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

# PROCESSO DE PROJETO PARA HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL VERTICAL DE BALANÇO ENERGÉTICO NULO NO SOL NASCENTE – DF

**Mateus Oliveira de Queiroz (1); Camila Correia Teles (2) Orlando Vinicius Rangel Nunes (3); Félix Alves da Silva Júnior (4)**
(1) Arquiteto e Urbanista, m.mateus_net@hotmail.com
(2) Mestre, Professora de Arquitetura e Urbanismo, arq.camilacorreiateles@gmail.com
(3) Mestre, Professor de Arquitetura e Urbanismo, orlandovrnunes@gmail.com
Centro Universitário Planalto do Distrito Federal, Av. Pau Brasil, s/n, Brasília - DF, Tel.: (61) 34352200
(4) Doutor, Professor de Engenharia Civil, felixalsilva@gmail.com
Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia Brasília - DF, Tel.: (61) 33075502

**RESUMO**
O conceito de balanço energético nulo em edificações tem sido expressivo no cenário de sustentabilidade da construção civil, visto que propõe benefícios ambientais, sociais e econômicos. Essa solução inclui estratégias de conforto ambiental para eficiência energética bem como de geração de energia elétrica por fontes renováveis para suprir a demanda energética da edificação. Este trabalho propõe um método de processo projetual para o alcance do balanço energético nulo em uma habitação de interesse social vertical inserida em clima tropical de altitude, mais especificamente no Setor Habitacional Sol Nascente, na cidade de Ceilândia – Distrito Federal. A proposta teve como base as diretrizes estabelecidas pelo concurso público nacional de projetos de arquitetura para edifícios de uso misto com unidades habitacionais e comércio, realizado pela Companhia de Desenvolvimento Habitacional do Distrito Federal – CODHAB. A pesquisa foi dividida em três etapas: avaliação do contexto urbano do Sol Nascente; desenvolvimento de proposta de habitação de interesse social de balanço energético nulo; e verificação do balanço energético da proposta com calculadoras *online*. Após análise dos dados, verificou-se a exequibilidade de estratégias de eficiência energética em uma Habitação de Interesse Social Vertical e de geração de energia elétrica *in loco* por meio de sistema fotovoltaico, que, juntos, possibilitam o alcance do *Zero Energy Building* – ZEB. No entanto, constatou-se uma inadequação do programa de necessidades proposto pelo concurso da CODHAB, o que inviabiliza a integração de estratégias arquitetônicas passivas para essa localidade.
Palavras-chave: Balanço Energético Nulo. Eficiência Energética. Climatização Passiva. Energia Fotovoltaica.

**ABSTRACT**
The concept of Zero Energy Buildings has been expressive in the scenario of civil construction sustainability, considering that it proposes environmental, social and economic benefits. This solution includes strategies of environmental comfort for the energy efficiency as well as the power generation by renewable sources in order to supply the power demand of the building. This work aims to propose a method of project process to reach the Zero Energy Buildings in one vertical social housing inserted in an altitude tropical climate, more specifically in the Setor Habitacional Sol Nascente, in the city of Ceilândia, Federal District. The proposal was based on established guidelines by the national tender of architecture projects for mixed-use buildings with housing units and commerce carried out by the Federal District Housing Development Company - CODHAB. The research was divided in 3 stages: urban context evaluation of Sol Nascente, development of a social housing proposal following the concept of Zero Energy Buildings and verifying the energy balance of the proposal with online calculators. After the analysis of the data, it was verified the feasibility of strategies of energy efficiency in one vertical housing with social interest and of on-site electric power generation by the means of photovoltaic system, which together make Zero Energy Building – ZEB possible. However, an inadequacy was found in the program needs proposed by CODHAB tender that impairs the integration of passive architectural strategies to this location.
Keywords: Zero Energy Buildings. Energy Efficiency. Passive Architectural Strategies. Photovoltaic Energy.

## 1 INTRODUÇÃO

O método de processo de projeto de arquitetura de Habitação de Interesse Social – HIS Vertical para alcance de *Zero Energy Building* – ZEB ou edificação de balanço energético nulo apresentado neste artigo foi baseado nos conceitos de sustentabilidade e eficiência energética, a qual envolve medidas que permitam melhor rendimento com o mínimo dispêndio energético e é alcançada por meio da redução da quantidade de energia necessária para atender às demandas da sociedade, propiciando menor impacto ao meio ambiente (NASCIMENTO, 2015).

O conceito de ZEB remete a edifícios com necessidades energéticas reduzidas, que buscam produzir a mesma quantidade de energia elétrica consumida em um período anual (TORCELLINI, PLESS e DERU, 2006).

Entende-se que, para alcançar o balanço energético nulo, é necessário adotar três principais etapas: estratégias arquitetônicas de climatização passiva que se adaptem ao contexto climático regional e urbano local[1], eficiência de equipamentos eletroeletrônicos; e produção de energia por fontes renováveis para atender à demanda de consumo (KEELER e BURKE, 2010). Essas etapas se encaixam no conceito de sustentabilidade.

O termo sustentabilidade possui diversas definições. Em comum, pauta-se em três dimensões que se relacionam: social, ambiental e econômica (BORIN, CLARO e AMÂNCIO, 2008). Esta pesquisa contempla este trilema, visto que aborda habitação de interesse social vertical, que requer a redução de custos, e prioriza o abatimento de consumo de energia e de impacto ambiental. Ao alcançar o balanço energético nulo, destaca-se diretamente a diminuição de custos operacionais da edificação, mediante a redução de consumo e produção de energia local, tornando-se outra característica econômica favorável para integração do conceito ZEB a uma HIS.

