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

SUSTENTABILIDADE NO AMBIENTE CONSTRUÍDO: ANÁLISE DE VIABILIDADE PARA IMPLANTAÇÃO DE ESTRATÉGIAS ATIVAS

Maria Cecília V. Zugliani (1); Carolina de Rezende Maciel (2)
(1) Arquiteta e Urbanista, cecilia.zugliani@hotmail.com, Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM), Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAU), Rua da Consolação 930, +55 (11) 2114-8383.
(2) Doutora, Arquiteta e Urbanista, carolina.maciel@mackenzie.br , Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM), Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAU), Rua da Consolação 930, +55 (11) 2114-8383.

RESUMO
O objetivo deste artigo é apresentar um exercício de projeto para um edifício híbrido baseado nas teorias de Adensamento, Cidade Compacta, Cidades Inteligentes e Multifuncionalidade nos centros urbanos, concebido para o aproveitamento racional dos recursos naturais, atendendo à sua demanda energética e hídrica por meio de estratégicas ativas. O método deste trabalho está dividido em três etapas principais: (1) aproveitamento dos recursos naturais como diretriz projetual; (2) uso de simulação computacional para alimentar o processo iterativo de evolução do partido arquitetônico; (3) estimativa dos custos de operação acerca da demanda hídrica e energética, e possibilidades de atendimento às estas demandas por meio de sistemas implantados *in loco*. A partir da análise do potencial de geração de energia pelos painéis fotovoltaicos constatou-se que seria necessária uma área maior do que a área disponível para implantação deste sistema em projeto, pois o mesmo gera somente 69% da demanda energética estimada. A mesma situação ocorreu com a demanda hídrica e a área disponível para implantação de *wetlands,* que conseguem tratar somente 59% das águas servidas da edificação. Observa-se, no entanto, o potencial de aproveitamento dos recursos naturais mesmo em uma situação de ocupação de uma região altamente urbanizada, demonstrando sua viabilidade em reduzir os custos de operação da edificação a partir de estratégias passivas e ativas, minimizando consideravelmente o impacto da edificação ao longo de sua vida útil.
Palavras-chave: sustentabilidade, estudo de viabilidade, simulação computacional.

ABSTRACT
The objective of this paper is to present an architectural exercise about a hybrid building based on the theories of Densification, Compact city, Smart cities and Multifunctional urban architecture, designed for the rational use of natural resources, taking into account their energy and water demand through active strategies. The method of this work is divided into three main steps: (1) use of natural resources as a design guideline; (2) use of computational simulation as a feedback to the iterative process of mass study evolution; (3) estimation of operating costs on water and energy demand, and possibilities to address these demands through systems implemented *in loco*. From the analysis of the potential of energy generation by PV panels, it was found that an area larger than the area available for the installation of this system in the project would be necessary, since it generates only 69% of the estimated energy demand. The same is true for the water demand and the area available for *wetlands* implantation, which can handle only 59% of the waste water from the building. Nevertheless, the potential for utilization of natural resources is observed even in a situation of occupation of a highly urbanized region, demonstrating its feasibility in reducing the costs of operation of the building through passive and active strategies, minimizing its environmental impact throughout its lifespan.
Keywords: sustainability, feasibility study, computational simulation.

1. INTRODUÇÃO

A sustentabilidade é um tema que ganhou importância mundial a partir da metade do século XX, com a consciência de que a natureza tem limites para o consumo desenfreado do ser humano. No Brasil, a relevância do tema cresceu principalmente a partir da década de 1990, com a RIO-92, quando o debate sobre o desenvolvimento sustentável ganhou força assim como a importância do papel da arquitetura na sustentabilidade.

De acordo com Guan (2012), é estimado que a construção e operação dos edifícios seja responsável por 40% do total de energia consumida no mundo, 30% do total de matéria-prima consumida, 55% do total de extração de madeiras, 16% da água doce extraída, 35% das emissões globais de CO2 e 40% dos resíduos sólidos gerados.

A energia total consumida em um edifício pode ser decomposta em dois tipos básicos: *energia incorporada* e *energia operacional.* A energia incorporada é aquela necessária ao longo de todo o processo de produção industrial dos componentes construtivos, bem como a energia dispendida no transporte e na própria construção do edifício. De acordo com informações do EPA (1997), esta parcela é estimada em 12% do total de energia consumida de um edifício.

Já a energia operacional denota a porção de energia consumida durante toda a sua vida útil, para fins de uso e ocupação (sistemas prediais, iluminação artificial, sistemas de climatização, equipamentos e eletrodomésticos). Considerando que a vida útil de um edifício de grande porte seja igual ou superior a 40 anos (podendo chegar a 60 anos), estima-se que 84% do consumo energético da edificação é do tipo operacional, (EPA, 1997).

