O DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS ENVIDRAÇADOS FRENTE À MUDANÇA DO CLIMA

Shaiane Viana (1); Denise Duarte (2)
(1) Arquiteta, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura Urbanismo, shaiane@usp.br
(2) Doutora, Professora Titular no Departamento de Tecnologia da Arquitetura, dhduarte@me.com
Departamento de Tecnologia da Arquitetura, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, (11) 3091-8625

RESUMO
Este trabalho em estado inicial, tem como objeto de estudo o desempenho térmico dos edifícios e o conforto térmico dos usuários de pequenos apartamentos residenciais (até 50 m²) com fachadas total ou parcialmente envidraçadas, construídos e lançados recentemente na cidade de São Paulo – SP. As análises térmicas serão realizadas a partir de simulações computacionais com base nos dados climáticos atuais e dados futuros do Projeta - Projeções De Mudança Do Clima Para A América Do Sul Regionalizadas Pelo Modelo ETA do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. Os resultados das análises através de ferramentas de simulação computacional permitem avaliar os impactos ambientais, mais especificamente nos índices de conforto térmico e eficiência energética diante das mudanças climáticas de maneira quali-quantitativa e das novas demandas decorrente da pandemia, na cidade de São Paulo, quantificando o impacto que tomadas de decisões sobre o desenho, os materiais e componentes construtivos nas fachadas podem causar sobre o espaço construído. Diante do aumento de temperatura global, somada aos fenômenos locais de aquecimento urbano, verifica-se, como fundamental, a observação e determinação prévia do comportamento térmico dos pequenos apartamentos com fachadas envidraçadas em cenários futuros previstos para São Paulo - SP, com o intuito de verificar as consequências causadas aos usuários, advindos também da necessidade da utilização de condicionamento artificial dentro da nova realidade da pandemia.

Palavras-chave: mudanças climáticas, análise térmica, simulação computacional.

ABSTRACT
This work in the initial state, has as object of study the thermal performance of buildings and the thermal comfort for users of small residential apartments (of 50 m²) with facades totally or partially protected and recently launched in the city of São Paulo - SP. The thermal analyzes will be carried out using computer simulations based on current and future climatic data from the PROJETA - Climate Change Projections for South America Regional Model ETA of the National Institute for Space Research - INPE. The results of the analysis using computational simulation tools allow us to assess the environmental impacts, more specifically the thermal comfort and energy efficiency indexes due to qualitative and quantitative climate changes and new demands of the pandemic, city of São Paulo, quantifying or impacting decision-making over or development, building materials and components on facades can cause in or built space. Due to the increase in global temperature, over the years local phenomena of urban development, it is verified, as fundamental, the observation and previous determination of the thermal behavior of small apartments with glass facades in future centers planned for São Paulo - SP, as an intuition to verify the consequences caused to users, also observing the need to use artificial conditions within the new reality of the pandemic.”.

Keywords: climate change, thermal analysis, computational simulation.

1. INTRODUÇÃO

No final do ano de 2019, a população mundial se deparou com a necessidade de se isolar em suas residências em função da grande contaminação ocasionada pelo vírus Sars-Cov-2. No relatório de 11 de março de 2020 a Organização Mundial da Saúde OMS caracterizou a COVID - 19 como uma pandemia (WHO,2020). As medidas para distanciamento social iniciaram no Brasil ainda em março de 2020 e tal isolamento levou a sociedade a ressignificar o consumo e a produção no que se refere a moradia, lazer e direitos sociais básicos defendidos pela Constituição Brasileira de 1988. Diante deste cenário, o direito à livre circulação das pessoas foi pausado por um período indeterminado, a fim de impedir uma maior propagação do vírus. O olhar voltou-se, então, não apenas para o mundo, mas para o lugar de moradia.