O Brasil possui grande parcela de sua matriz energética elétrica oriunda de fontes renováveis, o que favorece o desenvolvimento sustentável (BRASIL; EPE; MME, 2017). No entanto, vale salientar que aproximadamente 61% do total de energia elétrica é gerado por sistemas hidrelétricos (EPE; MME, 2019), fato que apresenta vulnerabilidades em períodos de seca. Além disso, o contexto brasileiro de predominância por geração centralizada de energia, localizada a grandes distâncias do local de consumo, apresenta menor eficiência energética devido às perdas totais na rede do Sistema Interligado Nacional – SIN em processos de transmissão e distribuição, que segundo EPE e MME (2019), correspondem a 11,3% de sua produção.

O método de processo projetual desta pesquisa propõe minimizar as vulnerabilidades apresentadas por se priorizar o sistema de geração distribuída, agregado na própria edificação, o qual reduz substancialmente perdas pelos processos de transmissão e distribuição. Além disso, a alternativa de geração distribuída está cada vez mais em destaque, visto que teve um aumento de 131% em 2018 em relação ao ano anterior (EPE; MME, 2019).

A aplicação do conceito ZEB é pertinente, dado que as edificações compõem uma parcela representativa do consumo de energia elétrica no mundo. Segundo Lamberts e Borgstein (2014), os edifícios são responsáveis por cerca de 48% do consumo de energia elétrica do Brasil. De acordo com o Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações – PROCEL EDIFICA , "estima-se um potencial de redução deste consumo em 50% para novas edificações e de 30% para aquelas que promoverem reformas que contemplem os conceitos de eficiência energética em edificações".

Dentro desse contexto, a escala residencial é relevante porque as residências estão entre as tipologias de construção com maior consumo de energia elétrica no Distrito Federal – DF, responsáveis por 35,2% do consumo total do DF. (BRASIL; EPE; MME, 2018). Como agravante, há previsão de crescimento do consumo energético total no setor residencial de aproximadamente 1,8% ao ano até 2026, tendo a energia elétrica como principal fonte energética para os domicílios (BRASIL; EPE; MME, 2017).

A escolha por habitação de interesse social vertical pauta-se pela necessidade de prover acesso a terra urbanizada e a habitação digna (adequada) para a população de menor renda, como regulamenta a lei do Sistema Nacional de Habitação de Interesse Social – SNHIS Nº 11.124 (2005).

No Brasil, o déficit habitacional em 2015 correspondeu a 6.186.503 domicílios. No Distrito Federal, os dados apontaram para um déficit de 130.992 domicílios, o que representou quase 13% do total de

[1]Segundo Kohlsdorf e Kohlsdorf (2017), são categorias analíticas relacionadas à configuração espacial que influem no conforto bioclimático e na eficiência energética: relevo do solo, densidade de ocupação, orientação solar, orientação eólica, permeabilidade do solo, áreas aquíferas, vegetação, rugosidade, porosidade, materiais das superfícies expostas, distâncias das fontes de ruídos, obstáculos à propagação do som, superfícies paralelas horizontais e verticais, usos do solo geradores de incomodidade hidrotérmica, acústica, luminosas e qualidade do ar.

domicílios particulares da região (FJP, 2017). Por isso, é importante apresentar soluções para garantir acesso à habitação digna para toda a população, especialmente para o público-alvo do Plano Nacional de Habitação, com renda abaixo de três salários mínimos (BRASIL, 2009).

A delimitação geográfica do Setor Habitacional Sol Nascente, na cidade de Ceilândia, justifica-se por ter sido declarada como Área de Regularização de Interesse Social – ARIS apropriada para receber a tipologia de edificação de interesse social proposta, criada por meio da Lei Complementar nº 785, de 14 de novembro de 2008, destinada ao atendimento da população de baixa renda.

As ações públicas e privadas no Brasil e no Distrito Federal relacionadas à arquitetura energicamente eficiente no âmbito da HIS são ainda recentes (KITA, 2018). Apesar dessa conjuntura, um dos principais instrumentos balizadores dessas ações é a ABNT NBR 15220 – Desempenho Térmico de Edificações, que apresenta recomendações quanto ao desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares de interesse social.

A referida norma está dividida em cinco partes, das quais a primeira estabelece definições, simbologias e unidades de medida e a segunda apresenta métodos de cálculo de transmitância térmica, capacidade térmica, atraso térmico e fator solar de elementos e componentes das edificações (ABNT, 2003a). Vale destacar para esta pesquisa a grande relevância da terceira parte, que aborda o zoneamento bioclimático brasileiro e as estratégias de climatização passiva para cada zona, que possibilitam a redução do consumo de energia das edificações.

Considerando-se a localização da área em estudo – Sol Nascente, na cidade de Ceilândia – DF –, pertencente à Zona Bioclimática 4, devem ser adotadas as seguintes estratégias de condicionamento térmico passivo: para o verão são propostas soluções de resfriamento evaporativo, massa térmica para resfriamento e ventilação seletiva; para o inverno são indicadas estratégias de aquecimento solar da edificação e vedações internas pesadas (ABNT, 2003b).