Com base nas teorias de Adensamento (JACOBS, 2000), Cidade Compacta (GUMUCHDJIAN, ROGERS, 2012), Cidade Inteligente (LEITE, 2012) e Multifuncionalidade (GUMUCHDJIAN, ROGERS, 2012) nos centros urbanos, a intenção do trabalho é propor um edifício híbrido numa região predominantemente residencial; que seja capaz de unir moradia à serviços, trabalho e opções de lazer, a fim de reduzir os fluxos do automóvel e o movimento pendular. Junto a uma proposta que una o edifício ao espaço público livre, aberto aos diversos usuários, não o transformando num ícone isolado ao lote, mas parte da paisagem urbana adensada e compacta.

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é apresentar um exercício projetual acerca de um edifício híbrido concebido para o aproveitamento racional dos recursos naturais, atendendo à sua demanda energética e hídrica por meio de estratégicas ativas.

3. MÉTODO

O método deste trabalho está dividido em três etapas principais:

(1) O aproveitamento de recursos naturais foi a primeira diretriz projetual considerada, de forma que a volumetria da edificação foi orientada para garantir as melhores condições acerca da insolação e ventilação natural durante todo o ano, valendo-se de estratégias passivas de arquitetura bioclimática;

(2) Neste sentido, foi adotado um processo projetual iterativo, alimentado pelo resultado das simulações computacionais desenvolvidas nos *softwares* Autodesk FlowDesign e SketchUp (programa de modelagem tridimensional). O *software* Autodesk FlowDesign consiste em uma ferramenta de simulação do tipo CFD *Computational Fluid Dynamics* (Dinâmica dos fluídos computacional), permitindo a entrada de dados (intensidade – m/s e direção predominante) tal como encontradas *in loco* para previsão do comportamento da edificação frente às condições de ventilação natural (AFKHAMIAGHDA, 2017).

(3) Estimou-se os custos de operação da edificação acerca de sua demanda hídrica e energética, calculando também viabilidade da geração de energia *in loco* por meio de painéis fotovoltaicos e do potencial de tratamento de águas servidas por *wetlands*.

3.1. O Edifício Híbrido

O projeto de conjunto multifuncional utilizado como objeto de estudo é fruto de uma pesquisa de TFG (trabalho final de graduação), desenvolvido com intenção de avaliar o potencial de retorno financeiro a partir de estratégias que considerem o aproveitamento eficiente de recursos naturais no contexto urbano de São Paulo.

3.1.1. A Área de Inserção

A área é localizada numa região de uso predominantemente residencial, no bairro Aricanduva, em São Paulo (Figura 1a), escolhida para intervenção devido à sua característica de ser uma área de vazio urbano. Foi considerado para o projeto o conceito de multifuncionalidade (GUMUCHDJIAN, ROGERS, 2012), vinculando moradia, comércio e serviços, contribuindo para a redução do movimento pendular e do uso do automóvel. Tirando-se partido das possibilidades construtivas do plano diretor de São Paulo (Figura 1b), é possível rever a condição do vazio como um potencial transformador para a região, uma vez que a área se encontra no Eixo de Estruturação e Transformação Urbana, devido a presença do eixo da Radial Leste e da Linha-3 Vermelha do metrô (entre as estações Carrão e Penha), elementos que geram grande impacto na área.



(a) (b)

Figura 1 – (a) Localização da área de projeto; (b) Mapa de zoneamento, que indica a localização em um Eixo de Estruturação e Transformação Urbana, com destaque para a área de intervenção como um vazio urbano. Fonte: Elaborado pela autora.

3.1.2. Partido de Projeto

Desde o princípio de sua composição, a essência do partido foi a intenção de desenvolver um edifício híbrido a partir dos conceitos de cidade compacta, cidade inteligente e cidade sustentável (Figura 2). Levando em conta as seguintes diretrizes:

(1) O edifício deverá ter a melhor orientação para aproveitamento da insolação;

(2) O edifício deverá respeitar as condições de seu local de implantação, minimizando o impacto na ventilação urbana;

(3) O edifício deverá permitir o fluxo natural de pessoas já existente do local, e permitir a conexão do usuário com todos os seus espaços;

(4) O edifício deverá empregar o conceito NZEB (*Net Zero Energy Building*), de acordo com Torcellini *et al.* (2006) enquadra-se na definição de *Net Zero Site Energy*, isto é, produzir tanta energia, por fontes renováveis e *in loco*, quanto consome, resultando num balanço anual de consumo zero.



Figura 2 - Esquema sobreposto do edifício híbrido e suas camadas, para entendimento do seu funcionamento. Fonte: Elaborado pela autora.

(5) O edifício contará com a presença de hortas comunitárias para utilização dos moradores, com possibilidade de venda de excedentes;

(6) O edifício deverá respeitar a tríade da sustentabilidade, apresentando preocupação social (retorno para os moradores e usuários), preocupação com o meio ambiente (ter o menor impacto possível, assim como buscar pela utilização dos recursos naturais como condicionante de projeto) e, por fim, preocupação econômica (com a implantação soluções para reduzir os custo de operação do empreendimento).