A pandemia pode ter antecipado a ação de confinamento nas residências para as pessoas, pois, conforme entrevista com o cientista Carlos Nobre para o Pacto Global[1] (2020), é provável que as mudanças climáticas demandem que o isolamento social seja um comportamento rotineiro, se as causas dos seus impactos não forem mitigadas:

> Uma vez que o corpo humano não consegue suportar determinadas condições de temperatura e umidade, ondas de calor levariam os seres de quase todo o mundo a evitar ambientes externos, o que tornaria o confinamento uma regra se não conseguirmos deter as mudanças do clima. (PACTO GLOBAL – UN GLOBAL COMPACT, 2020)

Nos últimos anos a temperatura média do planeta tem aumentado gradativamente em decorrência da emissão e do acúmulo de gases do efeito estufa na atmosfera. Segundo o relatório especial do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas2 (IPCC, 2019), é provável que, entre os anos de 2030 e 2052, o aquecimento global atinja 1,5°C, no mínimo, e 3° C, caso o ritmo atual se perpetue.

Desta forma, averiguou-se que após a aprovação do Plano Diretor Estratégico do Município de São Paulo, de 31 de julho de 2014, houve um aumento quanto aos lançamentos de apartamentos compactos e que 6.044 imóveis de foram áreas entre 20m² e 35 m² em 2019. As incorporadoras buscaram conciliar nos seus empreendimentos lançados a demanda de mercado com as regras do novo Plano Diretor e da nova Lei de Zoneamento de São Paulo (VALOR, 2019).

O modelo de edifícios residenciais com fechamentos envidraçados está presente tanto nos médios e grandes apartamentos, acima de 100m² ou mesmo acima de 500m2, como vem sendo adotado também nos pequenos, incluindo os muito compactos. O envidraçamento das fachadas começou em apartamentos com grandes áreas e com valores por metro quadrado mais elevados em São Paulo, e posteriormente foi adotado também nos empreendimentos da classe média, em unidades residenciais menores, como uma forma de mimetizar a estética das fachadas. Em decorrência disso, o comportamento térmico dessas fachadas pode impactar o ambiente interno desses apartamentos, principalmente os pequenos, em um futuro próximo. Os apartamentos maiores têm, geralmente, aberturas em mais de uma fachada, com uma flexibilidade maior para ventilação natural, componentes construtivos termicamente mais robustos, com maior massa térmica, além de usuários com maior possibilidade de arcar com os custos de condicionamento artificial, o que não acontece, na maior parte dos casos, com as unidades menores.

Visto que um dos aspectos essenciais da arquitetura é proporcionar conforto para os usuários dos ambientes internos das edificações, as condições climáticas futuras de aumento de temperatura podem colocar em risco o conforto dos usuários, principalmente de apartamentos com fachadas envidraçadas. A ASHRAE 55 (2017) define conforto térmico como condição mental que expressa satisfação com o ambiente térmico. Em decorrência do contexto de aumento de temperatura citado, os usuários tendem a entrar em desconforto térmico.

Desta forma, os usuários que possuem acesso à refrigeração mecânica utilizam-se deste recurso para compensar a sensação de desconforto térmico proveniente do aumento da temperatura em determinadas localidades do mundo. No entanto, para que essa refrigeração seja eficaz, é necessário que haja a vedação do

[1] O Pacto Global É uma iniciativa promovida pela Organização das Nações Unidas para as empresas terem suas estratégias alinhadas com os princípios universais de Direitos Humanos, Trabalho, Meio Ambiente e Anticorrupção. Em abril de 2020, realizou uma entrevista com o cientista Carlos Nobre para analisar a relação entre a pandemia do vírus Sars-Cov-2 e os efeitos da mudança do clima. A entrevista aborda as lições que se pode tirar do isolamento durante o surto da COVID-19.

2 O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas – IPCC é formado por dois órgãos da Organização das Nações Unidas (Organização Meteorológica Mundial e o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente) e juntos realizam relatórios científicos periódicos sobre as mudanças climáticas e suas alterações, além da vulnerabilidade dos sistemas naturais e socioeconômicos e busca soluções para mitigar as mudanças climáticas por meio da limitação das emissões de gases de efeito estufa.

espaço contemplado. Em âmbito nacional, na maioria dos casos, tal fechamento é realizado a partir do fechamento envidraçado.

