



GRUPO DE ESTUDO DE GERAÇÃO TÉRMICA - GGT

CASA CEPEL NZEB: ALTA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COM GERAÇÃO DISTRIBUÍDA LOCAL

**ALESSANDRA DA COSTA BARBOSA PIRES DE SOUZA(1); MARTA MARIA DE ALMEIDA
OLIVIERI(1); GEORGE ALVES SOARES(2)
CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA CEPEL(1); GROWING ENERGY(2)**

RESUMO

O cenário energético atual ratifica a importância da eficiência energética em todos os setores. O segmento de edificações é responsável por mais de 50% do consumo de energia elétrica com um enorme potencial para redução. Atento a esse panorama, o Procel tem promovido ações que incentivam o uso eficiente de energia nas edificações. Uma delas é a promoção de edificações NZEB, conceito aplicado a edificações de alta eficiência energética com um balanço energético próximo a zero. Este artigo mostra o projeto para a construção da Casa Cepel NZEB, que além de arquitetonicamente atrativa, será exemplo de interdisciplinaridade unindo arquitetura bioclimática, geração distribuída e eficiência energética.

PALAVRAS-CHAVE

NZEB, eficiência energética, geração distribuída, arquitetura bioclimática

1.0 INTRODUÇÃO

No Brasil, o segmento de edificações é responsável por mais de 50% do consumo de energia elétrica, de acordo com dados do Balanço Energético Nacional (EPE). Estima-se um potencial de redução deste consumo em 50% para novas edificações e de 30% para as que promoverem reformas seguindo os conceitos de eficiência energética em edificações. Ciente desta importância, o governo brasileiro tem promovido ações de eficiência energética em edificações. O Programa Nacional de Conservação de Energia – PROCEL instituiu em 2003 o subprograma PROCEL EDIFICA com o objetivo de incentivar a conservação e o uso eficiente dos recursos naturais (água, luz, ventilação etc.) nas edificações. Os recursos advindos da Lei Nº 10.263 e a infraestrutura institucional montada permitem que o PROCEL promova continuamente projetos em eficiência energética em edificações em diversas vertentes como regulamentação, demonstração, pesquisas, estudos, implementações e normas, direcionados a vários públicos distintos que compõem o setor da construção civil.

Uma destas iniciativas é a promoção de edificações NZEB (Near Zero Energy Building). NZEB é um conceito aplicado a edificações de alta eficiência energética com geração distribuída local, que alcançam um balanço energético próximo a zero. Desta forma, no final de 2019, o PROCEL lançou a chamada pública Procel Edifica - NZEB Brasil, que visou, dentre outros objetivos, contribuir para a construção de até quatro edificações do gênero em localizações estratégicas no território nacional. O projeto da Casa Cepel NZEB obteve o primeiro lugar nesta chamada pública. A Casa foi projetada, em parceria com a Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio de Janeiro, para ser um espaço multiuso que se constituirá em um ambiente atraente para pesquisas, visitas, reuniões, encontros técnicos, treinamentos, formação profissional bem como propiciará a integração entre a comunidade científica, sociedade e agentes governamentais e privados, em âmbito nacional.

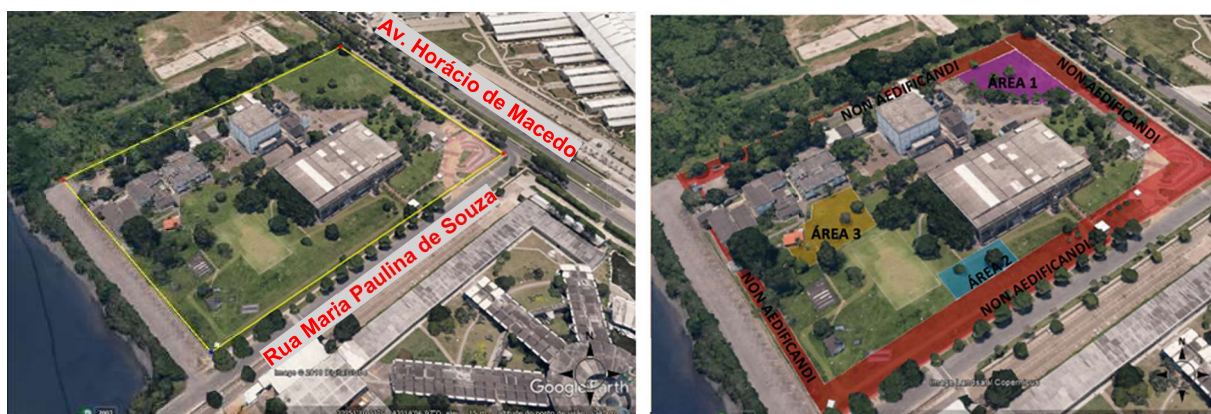
A Casa Cepel NZEB tem previsão de construção durante o ano de 2022 na Unidade Fundão (Rio de Janeiro). O projeto foi concebido para ser arquitetonicamente atrativo e um excelente exemplo de interdisciplinaridade, unindo conceitos de arquitetura bioclimática, geração distribuída e eficiência energética em um único projeto tecnológico, inovador e educativo.