3.1.3. Projeto e estratégias

O resultado projetual foi definido a partir dos estudos e análises realizados e demonstrados a seguir. Observa-se a implantação e planta do pavimento térreo (Figura 3a) e perspectiva do conjunto desenhada à mão (Figura 3b). Destaca-se também a localização das áreas consideradas para implantação de painéis fotovoltaicos (Figura 4a) e para os jardins verticais e *wetlands* (Figura 4b), que serão comentados a seguir.



(a) (b)

Figura 3 – (a) Implantação e planta baixa do pavimento térreo; (b) Perspectiva do conjunto, desenha à mão.
Fonte: Elaborado pela autora.



(a) (b)

Figura 4 – Área considerada para implantação de (a) painéis fotovoltaicos; (b) jardins verticais e *wetlands*.
Fonte: Elaborado pela autora.

3.2. Análises Preliminares – Partido arquitetônico

Os estudos realizados tiveram o objetivo de verificar o desempenho das estratégias projetuais adotadas, garantindo a eficiência dos sistemas implantados e o aproveitamento dos recursos naturais. Neste sentido, foram realizadas simulações computacionais com os seguintes *softwares*:

- Estudo de ventilação natural, com *software* Autodesk FlowDesign – considerou-se a velocidade média de 2,7m/s e a direção predominante sudeste (135°), (INMET, 2009).

- Estudo de implantação e impacto de sombreamento no entorno, com *software* SketchUp – considerou-se 3 horários distintos (9h, 12h, 15h) e as datas de solstícios de verão (21/12) e solstício de inverno (21/06), de forma a entender a variação do sombreamento nas datas que apresentam maior diferença no número de horas de sol;

Adicionalmente também foi desenvolvido o estudo acerca das horas de insolação sobre as fachadas do edifício, a partir da carta solar da cidade de São Paulo.

3.3. Potencial de retorno financeiro

Além do aproveitamento dos recursos naturais (luz e vento), foi calculado o potencial de retorno financeiro a partir da geração de energia elétrica *in loco* pela implantação de painéis fotovoltaicos e da purificação de águas servidas da edificação (cinzas) por meio de jardins verticais e *wetlands*.

3.3.1. Geração de energia a partir de painéis fotovoltaicos

Para alcançar o objetivo de balanço zero de energia, foi calculado o potencial de geração de energia elétrica a partir da implantação de painéis fotovoltaicos na cobertura das três torres do conjunto híbrido, uma vez que teria a área de 2.580m² disponível para esse fim.

Para esse estudo foram considerados valores a partir de dados disponíveis no mercado, considerando as seguintes especificações para o módulo, de acordo com o modelo Yingli YL280P 29B[1]:

a) Medidas do módulo: 165cm x 99cm.
b) Potência do módulo: 280W.
c) Custo do módulo: R$ 600,00.

Considerou-se as seguintes condições para cidade de São Paulo:

[1]Informações disponíveis: https://www.neosolar.com.br/loja/painel-solar-fotovoltaico-yingli-yl280p-29b-280wp.html

d) Coordenadas geográficas: Latitude: 23º 32' 51" Sul; Longitude: 46º 38' 10" Oeste (FROTA e SCHIFFER, 2001);
e) HSP São Paulo (índice solarimétrico): 4,2 kWh/m².dia. (DURAN, 2019).
f) Custo da energia em São Paulo: 0,484 R$/kWh – porém, considerando a situação de bandeira amarela, frequente na maior parte do ano, tem o acréscimo de 0,01 R$/kWh. (ENEL, 2019).

3.3.2. Tratamento de águas servidas a partir de jardins verticais e Wetlands

A intenção de se considerar a implantação de jardins verticais no conjunto é de, através de uma intervenção paisagística nas paredes externas do edifício, trazer benefícios como o aumento da umidade do ar, a redução da temperatura superficial das vedações verticais externas, e a diminuição da poluição do ar e sonora.

Partindo de um sistema cíclico de uso e venda de excedentes, juntamente ao projeto de jardins verticais foi considerada a implantação de *wetlands* no conjunto, visando o tratamento e reutilização das águas servidas no edifício híbrido, que podem ser aproveitadas para a rega dos jardins.

Para os jardins verticais, tem-se os seguintes dados:

a) Área total: 6 paredes externas de dimensões 3,10m x 10,60m; resultando 197,16m².
b) Cada 1m² de jardim vertical evapotranspira 5L/dia (SABESP, 2016).
c) Custo de implantação de em média 1.229,77 R$/m². (CAMARGO, 2014).

A área de 197,16m² apresenta o custo de instalação de R$ 242.461,45 e evapotranspira 985,80L/dia.