Os fechamentos envidraçados, quando utilizados sem algum elemento de proteção, provocam um aquecimento solar passivo e causam um efeito estufa no ambiente interno, pois, o vidro dificulta a saída da radiação de onda longa, por consequente aumentando a temperatura interna da edificação. Assim, o ar condicionado é mais demandado para atender às necessidades de refrigeração em relação à exigência de conforto dos usuários. Para tanto é necessário um maior consumo de energia e, consequentemente, uma maior emissão de dióxido de carbono (CO2) dependendo da matriz energética do ar condicionado. Existem movimentos mundiais que alertam para a crescente demanda de ar condicionado, pois de acordo com os pesquisadores do Lawrence Berkeley Nacional Laboratory, da Agência Internacional de Energia (IEA) e do Rocky Mountain Institute (RMI): os condicionadores de ar são responsáveis por mais de 130 giga toneladas (GT) das emissões de CO2 entre agora e 2050. Isso seria responsável por 20-40% do "orçamento de carbono" remanescente do mundo. (WEF,2019). E além das emissões de carbono, outro forte agravante para a salubridade é que os equipamentos convencionais de refrigeração, como os do tipo Split, não possuem sistema de renovação do ar, o que pode comprometer a saúde do usuário, visto que as trocas de ar são imprescindíveis para eliminar os contaminantes do ambiente interno.

Dado que, à medida que os anos avançam, os apartamentos em edifícios multifamiliares passam a dispor de áreas cada vez menores, as aberturas destinadas à ventilação e iluminação naturais também diminuíram, o que, em alguns casos, resulta em apartamentos desprovidos de ventilação cruzada e, paralelamente, de taxas de renovação de ar muitas vezes insuficientes para a qualidade do ar e o conforto humano. Coloca-se em questão, portanto, a qualidade térmica destes apartamentos, com aberturas insuficientes e/ou inadequadas e a impossibilidade de cruzar os fluxos de ar. Nos edifícios de apartamentos, muitos espaços também recebem pouca luz natural. Essa limitação demonstrou ter um impacto nas dimensões percebidas da configuração espacial (SAARIMAA, 2020).

De acordo Organização Meteorológica Mundial, OMM: desde o início dos registros de temperatura, os seis anos mais quentes ocorrem todos após 2015. Pela ordem, 2016, 2019 e 2020 ficaram no topo da lista com pequenas diferenças entre eles (ONU NEWS, 2021) e a previsão é que o ano de 2021 continue com as temperaturas em acréscimo. No contexto local, em outubro de 2020, São Paulo teve o 2° dia mais quente da história e, desde meados do século XX, houve um aumento de cerca de 3°C na média anual da temperatura do ar (DUARTE, 2020).

Diante desse cenário, algumas pesquisas relatam que o modelo hibrido de trabalho (remoto e presencial) irá permanecer no cenário pós-pandemia, a empresa de consultoria McKinsey & Company entrevistou 800 executivos em setembro de 2020 que confirmam essa visão de futuro. A experiência do trabalho remoto dos funcionários para algumas empresas, funcionou bem, diminui a emissão de poluentes advindos dos meios de transportes, mas com o aumento das pessoas em casa, no decorrer dos anos pode trazer o aumento do consumo energético e de emissão de MtCO2 –eq para o setor residencial além do que foi projetado pelos relatórios do Balanço Nacional Energético.

Frente a isso, o objeto deste trabalho é o desempenho térmico dos pequenos apartamentos em edifícios residenciais multifamiliares com fachadas envidraçadas, lançados recentemente em São Paulo, no clima atual e futuro, considerando-se também os novos usos residenciais decorrentes do confinamento, agora demandado pela pandemia, avaliando-se o conforto dos usuários e o consumo de energia, decorrentes do aumento da temperatura global e local.