Este artigo mostra os aspectos inovadores da concepção do projeto, a utilização de técnicas e soluções da arquitetura bioclimática específica para o local, estudos do regime solar e eólico específicos, as simulações termoeenergéticas, as estratégias passivas de condicionamento de ar e aquecimento solar de água e as soluções integradas para eficiência energética, sustentabilidade e conforto térmico ambiental que poderão gerar possíveis novos modelos de negócios na área de distribuição e contribuir para a formação de uma nova geração de profissionais e 'consumidores-geradores'.

2.0 LOCALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO

A Casa Cepel NZEB será construída na sede do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – Cepel, que fica na Av. Horácio Macedo, 354 - Cidade Universitária da Universidade Federal do Rio de Janeiro. A cidade do Rio de Janeiro/RJ está localizada na costa Sudeste do país. Apresenta clima quente e úmido, com baixa amplitude térmica diária e altas temperaturas durante o verão, com variações locais devido às diferenças de altitude, vegetação e proximidade do oceano. O Rio de Janeiro possui basicamente duas estações anuais: verão e inverno. Caracteriza-se por possuir períodos de sensação de frio nos meses de maio a outubro durante a madrugada; já os períodos de desconforto por calor são mais intensos ao longo da tarde dos meses mais quentes, de novembro a abril, especialmente no alto verão (dezembro a março); nos demais períodos a sensação térmica que predomina é a de conforto. A cidade apresenta 15% do ano em situação de desconforto por frio, 22% em conforto térmico e 63% do ano em desconforto por calor [1]. Seguindo a divisão em oito Zonas Bioclimáticas sugerida pela NBR 15220 [2], a cidade do Rio de Janeiro encontra-se na Zona Bioclimática 8. Vale ser destacado que considerando os Grupos Climáticos adotados na Portaria nº 42/2021 do Inmetro [3], a cidade do Rio de Janeiro pertence ao grupo climático 13.

O terreno onde hoje se encontra todo o complexo do Cepel possui aproximadamente 68.800m² e possui algumas construções onde são desenvolvidas as atividades da empresa. A FIGURA 1a apresenta uma imagem aérea com a localização do terreno em relação às vias mencionadas. Para melhor localização da construção da Casa Cepel NZEB no terreno foram realizadas diversas análises para auxiliar na tomada de decisão como questões de acesso, visibilidade, interferências de outras estruturas, insolação e condições ambientais locais. A Figura 1b mostra as três áreas avaliadas.



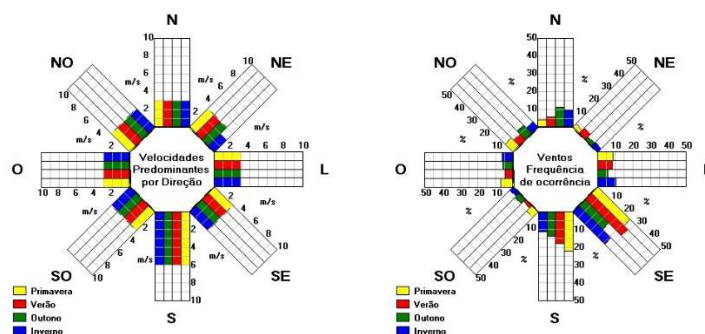
(a) Localização

(b) Áreas avaliadas

FIGURA 1 - Terreno do CEPEL. Fonte: Adaptado do Google Earth

2.1 Análise dos ventos

A Figura 2 mostra as análises gráficas dos ventos (velocidades predominantes e frequência, respectivamente), gerada pelo software SOL-AR¹, para a cidade do Rio de Janeiro. Ao cruzar os dados dos dois diagramas, evidencia-se uma predominância das brisas provenientes do Sudeste, durante todo o ano e os ventos mais fortes do Sul, ocorrendo com maior frequência na primavera e menor no verão.



¹ Software desenvolvido pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina, disponível em <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/software/analysis-sol-ar>

FIGURA 2 – Diagramas das velocidades predominantes de ventos e frequência de ventos.

Fonte: Software SOL-AR 6.2

A Figura 3 demonstra as simulações dos ventos dominantes e seus efeitos no terreno (ventos sul – 6m/s – e ventos sudeste – 3m/s, respectivamente). Comparando as duas simulações, podemos identificar o comportamento simulado da penetração e fluidez dos ventos no terreno.

