galerias, terraços e pontes. De forma análoga aos elementos que conformam os entornos urbanos (edifícios, blocos, ruas e praças) criam-se variados percursos circulares para os visitantes através de espaços fechados e abertos, com vistas e perspectivas mutantes. Busca reproduzir assim a estrutura organizada e direta da "cidade das praças" como é conhecida Mannheim (ARCHDAILY).

O conceito das exposições consiste em grandes espaços com coberturas leves que podem ser utilizados de diferentes maneiras, além de dois cubos com iluminação lateral, buscando a máxima flexibilidade para o curador. No terceiro pavimento, integrou-se um terraço ao percurso circular, de onde os visitantes podem desfrutar de uma vista panorâmica da cidade.

Todas as janelas de madeira do edifício original foram preservadas. Porém, para melhorar o isolamento térmico, em cada nicho existente, pelo lado interno da sala, foi acrescentada outra janela com isolamento térmico adicional.

Com relação às condições térmicas (REISS e outros, 2014), em outro momento a partir da reabertura do museu, a temperatura ambiente será condicionada usando aquecimento de superfície com energia geotérmica. Para isso, foi realizada a ligação de paredes, pisos e tetos. Ao encaixar os tubos de transporte de água diretamente no material de isolamento, foi possível combinar o isolamento interno com a instalação necessária para o controle da temperatura da superfície em um único componente. Ao aquecer o isolamento interno, o problema das paredes frias, que prevalece em muitos museus, também foi remediado. O aquecimento central continua a ser gerado pela conexão de aquecimento urbano. Para o resfriamento no verão, o *chiller* de absorção também é operado com aquecimento urbano.

Quanto à luz natural, a reativação dos tetos da luz do dia nas salas de exposições do pavimento superior foi uma medida importante pois gerou economia da energia de

iluminação e aumentou, ao mesmo tempo, o conforto visual. No térreo, como antes, a luz incide lateralmente durante o dia, pelas janelas existentes. A situação da iluminação nas salas de exposição é complementada com refletores de LED escurecidos, dependentes da presença, para obter a iluminação de imagem mais homogênea possível (REISS e outros, 2014).



Imagem 2: © Hans-Georg Esch - Fonte: Archdaily / gmp Architekten

As fachadas estão cobertas com uma malha de metal transparente com um revestimento em cor bronze que define a forma externa do edifício, com diferentes graus de transparência e com diferentes espessuras da malha. Procurou-se manter a volumetria geral do conjunto arquitetônico, que é obtida através de volumes menores.

A concepção central de renovação energética do edifício do museu está baseada em uma estrutura da envoltória de alta qualidade combinada com uma usina de calor e energia fotovoltaica. Durante o concurso realizado para escolha do projeto, no processo de planejamento e na construção, os pesquisadores do EnOB - *Energieoptimiertes Bauen* deram suporte para otimização de energia. Esse envolvimento desde o início do processo de renovação do museu possibilitou aos pesquisadores influenciar nos requisitos da competição de propostas. Os cientistas compararam os projetos apresentados pelos arquitetos através de uma avaliação uniforme dos requisitos de energia útil. Para fazer isso, eles usaram o software

baseado no Excel EnerCalc. A ferramenta EnerCalc oferece a opção de equilibrar os requisitos de energia útil para um edifício de acordo com a norma DIN V 18599<sup>1</sup>.

A operação do edifício Billing também teve o suporte do *EnOB - Energieoptimiertes Bauen*<sup>2</sup>, tendo sido avaliada pelos pesquisadores por dois anos. Assim é possível comparar a intenção de economia de energia com as demandas para criação do microclima no interior das salas, e verificar o alcance da proposta na prática, de forma online.

### **Exploratorium no Pier 15 - San Francisco – Estados Unidos**

O Exploratorium é um museu de ciências interativo situado no píer da cidade de San Francisco, nos Estados Unidos. O museu, adaptado em construções preexistentes e históricas da cidade, procura ser reconhecido como o maior museu NZEBs nos Estados Unidos, a partir da utilização de inúmeras tecnologias sustentáveis (DEVIN ABELLON, 2012).