2. OBJETIVO

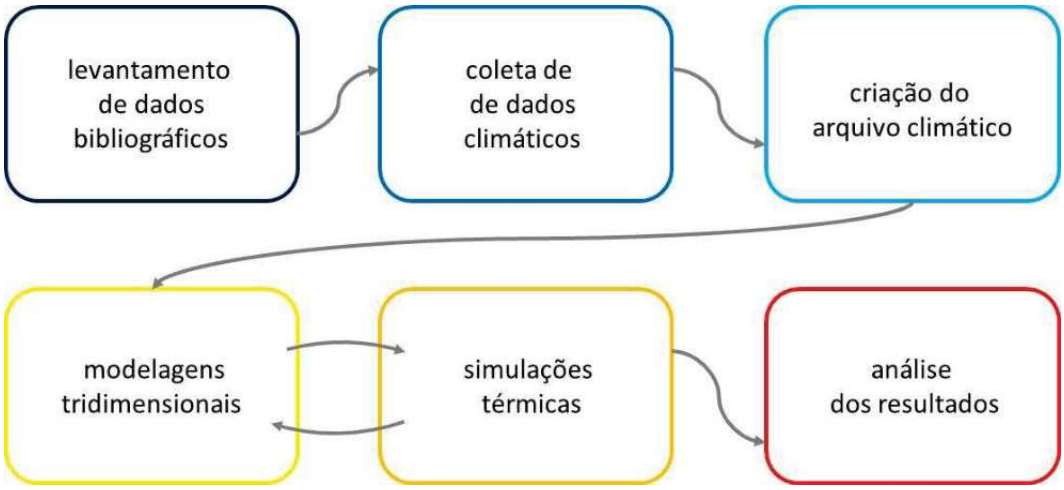
Quantificar o desempenho térmico de pequenos apartamentos em edifícios residenciais multifamiliares envidraçados, lançados recentemente na cidade de São Paulo, avaliando-se o conforto dos usuários e a eficiência energética, face às mudanças do clima global e local, atual e futuro, e aos novos usos residenciais decorrentes do confinamento, agora demandado pela pandemia.

3. MÉTODO

Após uma revisão de literatura nos seguintes temas: desempenho térmico, eficiência energética, ambiente construído de edifícios habitacionais e mudanças climáticas, na primeira etapa será realizado um levantamento de dados para conhecimento em detalhes do estoque de apartamentos residenciais do mercado imobiliário de São Paulo construído recentemente e os lançamentos, além de prospectar as mudanças

projetuais e de uso que estão sendo colocadas em prática em função das novas demandas do confinamento, decorrentes da pandemia.

Figura 1 – Fluxograma de simulação baseado em ALVES (2019)



Fonte: Autora

Busca-se no processo de levantamento dos imóveis recentes de São Paulo, encontrar as tipologias mais recorrentes nos pequenos apartamentos recém construídos, com orientação igual ou próxima e com as fachadas envidraçadas. Em uma segunda etapa serão dispostos equipamentos para coleta de dados climáticos em um dos apartamentos das tipologias acima, na cidade de São Paulo. Os equipamentos a serem utilizados serão do Laboratório de Conforto Ambiental e eficiência Energética - LABAUT, da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. A medição será realizada em um ambiente de permanência prolongada mais próximo da fachada envidraçada do apartamento (sala ou quarto), visto que as tipologias identificadas geralmente não possuem muitas divisórias entre esses ambientes.

Em uma terceira etapa de caráter experimental, será utilizado como base para simulação a metodologia adotada por ALVES (2019), com atualizações e ampliações. O arquivo climático terá como base a coleta de dados realizada em um apartamento esses dados que serão coletados por medição corresponderão à temperatura operativa, temperatura do ar, umidade do ar, velocidade do ar e à temperatura radiante média e refere-se ao período de medição no local como ponto de partida para a primeira simulação.

Para as simulações dos anos futuros, serão utilizados as mesma variáveis citadas anteriormente, mas no formato do Comma-Separated-Values - CSV disponíveis no banco de dados Projeta - Projeções De Mudança Do Clima Para A América Do Sul Regionalizadas Pelo Modelo ETA do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE; em seguida, o CSV passará por um downscalling3 para ser utilizado no arquivo climático, objetivando os próximos anos (2045, 2075 e 2099), para simular o comportamento térmico dos edifícios residenciais frente ao aumento da temperatura.