Para as *wetlands*, tem-se:

d) Área total: 376,86m².
e) Cada 10m² de *wetlands* tratam 1m³/dia. (BROCANELLI, 2016).
f) Custo de implantação das *wetlands*, de acordo com a equação 1 (KADLEC, WALLACE; 2009):

$$C = 194.000 \times A^{0,690}$$

Equação 1.

Onde:
C = custo de implantação [U$D].
A = área total ocupada pelas *wetlands* [ha].

Portanto, a área de 376,86m² apresenta o custo de instalação de U$D 20.200,67; equivalente hoje à R$ 79.590,64[2]; sendo capaz de purificar 37,686m³/dia; o equivalente à 37.686 L/dia.

4. RESULTADOS

4.1. Análises preliminares - Ventilação Natural

O estudo de ventilação natural foi essencial para a evolução do modelo (Figura 5), trazendo impactos significativos e mudanças em sua forma, quantidade de torres, gabarito de altura e permeabilidade do térreo, de forma que os ventos pudessem fluir sem a criação de turbulências nas proximidades.

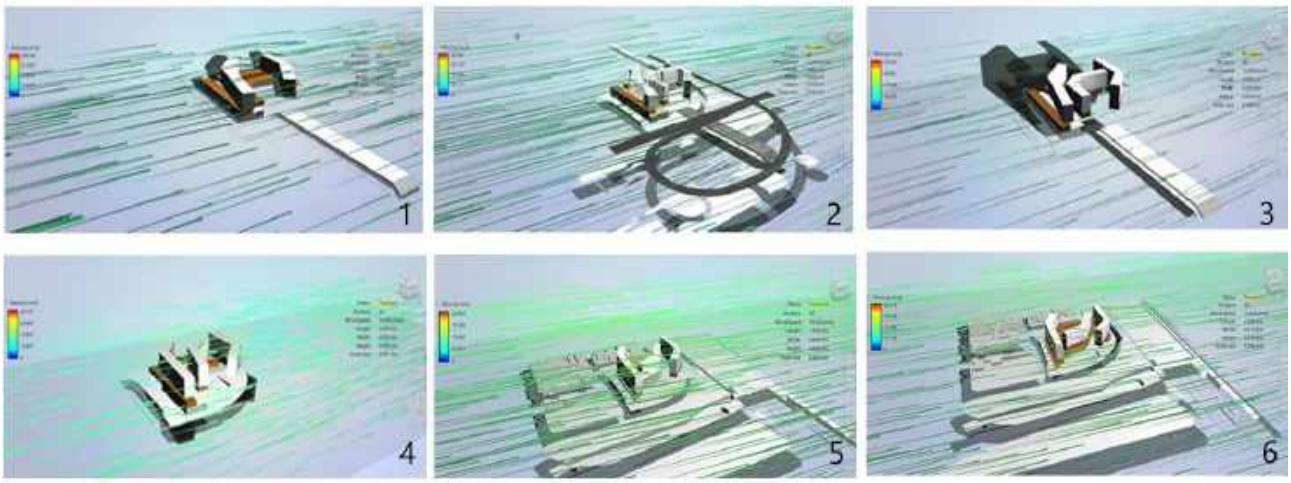


Figura 5 – Comparativo da evolução dos primeiros seis modelos e suas modificações ao longo do estudo do fluxo dos ventos.
Fonte: Elaborado pela autora.

[2]De acordo com cotação de dólar para 01/05/2019 com dólar equivalente a R$ 3,94.

Para realização deste estudo foi adotado um processo iterativo de aprimoramento da forma considerando os resultados obtidos pelo *software* Autodesk FlowDesign. Desta forma, a partir das análises de ventilação sobre o modelo virtual, chegou-se ao valor de 28 metros de altura como gabarito adequado para o conjunto, de modo a não criar um aumento na aceleração dos ventos no entorno, além da definição de abertura de vãos no térreo das três torres, de forma a evitar a turbulência nas áreas de convivência próximas (Figura 6).

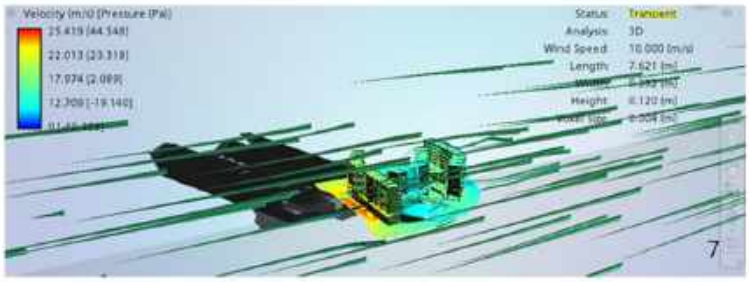


Figura 6 – Partido projetual final após alterações em sua volumetria, minimizando o impacto sobre o entorno próximo construído.
Fonte: Elaborado pela autora.