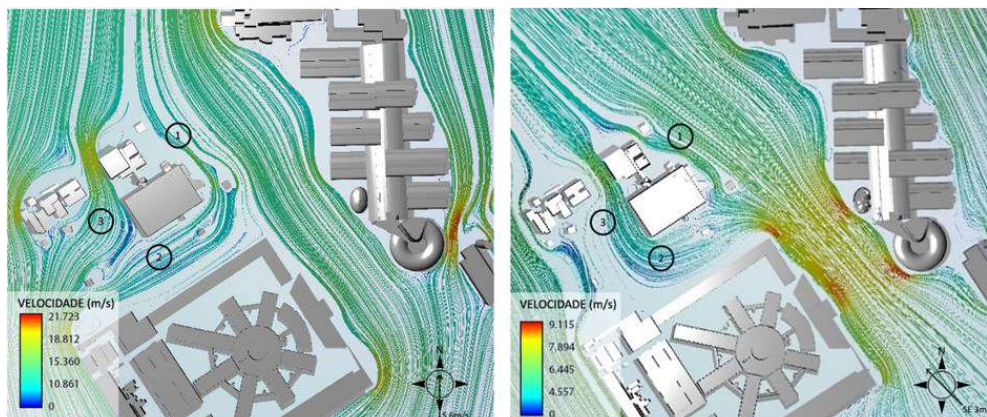


FIGURA 3 – Análise geral dos ventos sul (6 m/s) e ventos do sudeste (3 m/s). Fonte: Flow Design²

2.2 Análise solar

A Figura 4 representa uma escala colorimétrica na carta solar, para a cidade do Rio de Janeiro, das temperaturas e, consequentemente, das cargas térmicas. O gráfico mostra uma carga térmica maior e predominante ocupando a faixa do Nordeste até o Noroeste, no período das 8h às 16h, de dezembro até abril. Os dados das direções e velocidades predominantes foram baseados nos dados do INMET, de 2016.

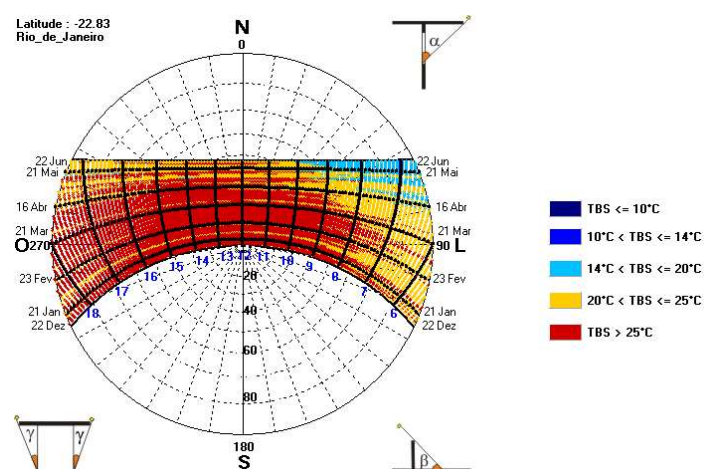


FIGURA 4 – Carta solar com temperaturas (TBS). Fonte: Software SOL-AR 6.2

A análise das zonas de sombras projetadas pelos edifícios construídos no local é apresentada na Figura 5, onde é demonstrado o estudo destas no terreno, considerando os solstícios de verão e inverno e os equinócios.

Através da análise desses dados, identifica-se a existência de uma zona de sombreamento maior em partes da Área 2, comparadas às demais áreas. As sombras começam a atingir esta Área 2 a partir do equinócio de outono (20 de março) e tendem a diminuir conforme o equinócio de primavera (22 de setembro) se aproxima, tendo seu ápice de interferência durante os meses de inverno a partir das 10h. No mesmo período, a Área 3 recebe interferências de sombras a partir das 16hs e a Área 1 fica sombreada somente a partir das 17 h.

Nos demais meses do ano temos sol pleno nas três áreas, notando-se a incidência de sombras na Área 3 a partir das 17h 30 min.

² Software da Autodesk® de simulação de túnel de vento. Disponível em: <https://www.autodesk.com/education/free-software/flow-design>