O Resfriamento evaporativo ocorre a partir da retirada de calor do ar pela evaporação de água, desenvolvendo-se, assim, o processo de umidificação do ar (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). A ventilação seletiva deve garantir adaptabilidade para ventilação em maior quantidade em períodos quentes quando a temperatura interna é superior à externa (ABNT, 2003b) e, ainda, ser capaz de permitir uma ventilação reduzida em períodos mais frios para promover a higiene do ar interno e a manutenção do conforto térmico da edificação (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Para promover o aquecimento solar da edificação, devem ser utilizados fechamentos transparentes e mecanismos de sombreamento que possam controlar a incidência de radiação solar direta no interior da edificação, de forma a não promover o superaquecimento dos ambientes no verão e proporcionar manutenção do conforto térmico no inverno (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

As vedações internas pesadas correspondem à utilização de inércia térmica com materiais que promovam atraso do calor absorvido durante o dia, para que possa ser liberado durante a noite, quando não haverá radiação solar sobre a edificação (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

A ABNT NBR 15220 ainda solicita, para a Zona Bioclimática 4, aberturas médias, maiores que 15% e menores que 25%, da área de piso de cada ambiente. Em relação às vedações externas, é proposta a parede pesada, com transmitância térmica menor ou igual a 2,20 W/m²·K, atraso térmico de no mínimo 6,5 horas e Fator Solar de no máximo 3,5%, assim como cobertura leve isolada, com transmitância térmica até 2,00 W/m2·K, atraso térmico de no máximo 3,3 horas e Fator Solar de até 6,5% (ABNT, 2003).

Além da eficiência energética possibilitada pelas estratégias de climatização passiva, o alcance do ZEB também é influenciado pela potencialidade local quanto às fontes renováveis, como a energia solar. O Sol é uma estrela média que atua como uma fonte abundante de energia sobre a terra através de reações do processo de fusão nuclear. Se captado o total de energia vinda do Sol no período de um segundo, seria possível abastecer a demanda energética brasileira por aproximadamente 9.000.000 de anos (TAVARES, 2000).

Segundo dados apresentados por Pereira *et al*. (2017) no Atlas Brasileiro de Energia Solar, o Brasil dispõe de grande potencial de radiação solar ainda pouco explorado, com destaque à região Centro-Oeste, que abriga a área em estudo e apresenta índices significativos de radiação com baixa variabilidade entre as médias sazonais no período anual em relação às demais regiões do País. Diante desses dados, nota-se a alta potencialidade de captação da energia solar por sistemas fotovoltaicos na região em estudo, que permite geração energética de forma limpa e descentralizada.

As recomendações de desempenho das edificações residenciais possibilitam manutenção do conforto ambiental e eficiência no consumo de energia, que, junto à produção local de energia solar fotovoltaica

possibilitada por altos índices de radiação solar – principalmente nos meses de agosto e setembro com menor quantidade de nuvens e chuvas –, contribuem para o alcance do ZEB nesta pesquisa.

A aplicação dessas estratégias apresenta como benefícios secundários a redução de danos ambientais significativos causados na geração de energia produzida por fontes não renováveis, bem como redução de perdas energéticas no processo de transmissão e distribuição da energia gerada em usinas.

Considerando-se o contexto de importância global da eficiência energética e suas contribuições para o desenvolvimento sustentável, de alta potencialidade de energia solar fotovoltaica em território brasileiro e, ainda, o déficit habitacional na cidade de Ceilândia, questiona-se: Como o conceito ZEB pode ser aplicado para reduzir o impacto ambiental e ainda alcançar benefícios sociais e econômicos em uma HIS vertical no Setor Habitacional Sol Nascente, na cidade de Ceilândia?

## 2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é propor um método de processo projetual de balanço energético nulo de habitação de interesse social vertical em clima tropical de altitude, mais especificamente no Setor Habitacional Sol Nascente, na cidade de Ceilândia, Distrito Federal, com base nas especificações técnicas do Concurso Nº 08/2016 da Companhia de Desenvolvimento Habitacional do Distrito Federal – CODHAB.

## 3 MÉTODO

A pesquisa foi dividida em três etapas:

1. avaliação do contexto urbano do Sol Nascente;
2. desenvolvimento de proposta de habitação de interesse social de balanço energético nulo no Sol Nascente;
3. verificação do balanço energético da proposta com calculadoras *online*.

### 3.1 Avaliação do contexto urbano

A morfologia do contexto urbano foi analisada mediante a elaboração de mapas de uso do solo, de gabarito de altura, de hierarquia de vias, de cobertura do solo, de cheios e vazios e de topografia, considerando-se uma área de influência de 500 metros em formato ameboide, bem como mapas de massas vegetais, sistema hídrico e bioclimatismo considerando-se uma área de influência de 1.500 metros também em formato ameboide. Todos os mapas foram elaborados com a base de dados do GEOPORTAL (2018).

### 3.2 Proposta de Habitação de Interesse Social de Balanço Energético Nulo no Sol Nascente

O programa de necessidades seguiu diretrizes do concurso público nacional de projetos de arquitetura para edifícios de uso misto, com unidades habitacionais e comércio, no Setor Habitacional Sol Nascente, trecho 02, quadra 105 em Ceilândia. O edital apresenta os ambientes mínimos e as respectivas metragens mínimas: Sala de estar – 9 m²; Dormitório 1 – 7,5 m²; Dormitório 2 – 7,5m²; Dormitório 3 – 7,5 m²; Cozinha – 3,75 m²; Área de Serviço 3 m²; Banheiro – largura mínima de 1,5 m, sendo todos os ambientes com pé direito mínimo de 2,5 m e área total de construção máxima permitida de 68 m² para cada unidade habitacional – UH, incluídas alvenarias e estruturas (CODHAB, 2016).