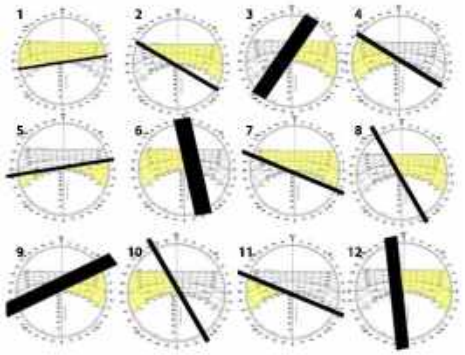
4.2. Análises preliminares – Insolação por carta solar e modelo virtual

Em paralelo aos estudos de ventilação natural, todos os modelos passaram pela experimentação de análise de insolação e sombreamento por meio da carta solar, complementado pelo *software* SketchUp.

Neste sentido, as fachadas dos edifícios foram numeradas (Figura 7a) e analisadas quanto à sua disponibilidade de horas de sol ao longo do ano (Figura 7b). Os resultados são apresentados na Tabela 1.



(a)



(b)

Figura 7 – (a) Fachadas numeradas; (b) Estudo de horas de insolação sobre cada fachada. Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 1 – Quantidade de horas de insolação sobre cada fachada estudada (Fonte: Elaborado pela autora).

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13
Solstício de inverno (21/06)	11h	10h	3h30	1h	-	5h	11h	7h30	5h30	4h	-	6h30	6h
Solstício de verão (21/12)	5h	7h	7h	7h	18h	7h	7h	7h	7h	7h	5h	7h	7h

Esse estudo foi essencial para ajustes finais na implantação dos edifícios de forma que a maioria das fachadas com apartamentos fosse voltada para Norte, Leste ou Oeste, com a devida proteção com uso de dispositivos de sombreamento (*brises-soleil*) quando necessário.

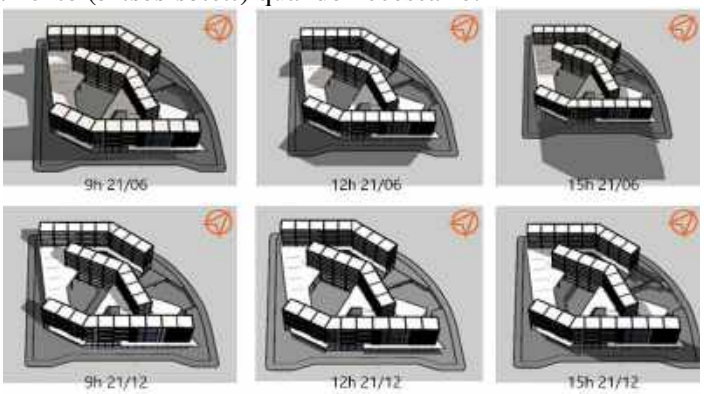


Figura 8 – Sombreamento no entorno nos diferentes horários para as datas de solstício de inverno e verão.
Fonte: Elaborado pela autora.

O estudo da carta solar foi complementado pela análise de sombreamento com modelo virtual (SketchUp). Por meio de um processo iterativo, a forma resultante auxiliou a alcançar um menor impacto do sombreamento sobre as ruas e habitações próximas (Figura 8).

Desta forma, observa-se que a implantação resulta num afastamento adequado entre os blocos, garantindo que cada fachada disponha de acesso ao sol em pelo menos algumas horas do dia, mesmo na condição mais crítica de solstício de inverno.

4.3. Retorno Energético

Primeiramente, foi estimado o consumo energético na parte residencial do edifício. Considerou-se que:

a) O consumo médio residencial na cidade de São Paulo é de 157 kWh/mês. (EPE, 2018).
b) No conjunto há 133 unidades residenciais.
c) Para o gasto das áreas comuns do edifício, foi calculada a estimativa de 59.057 kWh/mês, considerando gastos com elevadores, iluminação artificial, aparelhos e atividades necessárias, entre outros.

Portanto, considerando as 133 unidades e as áreas comuns, tem o consumo de 79.938 kWh/mês de uso residencial.

Tendo as informações e especificações técnicas do painel fotovoltaico considerado, foi necessário calcular sua eficiência para estimar então a quantidade de módulos necessários para produção de energia suficiente para o conjunto, segundo a equação 2.

$$EM = \frac{1m^2}{1000} \times \frac{1\,módulo}{AM} \times \frac{PM}{1\,módulo}$$

Equação 2.

Onde:
EM é a eficiência do módulo;
PM é a potência do módulo [W];
AM é área do módulo [m²].

A eficiência do módulo, então, de acordo com a equação, é 17,14%. Em seguida, calcula-se a energia produzida, segundo a equação 3.

$$EP = HSP_L \times EM \times 30$$

Equação 3.