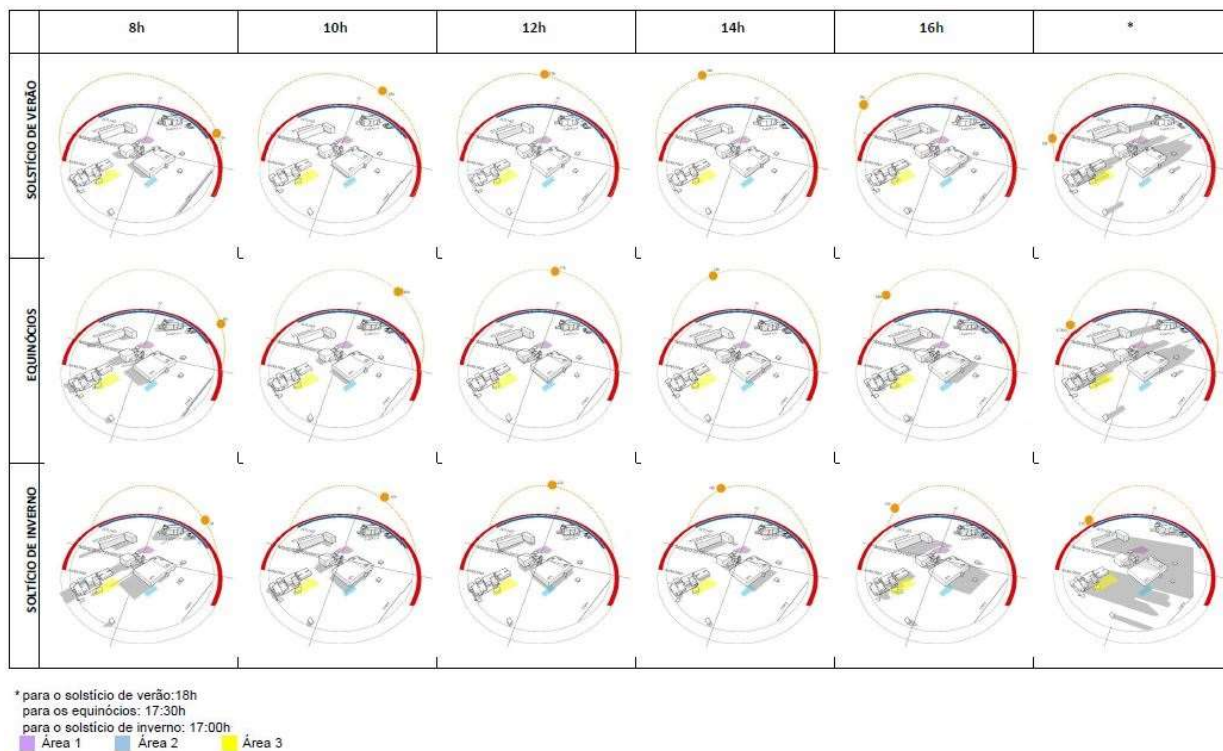


FIGURA 5 – Trajetória das sombras

2.3 Área escolhida

Após a análise dos pontos positivos e negativos de cada área quanto aos diversos aspectos considerados, constatou-se que a melhor área para a construção da Casa Cepel NZEB é a área 1, apresentada em destaque na Figura 6. Esta área tem como principal vantagem a visibilidade que o empreendimento poderá vir a ter. Além da questão da visibilidade, o local conta com uma área sem muitas interferências em seu entorno imediato, que permite liberdade de trabalho no que tange as questões de partido arquitetônico, ou seja, a volumetria, técnicas e soluções estéticas a serem adotadas. De acordo com análise realizada com apoio dos softwares SOL-AR 6.2 e Flow Design, cujo resultado foi apresentado anteriormente, percebe-se que a região tende a receber uma frequência maior de ventos da direção sudeste e sul.



FIGURA 6 – Área 1 em detalhe

A Área 1 tende a ter um melhor aproveitamento dessa brisa predominante, pois a orientação sudeste se encontra relativamente livre de barreiras físicas. A Figura 3 evidencia a abundante penetrabilidade dos ventos na área, sem muitas distorções nas direções predominantes em relação aos ventos sudeste e sul. Tal situação permite o melhor aproveitamento dos ventos, diminuindo assim a carga térmica do edifício. A Área 1 também possui uma menor incidência dos ventos sul, que são os ventos de tempestades. A zona de baixa pressão causada pelos ventos sul se torna proveitosa, por ser de um vento de tempestade, ou seja, mais forte que o normal e costuma ocorrer com chuvas, é um vento a ser evitado para garantir a estanqueidade das aberturas em relação às águas. O terreno mais aberto

também proporcionaria a implantação de um projeto de paisagismo mais abrangente, gerando condições de praticidade de maneira a fomentar o convívio e visibilidade dos sentidos e que possa ser aproveitado pelos visitantes e próprios funcionários do Cepel, de maneira a trazer um uso mais diversificado do local. O paisagismo, também pode vir contribuir com o microclima local, diminuindo as temperaturas e tornando o ar menos seco. Quanto melhor projetado o paisagismo, melhores são as possibilidades de se criar um microclima local mais agradável, visando diminuir a carga térmica no edifício.

3.0 ASPECTOS CONSTRUTIVOS

O Projeto arquitetônico da Casa Cepel NZEB apresenta conformação espacial dividida em dois blocos principais unidos por uma cobertura gerando a área de distribuição de circulação dos visitantes, local em que se instalará um telão, elemento que irá informar o monitoramento dos equipamentos instalados, além de outros conteúdos. Mais detalhadamente, o conjunto da edificação será formado por cinco módulos, conforme mostra a Figura 7, sendo eles: Sala de Laboratórios, Auditório, Módulo de Célula a Combustível, Garagem e Pérgola.



Figura 7 - Perspectiva da Nova Casa Cepel NZEB

Para definir a implantação do projeto no terreno selecionado foram considerados alguns parâmetros indispensáveis:

- Características do terreno: dimensões, forma e topografia do terreno (foi feito o levantamento topográfico que observa as características do terreno e procura identificar as prováveis influências do relevo sobre a edificação, sobre aspectos de fundações e de escoamento das águas superficiais), existência de vegetação etc.
- Adequação da edificação aos parâmetros ambientais: adequação térmica e iluminação natural adequadas nos ambientes. Foram consideradas as diversas características climáticas em função dos ventos, do sol e de vários outros elementos que compõem a paisagem, a fim de antecipar futuros problemas relativos ao conforto dos usuários.
- Características do solo: fez-se um estudo do tipo de solo presente no terreno, possibilitando dimensionar corretamente as fundações para garantir segurança e economia na construção do edifício.
- Orientação da edificação: buscou-se atender tanto aos requisitos de conforto ambiental e dinâmica de utilização do edifício quanto à minimização da carga térmica e consequente redução do consumo de energia elétrica. A orientação levou em conta o direcionamento dos ventos favoráveis e o movimento solar para cálculo de sombreamento.