Para o desenvolvimento da proposta projetual, os requisitos arquitetônicos foram norteados com foco na desconstrução dos limites do terreno, na maior integração do interior com exterior e valorização dos espaços coletivos, para fortalecer a dimensão social do tripé da sustentabilidade e mitigar o déficit de área privada comum em HIS. A proposta das edificações habitacionais foi baseada em legislações, regulamentações e instrumentos balizadores quanto a aspectos funcionais e bioclimáticos de tipologias habitacionais.

Quanto às soluções bioclimáticas, foi proposto o aproveitamento das condicionantes naturais como iluminação e ventilação naturais (KOHLSDORF; KOHLSDORF, 2017), a fim de obter maior eficiência energética, proporcionar maior conforto ambiental e ainda prover redução de custos operacionais do conjunto arquitetônico. Essas diretrizes influenciaram diretamente na orientação da implantação da edificação.

Verificou-se, ainda, a incidência solar nas aberturas do conjunto de edifícios bem como a necessidade de proteções solares para estas aberturas e dimensões mínimas de sombreamento. O estudo de insolação foi realizado por meio de análise de cartas solares, produzidas com o programa *Analysis* SOL-AR.

Os materiais de parede e cobertura foram escolhidos com base nos exemplos de vedação indicados no Anexo D da ABNT NBR 15220, que atendem aos valores exigidos para a Zona Bioclimática 4. Após a aplicação de estratégias arquitetônicas de climatização passiva para possibilitar a eficiência energética da edificação, foi integrado o sistema de geração de energia solar fotovoltaico, bem como sistemas de aquecimento solar exclusivamente para chuveiro das edificações habitacionais, todos voltados para a fachada norte, que possui maior incidência solar nas cidades do hemisfério sul.

Para a análise da irradiação solar na área-estudo, localizada sob as coordenadas: latitude 15°49'44.50"S e longitude 48°08'38.10"O, no Sol Nascente, em Ceilândia, utilizou-se a base de dados de uma localidade situada a 3,2 quilômetros de distância do ponto de interesse, disponibilizada através do programa *SunData*, conforme indicado na figura 1, a fim de fornecer apoio ao dimensionamento de sistemas fotovoltaicos (BRASIL; MME; ELETROBRAS, 2018).

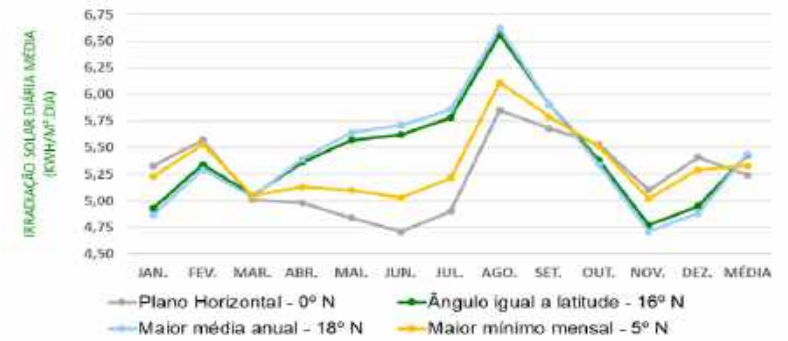



Figura 1 - Irradiação solar no plano horizontal e inclinados para localidade próxima a área em estudo. (Fonte: BRASIL; MME; ELETROBRAS, 2018)

O método de processo projetual proposto reitera o compromisso em atingir a despadronização do partido tradicional replicado no País inteiro, segundo modelos de programas habitacionais, que, de forma generalizada, desconsideram as condicionantes bioclimáticas das regiões de implantação do projeto.

## 3.3 Verificação do Balanço Energético Nulo da proposta

O consumo médio das unidades habitacionais foi definido em calculadora *online* do Simulador de Consumo COPEL (2018), pela proposta de equipamentos de utilização regular por cada ambiente da edificação. Os dados de entrada da calculadora são: nome do ambiente, tipo de equipamento eletroeletrônico, horas diárias de utilização e dias por semana de utilização. Os dados de saída são o consumo total em kWh/mês.

Os tipos de equipamentos utilizados e o tempo de utilização semanal foram estabelecidos com base em 35 questionários aplicados a moradores de Habitação de Interesse Social em Ceilândia. Os dados foram elencados em uma tabela em Excel e foi feita a média aritmética dos valores obtidos.

Para o dimensionamento do consumo energético de todos os edifícios, foi multiplicado o consumo de cada unidade habitacional – UH pelo número total de unidades consumidoras por bloco. O conjunto habitacional proposto é formado por três blocos, sendo o primeiro com 15 UH e 5 unidades comerciais, o segundo com 9 UH e o terceiro com 20 UH. O consumo das unidades comerciais não foi contabilizado, visto que o foco da proposta está no contexto habitacional, no entanto vale salientar que para o consumo de uma unidade comercial, deve-se adotar valor de 93kWh/m², dado este obtido em estudos anteriores de consumo energético em edifícios comerciais no Distrito Federal (COSTA; OLIVEIRA; AMORIM, 2017).