Onde:
EP é a energia produzida [kWh/m².mês];
HSP_L é o índice solarimétrico local [kWh/m².dia];
EM é a eficiência do módulo.

Considerando sua produção por metro quadrado, tem-se como energia produzida 21,59 kWh/m² por dia. Para determinar a quantidade de energia produzida por cada painel solar, multiplicou-se o valor encontrado pela área de cada módulo solar (1,6335m^2); resultando na produção de 35,28 kWh/mês por módulo.

Em seguida, para calcular a quantidade necessária de módulos solares, relacionou-se a energia consumida (79.938 kWh/mês) e a energia produzida de cada módulo (35,28 kWh/mês). Após efetuar os cálculos necessários chega-se ao resultado de 2268 painéis fotovoltaicos para suprir a demanda energética estimada. Porém, em projeto há disponível somente a área de 2580m² para instalação, limitando a quantidade a ser instalada de 1579 painéis fotovoltaicos. Calcula-se então o custo de implantação deste sistema, com a Equação 4[3]:

$$VI = CM \times \frac{1{,}8}{0{,}65} \times NP$$

Equação 4.

Onde:
VI é o custo total de implantação dos painéis solares [R$];
CM é o custo individual do módulo [R$];
NP é o número de painéis solares.

[3]Na ausência de informações dos fornecedores nacionais, adotou-se valores de contexto norte-americano, disponível em "DURAN, Laerte. **Meio Ambiente: curso Engenharia de Segurança do Trabalho.** 11 de dez.-14 de fev. de 2019. Notas de Aula. Mimeografado". Valores brasileiros não foram disponibilizados por nenhum fornecedor ou empresa atuante na área.

Resultando, portanto, num custo de implantação de R$ 2.623.569,23.

Logo, de acordo com o custo atual da energia elétrica em São Paulo (referência abril/2019), é possível fazer um comparativo dos valores mensais estimados com consumo de energia elétrica pela edificação e com o valor equivalente à energia produzida mensalmente a partir da implantação do sistema (Tabela 2).

Tabela 2 – Comparativo dos valores mensais (consumo energético x produção de energia) – (Fonte: Elaborado pela autora)

Consumo energético mensal em R$ (uso residencial):	Produção de energia elétrica mensal em R$ (após implantação do sistema):	Diferença:
R$ 39.489,37	R$ 27.519,32	R$ 11.970,05

O retorno simples é calculado a partir da comparação do custo do investimento de implantação dos painéis fotovoltaicos (R$ 2.623.569,23) e o valor do equivalente produzido mensalmente por eles (R$ 27.519,32), resultando num horizonte de 95,33 meses, que equivalem a aproximadamente 8 anos.

Sabendo que o horizonte de tempo de investimento necessário é de 8 anos, ou 96 meses, é possível calcular o valor de investimento de cada unidade residencial, dividindo o valor de investimento (R$ 2.623.569,23) pela quantidade de unidades residenciais (133 unidades), resultando no investimento total de R$ 19.726,08 para cada unidade. Dividindo o investimento total unitário pela quantidade de meses necessários, tem-se o resultado de um investimento de R$ 206,91 ao mês.

4.4. Retorno da Água

Primeiramente, foi estimado o consumo de água na parte residencial do empreendimento. Considerou-se:

a) Cada habitante consome em média 150 L/dia (SABESP, 2016).
b) A residência unifamiliar tem em média 3,2 habitantes.

Portanto, no conjunto com 133 unidades residenciais no total, tem-se o consumo de 63.840 L/dia de água limpa.

Há também gastos diários de água que podem ser substituídos por água de reuso, como no caso de uso de caixas acopladas. Portanto, considerando-se adicionalmente que:

c) Cada caixa acoplada consome 8 L/descarga. (SABESP, 2016).
d) Cada pessoa aciona em média 5 descargas/dia.

Logo, cada pessoa tem o gasto diário de 40 L com a utilização de descargas. E dentro do conjunto, considerando as 133 unidades residenciais com uma média de 3,2 habitantes, há o consumo de 17.024 L/dia.

As águas de reuso também podem ser utilizadas para suprir a necessidade de irrigação dos jardins verticais. Seu consumo diário é determinado pela evapotranspiração diária de 985,80 L.

Logo, tem-se:

e) A cada dia são gastos 63.840 L/dia de água limpa.
f) As *wetlands* são capazes de purificar 37.686 L/dia de água. Ou seja, são purificados 59% do total de água limpa utilizada no edifício, para sua reutilização.
g) A cada dia são gastos 17.024 L pelas caixas acopladas e 985,80 L para abastecimento dos jardins, resultando em 18.009,80 L que podem ser abastecidos pelas águas cinzas purificadas pela *wetlands*.

Se são tratados 37.686 L/dia e consumidos 18.009,80 L/dia, resta o excedente de 17.972,11 L/dia.