3.1 Sustentabilidade

A proposta apresentada está centrada na elaboração do projeto de um edifício tipo NZEB - Nearly Zero-Energy Building que implicou na adoção de técnicas para redução da carga térmica, o uso de materiais recicláveis, equipamentos e sistemas eficientes e geração de energia elétrica local.

O desempenho termo energético de uma edificação depende da relação entre o clima do local em que ela será inserida e de fatores referentes ao projeto, como a implantação do edifício e, também, as propriedades do envelope. A envoltória é o elemento que recebe a maior parte da radiação solar que incide na edificação, sendo determinante para a manutenção de valores referentes à carga térmica interna apropriados ao conforto do ser humano. Desde o início do projeto arquitetônico da Casa Cepel NZEB, algumas diretrizes a respeito da envoltória foram estabelecidas, visando criar uma arquitetura com bom nível de eficiência energética.

Procurando utilizar materiais e sistemas construtivos racionalizados, o núcleo da edificação foi planejado e devidamente modulado para a utilização de blocos de concreto, evitando perdas desnecessárias de material. Já para compor o exoesqueleto, para evitar sobrepeso e fundações mais robustas, optou-se por utilizar o sistema de steel

frame, que além do menor peso, configura-se como um sistema de construção seca e racionalizada, com pouca geração de resíduos. Vale ressaltar que ambos os sistemas, blocos de concreto e *steel frame*, apresentam vantagens construtivas como a limpeza do canteiro, a redução da necessidade de utilização de armaduras e de formas, redução dos resíduos e do tempo de obra. Além disso, ambos são passíveis de passarem por um processo de reciclagem dos materiais que os compõem.

Para complementar a proteção da envoltória, foi adotado isolamento termoacústico em painéis e telhas associado à estrutura em *steel frame*, garantindo assim uma transmitância térmica para as vedações verticais e cobertura condizentes com o estabelecido para o Rio de Janeiro – considerado Zona Bioclimática 8 em normas como a NBR 15220 [2], NBR 15575 [4] e o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (RTQ-C) [5] e Grupo Climático 13 [3].

Foi utilizado também isolamento em lã de PET associado às vedações verticais em bloco de concreto, aumentando resistência térmica já proporcionada pela câmara de ar no interior do bloco, buscando também atender aos parâmetros de desempenho das normas já citadas. A opção pelo isolamento em lã de PET (e não por outros com igual desempenho) reside na sua natureza proveniente da reciclagem de garrafas PET descartadas.

A sala de laboratórios/demonstração possui janelas altas e sombreadas voltadas para a orientação Sul, que proporcionarão a iluminação natural necessária sem ganhos excessivos de carga térmica.

A cobertura desse bloco será composta por telhas isotérmicas fixadas na estrutura em *steel frame*, sendo que a área de maior dimensão, com inclinação de 22° e voltada para o Norte, receberá módulos fotovoltaicos para a geração de energia, que estarão dispostas na superfície do telhado com um corredor central de acesso para manutenção. Desta forma, em função da coloração das placas fotovoltaicas, este bloco será mais escuro, tendo continuidade através de uma parede naturada (parede vegetada) localizada nas vedações verticais do térreo e contrastando com o volume claro do auditório.

Ainda no bloco do auditório foi prevista uma cobertura naturada extensiva voltada para proteção térmica da envoltória e para atuar como fator de contribuição para a redução do fenômeno de ilhas de calor, a qual contará com a utilização de espécies vegetais resistentes à insolação (Xerófitas, Crassuláceas, etc.) e de baixa necessidade de manutenção. Nas fachadas do auditório, orientadas a Noroeste e Sudeste, foram utilizados painéis em vidro, fixos e móveis, protegidos da incidência solar direta com brises verticais de modo a minimizar a área não opaca de sua envoltória. Tais elementos contribuem também com a estética da edificação, sendo prolongados visualmente ao serem refletidos pelo espelho d'água ao redor do volume da construção.

Foi adotada em toda a edificação, a utilização da cor branca externamente em função de seu baixo valor de absortância (aproximadamente 0,2), o que em muito contribui para a eficiência da envoltória. A Figura 8a apresenta uma vista externa da Casa e a Figura 8b mostra o espaço interno destinado a demonstração.

Em relação ao sistema de iluminação, além de sensores de iluminância junto às aberturas do laboratório, que permitem o aproveitamento da iluminação natural de forma automática, haverá sensores de presença em toda a edificação que evitam o desperdício de energia com lâmpadas acionadas desnecessariamente. Esta e outras medidas de projeto, como os comandos de acionamento independentes por ambiente, permitiram que a edificação atendesse a todos os pré-requisitos necessários para alcançar a classificação A na avaliação do consumo energético do sistema de iluminação.