Após obter o resultado de consumo total de energia das habitações, se fez necessário o dimensionamento do sistema de geração de energia elétrica por módulos fotovoltaicos, que foi obtido por meio da calculadora solar fotovoltaica disponível na plataforma *online* NeoSolar (2018). Os dados de entrada da calculadora foram: acesso a rede elétrica, região de instalação do sistema, tipologia operacional da edificação, valor gasto em energia e ou consumo estimado em kWh/mês. Os dados de saída foram: tamanho do sistema em kWp, quantidade de módulos solares fotovoltaicos, produção anual estimada, área necessária para instalação dos módulos em m² e peso estimado do sistema.

No que tange ao consumo de água quente exclusivamente para o chuveiro, os dados foram obtidos por meio do simulador de consumo residencial de água quente disponível na plataforma *online* Soletrol (2018). Os dados de entrada da calculadora foram: quantidade de pessoas na residência, quantidade total de banhos diários, duração média de cada banho em minutos e perfil de consumo de água quente. O dado de saída foi o consumo diário de água quente por unidade consumidora em litros.

Após definição do consumo de água quente, se faz necessário realizar o dimensionamento do sistema de aquecimento solar para atender a este consumo. Para uma UH com base em 5 integrantes, o consumo diário de água quente é equivalente a 380 litros, o que requer a implementação de 5 m² de painéis de aquecimento solar por UH.

## 4 RESULTADOS

Apresentam-se a seguir os resultados obtidos nas fases de estudo de caso, avaliação do contexto urbano bem como a caracterização da proposta de habitação de interesse social de balanço energético nulo no Sol Nascente e, por fim, a verificação do balanço energético nulo dessa proposta.

### 4.1 Avaliação do contexto urbano

Inicialmente, encontram-se dispostos os resultados da análise do mapa de uso do solo: em regra, os lotes do setor habitacional possuem uso predominantemente residencial de baixa densidade, respondendo por 253.978 m², com um total de 1.250 unidades de lotes, ao passo que somente 8.782 m² são ocupados por lotes de uso comercial, 203 m² de uso institucional, 203 m² de uso misto, 203 m² de uso religioso e 260 m² estão vazios. No mapa de gabarito de altura, registra-se o predomínio de áreas com edificações caracterizadas por possuírem apenas o pavimento térreo, ou seja, dos 1.250 lotes da área de influência direta, apenas 20 possuem dois pavimentos e 1 lote possui 3 pavimentos. A horizontalidade observada na área de influência evita o sombreamento de edificações mais altas sobre as mais baixas, o que impede a formação de barreiras físicas potenciais, favorece a rugosidade, maximiza o aproveitamento solar e evita ilhas de calor.

Quanto ao sistema viário, infere-se que as vias de acesso ao conjunto não são pavimentadas, não havendo, assim, infraestrutura nas variáveis de transporte e mobilidade. Contudo, vislumbra-se uma possível melhora decorrente da aprovação do Projeto Urbanístico de Parcelamento da Etapa 2 do Trecho II do Setor Habitacional Sol Nascente, conforme o Decreto nº 38.007, de 13 de fevereiro de 2017.

No mapa de cobertura do solo, constatou-se que a área total do raio de influência é de 93,53 hectares, o que permitiu notar que aproximadamente 29,31 hectares, ou 72,44 acres, ainda possuem algum tipo de cobertura vegetal frente aos 19,75 hectares de áreas marcadas pela presença de ações antrópicas de urbanização e 44,47 hectares de áreas com solo exposto.

O mapa de cheios e vazios representa 19,75 hectares ocupados – os cheios –, restando como áreas de presumíveis espaços vazios 73,79 hectares dos 93,53 hectares da área de influência. A malha urbana demonstra a aglomeração dos cheios a nordeste da área de influência, destacando o adensamento na composição do tecido que apresenta baixa porosidade, reduzindo a permeabilidade da ventilação incidente sobre as edificações em mesmo nível.

Os terrenos escolhidos para a intervenção de projeto possuem uma topografia quase plana, na cota altimétrica média de 1.115 metros ao nível do mar. As condições do microclima do local são influenciadas pelo predomínio dos ventos do sentido leste para o oeste durante as estações da primavera, outono e inverno. Já na estação do verão, nota-se o predomínio de ventos do sentido Noroeste ao Sudeste.

### 4.2 Resultados da Proposta de Habitação de Interesse Social de Balanço Energético Nulo

Como resultado, obteve-se o desenvolvimento de um partido linear horizontalizado conforme a orientação e a morfologia do terreno, o que tornou factíveis uma melhor distribuição funcional e estética da composição e a valorização das condicionantes naturais e permitiu o desenvolvimento do eixo comercial à margem da via de maior hierarquia viária. O conjunto habitacional foi constituído em uma composição de 3 tipologias de blocos, conforme Figura 2.