O projeto foi desenvolvido pelo escritório de arquitetura americano EHDD Architecture, da cidade de San Francisco. Trata-se da renovação de dois píeres em acentuado estado de degradação e a remoção de um grande estacionamento / cais de carregamento em estacas, para instalar o museu Exploratorium cujos edifícios visam atender as condições de balanço anual de consumo de energia próximo de zero, o que corresponderia à classificação LEED Gold.

O projeto aproveitou o potencial que a localização na Baía de São Francisco oferece para o aquecimento e para o resfriamento das edificações. O edifício do píer existente foi remodelado para abrigar novas exposições que foram cuidadosamente integradas ao edifício e se espalharam até a baía circundante. As intervenções possibilitaram também a criação de espaço aberto para acomodar exposições externas aos prédios e de grande escala.

---

<sup>1</sup> Norma alemã de eficiência energética dos edifícios - cálculo de energia para aquecimento, arrefecimento, ventilação, água quente sanitária e iluminação;

<sup>2</sup> EnOB - Pesquisa para construção energeticamente otimizada

Aproveita também a iluminação natural do galpão histórico e o telhado de pouco mais de 240,00 metros de comprimento, para instalar uma matriz fotovoltaica de 1,3 megawatt.



Imagem 3: Vista aérea dos galpões adaptados - Bruce Damonte Photography e Planta Baixa do projeto do museu – ehdd . Fontes: the Journal of the American Institute of Architects e Archdaily

Foram aplicados materiais sustentáveis e duráveis o suficiente para suportar um clima marítimo severo. O projeto já possui o certificado LEED Platinum e está perto de atingir seu objetivo de ser o maior museu de energia Net Zero do país – LEED Gold.

A arquitetura do museu apresenta potencial de ser um modelo do setor (AIA, 2016) e mostrar que é possível equipar essas instituições com exigências contemporâneas, mesmo estando instalados em arquiteturas preexistentes e preservadas. Destaca em todo o seu espaço os esforços realizados para atingir resultados sustentáveis.



Imagem 4: Interior e exterior do Museu Exploratorium - Bruce Damonte Photography  
Fonte: the Journal of the American Institute of Architects

Além da energia solar, o museu utiliza um sistema HVAC que tira proveito da temperatura relativamente constante e moderada da água da baía, que é de 10 a 18°C (50 a 65°F). Existem 43 km de tubulação de plástico no sistema de aquecimento radiante do piso, criando 82 zonas diferentes de aquecimento e resfriamento que podem ser regulados com distintos sistemas de controle. Depois que a água da baía passa pelos trocadores de calor, ela é devolvida à Baía de São Francisco, conforme permitido por uma licença emitida pelo Conselho Regional de Controle de Qualidade da Água da Califórnia (WIKIPEDIA).

Possui um sistema separado de ventilação, com distribuição de ventilação de deslocamento para trazer o ar externo para o edifício (DOAS - *Dedicated Outdoor Air System*). Ao integrar o aquecimento radiante e a ventilação de deslocamento, o Museu Exploratorium reduziu o sistema HVAC – *Heating, Ventilation and Air Conditioning*.

O Exploratorium possui também vários recursos projetados para reduzir o consumo de água. Duas grandes cisternas sob as vigas estruturais que conectam as estacas capturam até 1.280 m<sup>3</sup> de água da chuva para reutilização na instalação.

O edifício existente tinha muitas janelas e uma claraboia que percorre toda a extensão do espaço interior. Em conformidade com os requisitos históricos de preservação, a fachada do edifício permaneceu praticamente inalterada, permitindo que grande parte do espaço interior se beneficiasse da ampla luz do dia da arquitetura preexistente (WIKIPEDIA).