(a)

(b)

Figura 8 – Imagens da Casa Cepel NZEB

Um outro sistema, o de condicionamento de ar, tem um projeto racionalizado, com equipamentos com classificação Inmetro A. O auditório pode ser subdividido por divisórias retráteis, para um uso mais racional do espaço, e essas subdivisões contam cada uma com sua própria máquina, de modo a possibilitar o acionamento apenas daquela sobre a área utilizada em determinado momento. A mesma possibilidade de subdivisões foi considerada nas zonas térmicas calculadas na classificação da envoltória. Além disso, o sistema atende ao pré-requisito para a classificação A do

isolamento necessário para as tubulações de fluido refrigerante. Como todas as máquinas também contam com etiqueta A, com um COP médio de 3,26, o sistema como um todo também atinge a classificação A de eficiência energética.

A edificação conta com geração de energia elétrica renovável, realizada por sistema solar fotovoltaico cujos módulos são dispostos sobre a água norte (azimute 0°) do telhado da sala de demonstração. O sistema fornece mais de 100% da energia necessária para a operação da edificação. É interessante ressaltar que o cálculo da classificação energética geral da edificação, mesmo sem contabilizar a contribuição do sistema fotovoltaico, já conduziu a um resultado de classificação A. Isso se deve à combinação de um projeto arquitetônico em harmonia com o clima, especificações de materiais adequados ao bom comportamento da envoltória e a utilização de sistemas complementares com desempenho eficiente.

Com a contabilização da energia elétrica renovável gerada pelas placas fotovoltaicas, a classificação não só se manteve em A, como também foi possível atingir o objetivo de se obter uma edificação com balanço energético positivo, com consumo energético inferior ao produzido na própria edificação. Ressalta-se ainda que, somado a isso, está proposta a instalação de um sistema de automação com benefício direto relativo à economia de energia, pois entende-se que sua instalação evitará desperdícios de energia.

Além dos dois blocos principais, o projeto conta também com áreas externas e outros módulos de atividades. Vale ressaltar que a vegetação preexistente foi devidamente identificada e mapeada de forma a garantir a sua permanência quando da implementação da Casa Cepel NZEB. O acesso à edificação será feito pela circulação coberta com piso em madeira ecológica plástica (material composto de resíduos de plástico e fibras apresentando aparência similar à madeira natural), o qual será repetido em todo o entorno da construção, circulação da sala de demonstração/laboratório e pérgola. Buscou-se utilizar o deck de madeira na área de circulação por se tratar de uma solução sustentável, prática e bem-acabada, auxiliando ainda na retirada dos detritos dos calçados dos visitantes até que estes cheguem às áreas fechadas de piso liso.

A garagem acomodará uma van elétrica e um armário com portas vazadas que possibilitará, caso necessário em um cenário futuro, a alocação de baterias para o armazenamento de energia gerada pelo sistema fotovoltaico. Outra questão abordada no projeto é o uso racional de água e a utilização de água da chuva para irrigação das plantas e gramado. A conservação da água no meio urbano é uma das questões em maior evidência na atualidade.

4.0 USO DA EDIFICAÇÃO

A nova Casa Cepel foi projetada para ser um espaço multiuso. As áreas internas de demonstração abrigarão as tecnologias de eficiência energética, automação da distribuição, geração distribuída e os programas computacionais relacionados a smart city, sustentabilidade, mudanças climáticas, consumo eficiente, geração distribuída, geração renovável entre outras. A área externa abrigará as tecnologias eficientes que usam a energia solar como insumo primário e as tecnologias de geração distribuída solar, e futuramente geração eólica e célula combustível. As características de permitir o monitoramento do consumo dos equipamentos, da geração de energia, de variáveis bioclimáticas e de características dos materiais construtivos implicam na possibilidade de subsidiar pesquisas e desenvolvimento tecnológico.

Desta forma, espera-se que a configuração da Casa Cepel NZEB permita que as seguintes funcionalidades possam ser realizadas:

- a. Demonstração de tecnologia comercial de geração distribuída, incluindo fontes como solar (fotovoltaica e térmica), energia eólica (aerogerador de pequeno porte), novas tecnologias de geração distribuída e armazenamento. Esta função visa à promoção contínua das tecnologias alternativas de geração de energia elétrica. As tecnologias de armazenamento têm evoluído bastante e são importantes para novos modelos de negócio na distribuição e também em sistema isolados.
- b. Demonstração de técnicas da arquitetura bioclimáticas nas edificações. O projeto da Casa Cepel NZEB e suas características se constituem em uma demonstração de como os princípios da arquitetura bioclimática dentro do conceito de NZEB colaboram para a minimização da potência dos equipamentos de condicionamento de ar e de iluminação.
- c. Demonstração de tecnologias de *prosumer*, medição inteligente residencial entre outras. A tendência atual nos países desenvolvidos é proporcionar aos consumidores um maior controle sobre o seu consumo e a possibilidade de gerar energia elétrica, este duplo papel de consumidor (*consumer* em inglês) e produtor (*producer* em inglês) originou o termo "prosumer" ou "prossumidor". Associadas a esta nova possibilidade, estão as tecnologias de medição e controle das cargas do consumidor o que permite a visualização, monitoramento e gestão do consumo.
- d. Demonstração de tecnologia de controle remoto da demanda e novos modelos de fornecimento de energia elétrica. A experiência internacional na flexibilização do sistema tarifário mostra o surgimento de novos modelos de negócio para as distribuidoras. A implementação destes modelos, frequentemente, implica na implantação de novos equipamentos como controladores de demanda residencial e na necessidade de