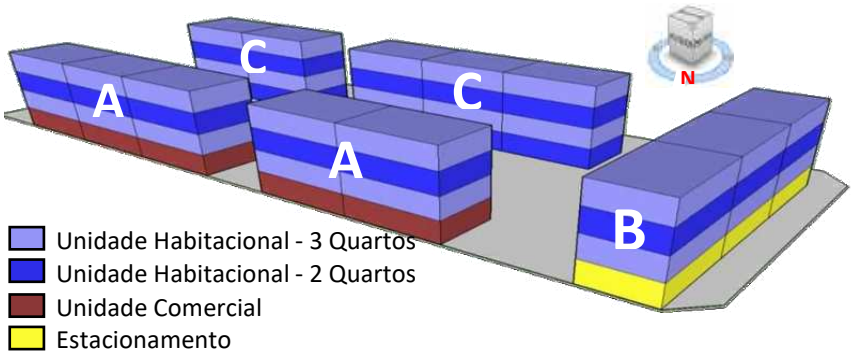


Figura 2 – Implantação dos conjuntos habitacionais. (Fonte: Elaborado pelos autores, 2019)

O bloco A foi formado por 2 edificações implantadas no eixo longitudinal e conectadas por meio de circulação comum. A edificação com menor dimensão foi composta por 2 UH por pavimento e a outra, com maior dimensão, por 3 UH por pavimento; no térreo, apresenta-se a disposição do eixo comercial formado por unidades comerciais, conforme a Figura 2. O bloco B, implantado no eixo latitudinal, foi formado por edificação única, composta por 3 UH por pavimento, e elevação sobre pilotis no térreo destinada ao uso de vagas para estacionamento veicular. Por fim, o bloco C apresentou morfologia e caracterização similar ao bloco A, com diferencial destacado no térreo: em vez de unidades comerciais, esse pavimento foi formado por unidades habitacionais, das quais 3 foram projetadas para atender a critérios de acessibilidade, o que representa aproximadamente 5% do total de UH do conjunto.

A implantação deste projeto priorizou fachadas orientadas ao sul, onde ocorre menor incidência solar direta com menor tempo de exposição, tornando-se favorável a exposição de ambientes de maior permanência. As fachadas orientadas a Norte e a Oeste apresentaram grande quantidade de insolação direta no decorrer de todo o dia, sendo, portanto, adequadas para ambientes de menor permanência.

Percebeu-se a necessidade de se trabalhar com proteção horizontal nas fachadas Nordeste e Sudeste, com inclinação de 40º para a fachada nordeste e de 35º para a sudeste, assim como as fachadas Sudoeste, e Noroeste apresentam maior necessidade de proteção vertical, com inclinação de 45º para a fachada Sudoeste e de 60º para a fachada Noroeste.

Com foco no conforto ambiental da edificação, foram adotadas estratégias de condicionamento passivo, conforme Figura 3: a adoção de brises, que proporcionam controle na incidência solar direta; a implementação de circulações de acessos às UH externas à edificação, sendo utilizadas como proteção para fachadas de maior incidência; a inserção de massas vegetativas que possibilitam redução de temperaturas locais e de efeitos da ilha de calor; a integração de um sistema de resfriamento evaporativo sob as circulações externas, de forma a contribuir para o aumento da umidade do clima seco apresentado na região de projeto; a utilização de envoltória mais espessa, que apresenta maior atraso térmico conforme disposto na normatização referida nesta pesquisa; dimensionamento de aberturas correspondentes de 15% a 25% da área de piso de cada ambiente, de forma a promover ventilação natural adequada segundo as condicionantes climáticas da Zona Bioclimática 4.

Essas estratégias, além do conforto ambiental proporcionado, auxiliam na redução do consumo energético, visto que minimizam a necessidade de climatização artificial para a redução ou aumento de temperatura das unidades habitacionais e comerciais.



Figura 3 – Maquete virtual de apresentação da proposta. (Fonte: Elaborado pelos autores, 2019)

Devido às exigências de transmitância térmica, atraso térmico e fator solar presentes na ABNT NBR 15220 e os exemplos indicados no Anexo D, foi necessário adotar vedações internas e externas espessas, de 26 cm, compostas por dupla fileira de tijolos maciços assentados na menor dimensão, com transmitância térmica equivalente a 2,30 W/m²·K e atraso térmico de 6,6 horas. Essa estratégia ocupa grande área, calculada em aproximadamente 19% da área total da UH, porém agrega benefícios quanto à eficiência energética e ao conforto térmico das unidades.

Para a viabilização da proposta de vedações no desenvolvimento projetual da unidade habitacional, consideraram-se as metragens construtivas de áreas máximas equivalentes a 68 m² tendo sido contabilizada apenas a área útil das unidades habitacionais, estando, portanto, em desacordo com uma das diretrizes estabelecidas originalmente no programa de necessidades do concurso, a qual previa a área máxima da unidade habitacional incluindo alvenarias e estruturas.

## 4.3 Resultados da integração do Balanço Energético Nulo da proposta

As tabelas 1, 2 e 3 apresentam resultados calculados relativos ao consumo energético das edificações e dimensionamento dos sistemas de geração de energia elétrica fotovoltaica e aquecimento solar da água.