### **Considerações Finais**

A questão inicial deste artigo se refere à viabilidade da parceria entre duas diferentes linhas de atuação em arquitetura, a preservação de edifícios históricos adaptados para museus e o conceito *Net Zero Energy Buildings* - NZEBs.

Após o desenvolvimento deste trabalho consideramos que, além de estar mostrando sua viabilidade nos museus adaptados em prédios históricos, como nos exemplos acima que tiveram intervenções NZEBs em outros países, essa parceria se mostra necessária em certas situações urgentes.

Trata-se de uma perspectiva promissora dar passos para que uma unidade museológica vá em direção ao balanço energético anual próximo de zero, e assim

possibilitar desdobramentos que a reestruturação da infraestrutura do edifício pode oferecer.

Sabe-se que nem todos os edifícios de museus brasileiros em arquiteturas preexistentes terão condições de alcançar balanço anual próximo de zero. É um processo de aproximação que tem etapas de aferição. Porém, acredita-se que todo ganho de redução de consumo e gastos de energia, diante de uma crescente demanda nos museus atualmente, trará benefícios ambientais e financeiros para a gestão dos museus no Brasil.

Se o potencial de economia de energia ainda é inexplorado nos edifícios em geral, nos museus adaptados em arquiteturas preexistentes é menos ainda, tratando-se de território potencialmente desconhecido. No Brasil, onde ainda não se difundiu o conceito de geração de energia através de fontes renováveis nos museus em prédios históricos, poderia ser uma verdadeira revolução na arquitetura patrimonial e na gestão dos museus.

O conceito NZEB oferece um cenário ambicioso devido à combinação de eficiência energética e fontes de energia renováveis. Não se trata de alcançar com balanço zero de energia no curto prazo, mas de formular metas e reduzir distância, com medidas aplicadas ao edifício e às redes de abastecimento (VOSS, 2008, p.5–6)

Vale lembrar que a eficiência e a autoprodução de energia fazem parte de um conjunto de intervenções ambientais necessárias a serem executadas nos museus em edifícios históricos. Para compor uma gestão sustentável, os edifícios antigos também devem levar em consideração questões relativas ao consumo de água, de resíduos, de materiais, entre outras.

Dizem que as crises podem ser também momentos de oportunidades. Estamos atravessando um momento particularmente difícil, mas também um período que poderá mostrar resultados de esforços empreendidos por longo tempo dentro do conceito NZEB. Fica evidente a urgência de soluções inovadoras para antigos problemas. Um momento que pede firmeza para mudar rotas, para atender novas necessidades, para criar novos processos e, NZEBs em museus históricos brasileiros, pode marcar um novo momento da preservação dos edifícios antigos adaptados para museus.

## Referências

AIA, The Journal of the American Institute of Architects. Exploratorium at Pier 15. 2016. Disponível em: [https://www.architectmagazine.com/awards/exploratorium-at-pier-15\\_o](https://www.architectmagazine.com/awards/exploratorium-at-pier-15_o) . Acesso em: 10 de março de 2020.

ARCHDAILY. Edifício Kunsthalle Mannheim / gmp Architekten. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/887884/edificio-kunsthalle-mannheim-gmp-architekten> . Acesso em: 17 de julho de 2020.

BUILD UP, The European Portal for Energy Efficiency in Buildings. Disponível em: <https://www.buildup.eu/en/practices/publications/directive-201031eu-energy-performance-buildings-recast-19-may-2010> . Acesso em: 28 de julho de 2020.

BINE Informationsdienst. Museum jetzt als Nullenergie-Gebäude. 2012. Disponível em: <http://www.bine.info/themen/news/museum-jetzt-als-nullenergie-gebaeude/> . Acesso em: 07 de maio de 2020.