programas computacionais de simulação. A Casa poderá simular diversos modelos de negócio, preparando o consumidor para esta possível evolução do setor elétrico brasileiro, aliados ao conceito de cidades inteligentes do futuro, que se baseiam no uso intensivo da informática e comunicação (internet das Coisas), de gestão urbana e de ações sociais baseadas em dados para melhorar a qualidade de vida dos cidadãos, notadamente nas grandes cidades. A Casa Cepel NZEB pode criar algumas experiências virtuais no sentido de disseminar este conceito de interconectividade dos serviços e incentivar os consumidores a se tornarem mais conscientes.

- e. Promoção da integração entre a comunidade científica, sociedade e agentes governamentais. A Casa Cepel NZEB será um ambiente propício para reuniões e encontros técnicos com sistemas de vídeo conferência, possibilidade de realização de demonstrações e visualização à distância.
- f. Colaboração na formação e capacitação de profissionais nas áreas de eficiência energética e fontes renováveis. A estrutura permite a realização de cursos e capacitações nas áreas de eficiência energética, fontes renováveis, geração distribuída, sustentabilidade, entre outras.
- g. Demonstrações relacionadas ao papel do cidadão nas questões climáticas e na conscientização da nova geração de consumidores. Diversas ferramentas computacionais foram e estão sendo desenvolvidas para promover o entendimento de como as ações do homem influenciam nas transformações climáticas. A Casa Cepel NZEB pode demonstrar ferramentas e colaborar no desenvolvimento de outras, como a simulação dos ganhos energéticos com a reciclagem, os cenários dos recursos hídricos no futuro e sua relação com a geração hidrelétrica de energia elétrica. Uma das experiências aprendidas pelo Cepel foi a importância dos espaços demonstrativos para sedimentação dos conhecimentos por parte dos alunos de todos os níveis. A Casa Cepel NZEB irá ampliar essa disseminação de conhecimento pois é fortemente concebida e projetada pelo conceito de eficiência e sustentabilidade.

5.0 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

O consumo total da edificação é a soma dos consumos de três categorias: equipamentos elétricos, iluminação e ar-condicionado. Os resultados são apresentados na Tabela 1 a seguir.

Tabela 1 – Consumo total da edificação separado por categorias.

Sistema	Consumo/dia (kWh/dia)	Consumo/ano (kWh/ano)
Equipamentos elétricos	30,54	8.882
Iluminação	3,64	949
Ar condicionado	62,52	16.319
TOTAL	96,70	26.150
TOTAL com fator de segurança	113,76	30.765

O consumo utilizado para dimensionamento da geração distribuída considerou um fator de segurança de 17,6%, levando em conta a possível utilização maior dos equipamentos ou aquisição de equipamentos não previstos. Esse fator ainda garante um balanço energético próximo de zero.

O dimensionamento do sistema fotovoltaico foi realizado de acordo com a área de cobertura disponível sobre a sala de demonstração, com inclinação para o Norte geográfico, totalizando um sistema de 18.480 Wp. O programa de simulação utilizado para quantificar a geração e a carga anual foi o PVSyst³. A simulação foi realizada considerando um sistema fotovoltaico conectado à rede com inversor *string* sem baterias. O resultado da simulação foi uma geração anual de 30,80 MWh/ano. À época da compra dos módulos fotovoltaicos, serão adquiridas unidades de tecnologia moderna, com a melhor eficiência disponível comercialmente.

Como o sistema fotovoltaico não terá, numa primeira etapa, sistema de armazenamento, é estimado que parte da energia gerada de 11 MWh será injetada na rede de distribuição, enquanto 19,8 MWh será utilizada diretamente pela Casa Cepel NZEB. Entretanto o balanço energético pode ser considerado praticamente zero pois a regulação brasileira [6], através do sistema de compensação de energia elétrica instituído, permite a utilização da rede de distribuição como uma 'grande bateria virtual'. A energia gerada e não consumida imediatamente é contabilizada pela concessionária de energia como crédito de energia para utilização posterior pelo 'prossumidor', pelo período de até 5 anos.

Na Figura 9 são apresentados os valores previstos de geração e consumo ao longo dos meses do ano. Conforme mostrado no gráfico, o valor médio mensal de geração e consumo é praticamente igual, confirmando a previsão de balanço energético próximo de zero.

³ Programa computacional largamente utilizado em todo o mundo, acessível pela internet no site <https://www.pvsyst.com/>.