Considerando que:

h) O consumo de água de 11 a 20 m³/mês têm a tarifa de 3,91 R$/mês. (SABESP, 2019).
i) Cada 1m³ de água de reuso custa R$ 31,00. (BROCANELLI, 2016).

Resultando então, para o excedente de 17.972,11 L/dia, que equivalem à 17,97 m³/dia, tem-se então o retorno financeiro de R$ 557,07/dia; o equivalente a R$ 16.712,10/mês.

Para cara unidade residencial, considerando os gastos de água limpa com consumo e caixas acopladas, há o consumo médio de 18,24 m³/mês. O custo mensal para cada unidade é de R$ 71,32, resultando em um total de R$ 9.485,35/mês para todas as unidades, em uma situação onde o sistema para purificação das águas não seja adotado. Em contrapartida, considerando apenas o consumo de água limpa necessária (excluindo o abastecimento de caixas acopladas com água limpa) de 14,40 m³/mês por unidade habitacional; o custo mensal para cada unidade é de R$ 56,30. Um total de R$ 7.487,90/mês para todos as unidades residenciais do empreendimento.

Considerando o investimento de implantação de jardins verticais (R$ 242.461,45) e de *wetlands* (R$ 79.590,64), tem-se o investimento inicial total de R$ 322.052,09, vinculado ao retorno de água. Revertendo

esse valor para as 133 unidades habitacionais, tem-se uma divisão de R$ 2.421,45 de investimento total por unidade.

O retorno simples de água é calculado a partir da comparação dos custos de investimentos de implantação das *wetlands* e jardins verticais (R$ 322.052,09) e o valor equivalente à venda das águas cinzas (R$ 16.712,10/mês) resultando num horizonte de 19,3 meses, que equivalem a aproximadamente a 1,6 anos. Sabendo o tempo total necessário para haver o retorno e o investimento total por unidade de R$ 2.421,45 é possível saber o total mensal distribuído para as 133 unidades habitacionais, equivalente a R$ 125,46/mês.

4.5. Comparação dos Custos

Considerando a estimativa de retorno energético, é comparou-se a situação de gastos mensais com energia elétrica, sem a implantação de painéis solares; e a situação com sua devida implantação, de acordo com a Tabela 3, para cada unidade residencial.

Tabela 3 – Comparativo dos gastos mensais energéticos por unidade habitacional – (Fonte: Elaborado pela autora).

	Situação sem painéis solares		**Situação com painéis solares**	
	Investimento:	Energia elétrica:	Investimento:	Energia elétrica:
8 anos iniciais:	-	R$ 296,91/mês	R$ 206,91/mês	R$ 90,00/mês
Anos seguintes:	-	R$ 296,91/mês	-	R$ 90,00/mês

De acordo com a Tabela 3 – Comparativo dos gastos mensais energéticos por unidade habitacional, é notável que o custo de energia sem a implantação de painéis solares (R$ 296,91/mês) é o mesmo que o custo do investimento dos painéis solares (R$ 206,91) junto do custo de energia elétrica ainda necessário (R$ 90,00); porém, após 8 anos de investimento a conta mensal por unidade residencial seria reduzida à RS 90,00/mês.

Considerando a estimativa do retorno de água, e fazendo o mesmo comparativo da situação dos gastos mensais com contas de água com e sem a implantação dos sistemas estudados, tem-se, de acordo com a Tabela 4, para cada unidade residencial.

Tabela 4 – Comparativo dos gastos mensais de água por unidade habitacional – (Fonte: Elaborado pela autora).

	Situação sem *wetlands* e jardins verticais			**Situação com *wetlands* e jardins verticais**		
	Investimento:	Gasto:	Venda:	Investimento:	Gasto:	Venda:
1,6 anos iniciais:	-	R$71,32/mês	-	R$125,46/mês	R$56,30/mês	R$125,65/mês
Anos seguintes:	-	R$71,32/mês	-		R$56,30/mês	R$125,65/mês

De acordo com a Tabela 4 – Comparativo dos gastos mensais de água por unidade habitacional, é notável que, apesar de na situação sem implantação das soluções estudadas ser um custo mensal aparentemente mais baixo; na situação com implantação das soluções o valor de venda das águas cinzas compensa o valor de investimento nos 1,6 anos iniciais, para nos anos seguintes todo o gasto de água dilui-se pelo lucro de vendas de águas – com um retorno por unidade habitacional equivalente à R$ 69,35/mês, ou seja, um total de R$ 9.223,55/mês de retorno no conjunto.

Considerando todos os gastos com água e energia elétrica e as possibilidades estudadas para implantação, é possível traçar uma análise dos gastos, investimentos e retornos, numa comparação ao longo do tempo, tanto para a energia elétrica (Figura 9a), quanto para água (Figura 9b).