Tabela 1- Consumo energético total em uma unidade habitacional.

| Ambiente | Equipamentos | Utilização (horas) | Dias por semana |
|---|---|---|---|
| Sala de Estar | 1 Televisor | 6 | 6 |
| | 1 Computador | 3 | 6 |
| | 3 Lâmpada Led | 8 | 7 |
| | 1 Vídeo Game | 1 | 2 |
| | 1 Ventilador | 0,5 | 2 |
| Dormitório 01 | 1 Lâmpada Led | 8 | 7 |
| | 1 Televisor | 6 | 6 |
| Dormitório 02 | 1 Lâmpada Led | 8 | 7 |
| Dormitório 03 | 1 Lâmpada Led | 8 | 7 |
| Cozinha | 1 Lâmpada Led | 8 | 7 |
| | 1 Geladeira | 24 | 7 |
| | 1 Microondas | 0,5 | 6 |
| Serviço | 1 Máquina de Lavar | 1 | 3 |
| | 1 Ferro de Passar | 0,75 | 2 |
| Banheiro | 1 Lâmpada Led | 8 | 7 |
| | | CONSUMO TOTAL: 192,70 kWh/mês | |

(Fonte: Elaborado pelos autores, 2019)

Tabela 2 - Consumo energético total por bloco habitacional.

| Edificação | Unidades Consumidoras | Consumo Total |
|---|---|---|
| Bloco A | 15 | 2890,5 kWh/mês |
| Bloco B | 9 | 1734,30 kWh/mês |
| Bloco C | 20 | 3854 kWh/mês |

(Fonte: Elaborado pelos autores, 2019)

Tabela 3 - Dimensionamento sistema de geração de energia solar fotovoltaica por bloco habitacional.

| | Bloco A | Bloco B | Bloco C |
|---|---|---|---|
| **Tamanho do Sistema:** | 2890,5 kWh/mês | 1734,30 KWh/mês | 3854 KWh/mês |
| | 22,92 kWp | 13,60 kWp | 30,68 kWp |
| **Número de Módulos:** | 83 módulos | 49 módulos | 112 módulos |
| **Produção anual estimada:** | 34.097 kWh | 20.229 KWh | 45.651 KWh |
| **Área necessária:** | 160,41 m2 | 95,17 m2 | 214,77 m2 |
| **Peso estimado:** | 2.177,06 kg | 1.291,57 kg | 2.914,79 kg |

(Fonte: Elaborado pelos autores, 2019)

Para o dimensionamento do sistema de consumo de água quente exclusivamente para o chuveiro, foram considerados 5 habitantes por UH e, para cada habitante, contabilizou-se um banho diário com duração média de 10 minutos cada; logo, 5 banhos diários por UH. Considerou-se perfil de consumo moderado, correspondente a aproximadamente 38% de disponibilidade na taxa de consumo, o que resultou em uma estimativa de consumo diário de 380 litros de água quente, conforme apresentado pela calculadora *online* Soletrol (2018).

Tabela 4 - Dimensionamento sistema de aquecimento solar.

| Edificação | Unidades Habitacionais | Área Total de aquecimento solar (m²) | Número de Módulos |
|---|---|---|---|
| Bloco A | 15 | 75 | 38 |
| Bloco B | 9 | 45 | 23 |
| Bloco C | 20 | 100 | 50 |

(Fonte: Elaborado pelos autores, 2019)

A análise final de avaliação da proposta compromete-se em atestar o equilíbrio entre o consumo energético da edificação e a produção de energia elétrica por módulos fotovoltaicos, tornando a edificação eficiente energicamente e apta a apresentar dados equivalentes de consumo e geração de energia após um período anual.

## 5 CONCLUSÕES

De forma clara, verifica-se a capacidade desta pesquisa em atingir seu objetivo de produzir um método projetual para um conjunto habitacional de interesse social vertical de balanço energético nulo na Zona Bioclimática 4. Foi possível explicitar a importância da integração entre as estratégias de condicionamento térmico passivo e os sistemas de geração de energia elétrica por fontes renováveis para alcançar os benefícios da eficiência energética em edificações residenciais, bem como a promoção do conforto ambiental em seu interior e ainda a redução do impacto ambiental em sua operacionalização.

O maior desafio pautou-se na tentativa de integrar estratégias arquitetônicas passivas às diretrizes do programa de necessidades proposto pelo concurso da CODHAB, visto que a aplicação dessas estratégias ia de encontro às dimensões máximas permitidas. Assim, por não apresentar preocupação com as condicionantes bioclimáticas do local de inserção de projeto, o programa foi considerado inadequado. Essa constatação permite uma crítica ao atual modelo de políticas habitacionais do Distrito Federal, que – a espelho do que vem sendo replicado no Brasil – não considera a análise do contexto urbano da região de inserção do projeto, bem como, a não diversificação do programa para atender as diferentes necessidades morfológicas e funcionais das edificações em si e de seus usuários.

Por fim, não basta apenas produzir a energia por meio de fontes renováveis, é necessário que a unidade habitacional consumidora também reduza seu consumo para alcançar sua eficiência energética, e, assim, também produzir benefícios econômicos na redução de custos operacionais da edificação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS


ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.220:** Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro: [s.n.], 2003a.

_____. **NBR 15.220-3**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro: [s.n.], 2003b.

_____. **NBR 15.575**: Desempenho de Edificações Habitacionais. Rio de Janeiro: [s.n.], 2013.

BORIN, P. D. O. C.; CLARO, D. P.; AMÂNCIO, R. Entendendo o conceito de sustentabilidade nas organizações**. Revista de Administração - RAUSP**, São Paulo, v. 43, n. 4, p. 289-300, Outubro-Dezembro 2008. Disponível em: <http://200.232.30.99/busca/artigo.asp?num_artigo=1354>. Acesso em: 21 fev. 2018.

BRASIL. **Plano Nacional de Habitação – PlanHab**. Brasília: 2009.

_____. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas.** Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – INMETRO. Rio de Janeiro. 2010.

_____. **Portaria n.º 18,** de 16 de janeiro de 2012. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética Edificações Residenciais, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001788.pdf>. Acesso em: 06 maio 2018.