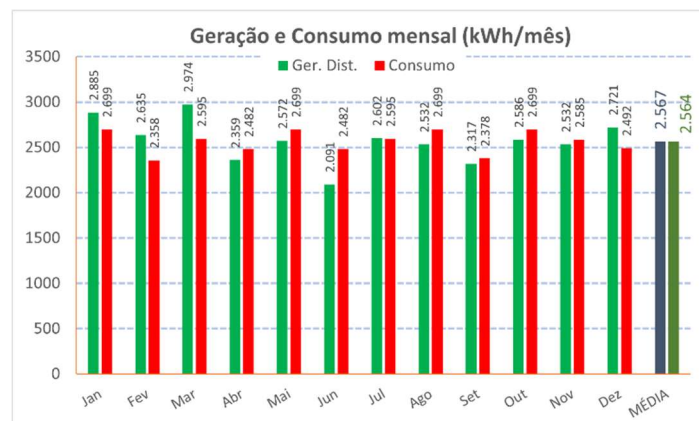


Figura 9 – Balanço mensal energético da Casa Cepel NZEB

6.0 CONCLUSÃO

As ações humanas devem corroborar para o redirecionamento da produção do ambiente construído de forma a torná-lo cada vez mais eficiente, não energointensivo e mais confortável para a sociedade como um todo. A área de edificações possui um potencial enorme para redução do consumo de energia e tem na integração de novas tecnologias com a inovação das técnicas arquitetônicas, grande aliada para efficientização das edificações.

O processo de certificação dos edifícios, impulsionado por programas importantes como o PBE Edifica e o Selo Procel Edifica, norteia parâmetros de construção e desempenho levando em conta os aspectos regionais de cada empreendimento, e se constitui em uma importante ferramenta para conceber edificações eficientes desde a etapa de projeto, viabilizando a implementação de soluções de melhor relação benefício-custo.

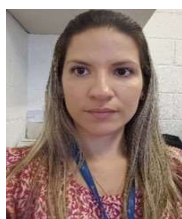
O projeto da Casa Cepel NZEB mostra a importância da disseminação do conceito de construção sustentável, com balanço energético equilibrado. A partir do consumo estimado da edificação e da geração distribuída projetada, o sistema fotovoltaico fornecerá 100 % da energia consumida na Casa. Considerando-se que a previsão de consumo foi baseada num plano de utilização da edificação com uma margem de segurança de cerca de 18 % a mais de consumo, é provável que ao longo de sua operação a edificação consiga atingir balanço energético positivo, ou seja, geração superior ao consumo, na maior parte do tempo, superando assim o requisito para caracterização da edificação como NZEB.

A Casa Cepel NZEB será um bom exemplo de “*smart home*” com diversos “*smart meters*”, que poderão contribuir também para a construção de novos regulamentos ou revisão dos existentes nas áreas de geração distribuída de energia, desempenho térmico de edificações e eficiência energética de produtos.

7.0 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Dados extraídos do site Projeteer (<http://projeteer.mma.gov.br/>), em fevereiro de 2020.
- [2] NBR 15220, Desempenho térmico de edificações, norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Rio de Janeiro, 2005.
- [3] Portaria do Inmetro nº 42, de 24 de fevereiro de 2021 - Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C).
- [4] NBR 15575.
- [5] Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (RTQ-C).
- [6] Resolução Normativa Aneel 482/2012.

DADOS BIOGRÁFICOS



Alessandra da Costa Barbosa Pires de Souza recebeu o título de Engenheira Eletricista pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, Brasil, em 2009. Sua experiência profissional inclui atividades de gestão de projetos nas áreas de eficiência energética e compatibilidade eletromagnética. Atualmente é pesquisadora responsável pelo Laboratório de Eficiência Energética do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (Cepel) e aluna de mestrado de Engenharia Elétrica na Universidade Federal Fluminense (UFF), Rio de Janeiro, Brasil.

(2) MARTA MARIA DE ALMEIDA OLIVIERI
Graduada em Engenharia Elétrica, com Mestrado em Engenharia de Materiais (COPPE-UFRJ). Graduada em Psicologia. Assistente da Diretoria de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação do Cepel. Pesquisadora do Cepel desde 1986, atuando nas áreas de eficiência energética, geração distribuída e sistemas fotovoltaicos para atendimento de comunidades isoladas, monitoramento e gestão de ativos, ensaios dielétricos em equipamentos de alta tensão. Foi coordenadora pela Eletrobras de pesquisa de campo de Programa de Eletrificação Rural. Apoiou projetos de sistemas fotovoltaicos para atendimento de comunidades rurais e projetos de geração distribuída em Smart Grid em Empresas Eletrobras. Foi Coordenadora de Estudos e Planejamentos Energéticos da SEN-MME.

(3) GEORGE ALVES SOARES
Doutorado pela UFRJ, Mestrado pela PUC-RJ. Trabalha no setor elétrico nos últimos 35 anos. Experiências no setor privado e público nas áreas de sustentabilidade, energia renováveis, eficiência energética, P&D I e desenvolvimento de novos negócios. Hoje é CEO da Growing Energy. Foi Diretor da Jordão Energia. Foi assessor do Diretor Geral do Cepel. Atuou no MME como coordenador geral de eficiência energética. Na Eletrobras, implantou as áreas corporativa e de novos negócios em eficiência Energética, desenvolveu seis programas nacionais do PROCEL. Foi assistente das Diretorias de Tecnologia e Transmissão. Publicou artigos e capítulos de livros e profere palestras.