DARDES, Kathleen e DRUZIK, James. Managing the environment: an update on preventive conservation. Los Angeles, 2000. Disponível em: [http://www.getty.edu/conservation/publications\\_resources/newsletters/15\\_2/feature.html](http://www.getty.edu/conservation/publications_resources/newsletters/15_2/feature.html). Acesso em: 07 de novembro de 2017

DEVIN ABELLON, P.E. Historic museum aims for net zero status in San Francisco. 2012. Disponível em: <https://www.pmengineer.com/articles/90324-historic-museum-aims-for-net-zero-status-in-san-francisco> . Acesso em : 07 de julho de 2020.

HAYTER, Sheila J e KANDT, Alicen. Renewable Energy Applications for Existing Buildings. Baveno, Itália, 2011. Disponível em: <https://www.nrel.gov/docs/fy11osti/52172.pdf> . Acesso em: 13 de julho de 2020.

HENRY, Christopher. Archdaily. Exploratorium Relocation to Piers 15 & 17 / GLS Landscape | Architecture with EHDD. Disponível em: [https://www.archdaily.com/182320/exploratorium-relocation-to-piers-15-17-gls-landscape-architecture-withehdd?ad\\_source=search&ad\\_medium=search\\_result\\_all](https://www.archdaily.com/182320/exploratorium-relocation-to-piers-15-17-gls-landscape-architecture-withehdd?ad_source=search&ad_medium=search_result_all) . Acesso em: 07 de julho de 2020.

IBRAM, Instituto Brasileiro de Museus. Museus e a dimensão econômica: da cadeia produtiva à gestão sustentável. Brasília, DF: Ibram, 2014. Disponível em: <https://www.museus.gov.br/museus-e-a-dimensao-economica-da-cadeia-produtiva-a-gestao-sustentavel/> . Acesso em: 04 de março de 2020.

MENDES, Manuel. O uso de energias renováveis em edifícios de museus. 2011. 365f. Tese (Doutorado em Museologia) – Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias, Lisboa.

MORA,Tiziano Dalla , PERON,Fabio , CAPPELLETTI,Francesca , ROMAGNONI,Piercarlo. Retrofit of an Historical Building toward NZEB. Veneza, Itália, 2015. Disponível em: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com) . Acesso em: 08 de julho de 2020.

MORALES, Clayton. Indicadores do consumo de energia elétrica como ferramenta de apoio à gestão: classificação por prioridades por atuação na Universidade de São Paulo. 2007. 101f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

MUSALL,Eike , WEISS,Tobias, VOSS,Karsten , LENOIR,Aurélie , DONN,Michael, CORY,Shaan , GARDE,François. Net Zero Energy Solar Buildings: An Overview and

Analysis on Worldwide Building Projects. 2010. Disponível em: <http://www.tasl49.iea-shc.org/data/sites/1/publications/STC134895.pdf> . Acesso em: 27 de fevereiro de 2020.

REISS,Johann , KLEMM,Lars , HUCKEMANN,Volker. Energetische Sanierung der Kunsthalle Mannheim Präzedenzfall in Mannheim. 2014. Disponível em: <https://www.db-bauzeitung.de/db-metamorphose/energetisch-sanieren/praezedenzfall-in-mannheim/#slider-intro-1> . Acesso em: 30 de junho de 2020

RIBEIRO, Marina Byrro. Sustentabilidade ambiental na arquitetura de museus brasileiros em prédios históricos adaptados e em clima quente e úmido: indicadores para tomada de decisões. 2018. 440 f. Tese (Doutorado em Arquitetura) – Escola de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal Fluminense, Niterói, Rio de Janeiro.

TORCELLINI,P. , PLESS,S. e DERU,M. Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition. Pacific Grove, California, 2006. Disponível em: <https://www.nrel.gov/docs/fy06osti/39833.pdf> . Acesso em: 28 de fevereiro de 2020.

VOSS, Karten. Net Zero-Energy Buildings. Wuppertal, 2008. Internationale Tagung „30 Jahre IEA Energieforschung Solarenergie und energieeffiziente Gebäude“ 11. Juni 2008, Graz.

WIKIPEDIA, Exploratorium Sustainability. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/Exploratorium#Sustainability> . Acesso em: 29 de julho de 2020.