BRASIL; EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE; MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2026**. Brasília: [s.n.], 2017. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-40/PDE2026.pdf>. Acesso em: 11 maio 2018.

_____. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2018**: ano base 2017. Brasília. [s.n.], 2018. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anuario2018vf.pdf>. Acesso em: 14 julho 2019.

BRASIL; MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME; ELETROBRAS. **Potencial Solar - SunData v 3.0.** Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito, 2018. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>. Acesso em: 19 jun. 2018.
CODHAB - COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO HABITACIONAL DO DISTRITO FEDERAL. **Especificação técnica de concurso nº 08/2016.** Brasília: [s.n.], 2016.
CODEPLAN - COMPANHIA DE PLANEJAMENTO DO DISTRITO FEDERAL. **Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílios - PDAD**. Brasília. 2015.
COSTA, J. F. W.; AMORIM, C. N. D. ; OLIVEIRA, N. P. R. . **Morphological characteristics and energy consumption of office buildings in the central area of Brasilia**. In: International Conference on Passive and Low Energy Architecture, 2017, Edinburgh. PLEA Proceedings 2017 - Design to Thrive. Edinburgh: NCEUB, 2017. v. 2. p. 2507-2514.
EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA; MME - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balanço Energético Nacional 2019: Relatório Síntese - ano base 2018.** Rio de Janeiro: [s.n.], 2019. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-377/topico-470/Relat%C3%B3rio%20S%C3%ADntese%20BEN%202019%20Ano%20Base%202018.pdf>. Acesso em: 13 julho 2019.
FJP - FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, DIRETORIA DE ESTATÍSTICA E INFORMAÇÕES. **Déficit habitacional no Brasil 2015**: resultados preliminares. Belo Horizonte: FJP, 2017.
GEOPORTAL. **Mapa. Geoportal: infraestrutura de dados espaciais IDE/DF**. Disponível em: <https://www.geoportal.segeth.df.gov.br/mapa/#>. Acesso em: 23 abr. 2018.
INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. **Edificações residenciais etiquetadas.** Disponível em: < http://www.pbeedifica.com.br/edificacoesetiquetadas/residencial> Acesso em 20 de maio de 2018.
KEELER, M.; BURKE, B. **Fundamentos de Projeto de Edificações Sustentáveis.** Porto Alegre: Bookman, 2010. 362 p. ISBN 9780470152935.
KITA, Monica Fischer Nunes. **Análise da contribuição das certificações ambientais aos desafios da Agenda 2030.** Revista Internacional de Ciências, v. 8, n. 1, p.27-46, 21 2018. Universidade de Estado do Rio de Janeiro. http://dx.doi.org/10.12957/ric.2018.30754.
KOHLSDORF, M. E.; KOHLSDORF, G. **Ensaio sobre o Desempenho Morfológicos dos Lugares.** Brasília: FRBH, 2017.
LAMBERTS, R. et al. **Casa eficiente**: Bioclimatologia e desempenho térmico. Florianópolis: UFSC / LabEEE, v. I, 2010a. 123 p. ISBN 978-85-7426-098-3. Disponível em: <http://www.eletrosul.gov.br/files/files/casaeficiente/vol%20I-WEB.pdf>. Acesso em: 17 maio 2018.
LAMBERTS, R.; BORGSTEIN, E. **Desenvolvimento de benchmarks nacionais de consumo energético de edificações em operação**. 1ª. ed. [S.l.]: CBCS, 2014.
LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3ª. ed. São Paulo: PROCEL, 2014.
NASCIMENTO, R. L. **Política de Eficiência Energética no Brasil. Brasília**: Consultoria Legislativa, 2015.
NEOSOLAR. **Simulador solar:** calculadora solar fotovoltaica. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/simulador-solar-calculadora-fotovoltaica>. Acesso em: 15 de dez. 2018.
PEREIRA, E. B. et al. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2ª. ed. São José dos Campos: INPE, 2017. ISBN 978-85-17-00089-8. Disponível em: <http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/Atlas_Brasileiro_Energia_Solar_2a_Edicao.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2018.
PROCEL - PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resultados Procel 2017**: Ano Base 2016. [S.l.]. 2017.
PROCEL EDIFICA. **Eficiência Energética nas Edificações**. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/data/Pages/LUMIS623FE2A5ITEMIDC46E0FFDBD124A0197D2587926254722LUMISADMIN1PTBRIE.htm>. Acesso em: 10 maio 2018.
PROCEL INFO - CENTRO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA. **Selo Procel Edificações.** PROCEL INFO. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View={8E03DCDE-FAE6-470C-90CB-922E4DD0542C}#>. Acesso em: 20 maio 2018.
SOL AR. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/softwares/analysis-sol-ar>. Acesso em: 13 dezembro 2018.
SOLETROL. **Simulador soletrol de consumo residencial de água quente.** Disponível em: <https://www.soletrol.com.br/extras/simulador-de-consumo-de-agua-quente/>. Acesso em: 15 de dez. 2018.
TAVARES, M. Aprendendo sobre o Sol. **Revista Brasileira de Ensino de Física,** Rio de Janeiro, v. 22, n. 1, p. 78-82, Março 2000.
TORCELLINI, P.; PLESS, S.; DERU, M. Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition. **National Renewable Energy Laboratory**, California, p. 14-18, jun. 2006.