(a) (b)

Figura 9 – (a) Relação de gasto com investimento e energia mensal x retorno financeiro ao longo do tempo; (b) Relação de gasto com investimento e conta de água mensal x retorno bruto e líquido ao longo do tempo. Fonte: Elaborado pela autora.

5. CONCLUSÕES

O presente artigo buscou exercitar aspectos projetuais acerca da sustentabilidade na escala de um edifício híbrido. Foram definidas diretrizes com o objetivo de garantir o aproveitamento da insolação e ventilação natural, usando-se *softwares* para orientar o processo iterativo. Destaca-se, neste sentido, a contribuição das ferramentas computacionais em auxiliar a evolução do partido projetual por meio das análises apresentadas. O resultado alcançado se deveu também ao fato de se pensar nestes aspectos desde as etapas inicias de concepção da forma, prevendo modificações em sua volumetria e o impacto que cada decisão teria no desempenho final.

A intenção de se alcançar um edifício de balanço zero de energia (conceito NZEB) não foi atingida, visto que o edifício consome mais energia do que é capaz de gerar. A partir da análise do potencial de geração de energia pelos painéis fotovoltaicos constatou-se que, dadas as características atuais disponíveis no mercado acerca de sua eficiência, seria necessária uma área maior do que a área disponível para implantação deste sistema em projeto. Uma situação semelhante ocorreu com a demanda hídrica e a área disponível para implantação de *wetlands*, que não são capazes de purificar o total das águas servidas, mas são capazes de trazer um retorno financeiro capaz de suprir os gastos dos moradores no tempo demonstrado. No caso estudado e projetado, o programa é extenso de tal maneira a atender as necessidades de adensamento deste vazio urbano, que a área para implantação de *wetlands* (que conseguem tratar 59% das águas servidas) e de painéis fotovoltaicos (que geram 69% da demanda de energia elétrica) foi insuficiente em suprir o consumo da parte residencial do projeto.

Observa-se, no entanto, o potencial de aproveitamento dos recursos naturais mesmo em uma situação de ocupação de uma região altamente urbanizada, demonstrando sua viabilidade em reduzir os custos de operação da edificação a partir de estratégias passivas e ativas, minimizando consideravelmente o impacto da edificação ao longo de sua vida útil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFKHAMIAGHDA, Mahdi. The Application of Using Computational Fluid Dynamics (CFD) to Modern Building Design. 2017.

BROCANELLI, Pérola. **Calculando retorno financeiro: curso Jardins Verticais**. 1-30 de nov. de 2016. Notas de Aula. Mimeografado.

CAMARGO, Ana Carolina F. "Custos: Parede verde". AU, 2014. Disponível em http://au17.pini.com.br/arquitetura-urbanismo/238/custos-parede-verde-304277-1.aspx. Acesso em 01.mai.19

DURAN, Laerte. **Meio Ambiente: curso Engenharia de Segurança do Trabalho.** 11 de dez.-14 de fev. de 2019. Notas de Aula. Mimeografado.

ENEL. "Tarifa de Energia Elétrica". 2019. Disponível em https://www.eneldistribuicaosp.com.br/para-sua-casa/tarifa-de-energia-eletrica Acesso em 06.abr.19.

EPA – ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Sustainable building technical manual.** DOE – E.S. Department of Energy Public Technology Inc. 1997.

EPE. "Consumo de Energia Elétrica". 2018. Disponível em http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/consumo-de-energia-eletrica. Acesso em 03.fev.18.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de conforto térmico**. 6ª ed. São Paulo: Studio Nobel, 2003. 243 p.

GUAN, L. (2012). Energy use, indoor temperature and possible adaptation strategies for air-conditioned office buildings in face of global warming. **Building and Environment**, *55*, 8-19.

GUMUCHDJIAN, Philip; ROGERS, Richard. **Cidades para um pequeno planeta**. 1ª edição. São Paulo: Gustavo Gilli, 2012.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais climatológicas do Brasil**, 1961-1990. Tadeu Guimarães (Ed.), 2009.

JACOBS, Jane. **Morte e vida de grandes cidades**. Martins Fontes, 2000.

KADLEC, Robert H. e WALLACE, Scott D. **Treatment wetland**. 2° ed. CRC Press. Boca Raton, Flórida, Estados Unidos, 2009. 1016 p.

LEITE, Carlos; AWAD, Juliana di Cesare Marques. **Cidades sustentáveis, cidades inteligentes: desenvolvimento sustentável num planeta urbano**. Porto Alegre: Bookman, 2012. 264 p.

TORCELLINI, Paul et al. **Zero energy buildings: a critical look at the definition**. National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States), 2006.

SABESP. "Conheça nossas tarifas", 2019. Disponível em https://www9.sabesp.com.br/agenciavirtual/pages/template/siteexterno.iface?idFuncao=13. Acesso em 06.abr.19.

SABESP. "Equipamentos Economizadores", 2016. Disponível em http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=145. Acesso em. 06.mar.18