Posteriormente, na quarta etapa será realizada a modelagem tridimensional do apartamento, com o desenho e os materiais e componentes construtivos existentes na fachada e uma outra modelagem, testando diferentes alternativas de desenho, materiais e componentes construtivos para um melhor desempenho térmico, variando o sistema de ventilação natural, o sombreamento, a massa térmica, etc. A modelagem será realizada no software TAS - (Thermal Analysis Software Environmental/ Design Solutions Limited) versão 9.5.1, que possui atualmente versão gratuita para estudantes e foi utilizado na tese de doutorado de ALVES (2019) e seus artigos publicados no Energy and Buildings,um jornal internacional dedicado a investigações sobre o uso de energia e eficiência em edifícios. O TAS é um software com modelador 3D (Tas 3D Modeller), simulador de edifícios (Tas Building Simulator) e visualizador de resultados (Tas results viewer) com validação4 da ASHRAE 140-1.

Tas 3D Modeller: ferramenta de elaboração do modelo para posterior simulação; *Tas Building Simulator:* ferramenta de cálculo para simulação do

[3] Os modelos climáticos são criados para uma escala global e para atingir a escala local é necessário realizar o *downscaling* dos dados para a escala do clima de superfície local, afim de simular com mais precisão as variáveis climáticas.
[4] As validações do TAS podem ser conferidas no site: https://www.edsl.net/validation/ Acesso em: 1 abril. 2021.

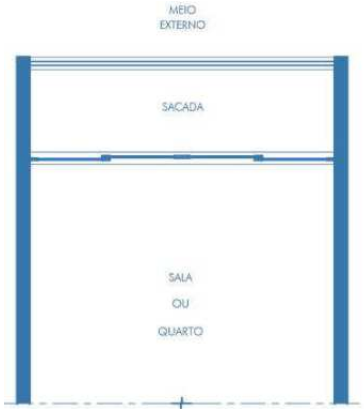
desempenho térmico de um edifício. A simulação desenha o estado térmico do edifício. *TAs results viewer:* ferramenta para exibição dos resultados da simulação. ALVES (2019)

E a quinta etapa conta com as simulações nos modelos tridimensionais. A simulação computacional de desempenho de edifícios é uma estratégia multidisciplinar, de amplo escopo e orientada em função das questões que se deseja explorar (ALVES, 2019). As simulações serão realizadas também no *TAS*, com a base da tipologia do apartamento em sol pleno, com entorno edificado. As simulações térmicas serão realizadas com arquivo climático em três cenários: nos anos de 2045, 2075 e 2099, até o final do século, que é o mesmo prazo que o Acordo de Paris propõe para limitar o aumento da temperatura global em 2 ° C - idealmente 1,5 ° C.

4. RESULTADOS ESPERADOS

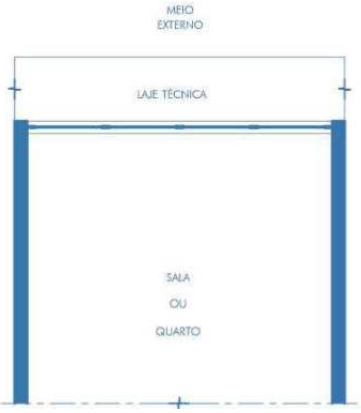
Desde o início da pesquisa pôde-se observar a existência de alguns padrões de desenho relacionados aos ambientes próximos às fachadas, no entanto, esses padrões podem mudar conforme o avanço dos levantamentos:

TIPOLOGIA A



Apartamento com guarda-corpo de vidro sem peitoril na sacada e pele de vidro na transição para sala ou quarto.

TIPOLOGIA B



Apartamento sem sacada, apenas com laje técnica e pele de vidro como fechamento da edificação

TIPOLOGIA C



Apartamento sem sacada e sem laje técnica apenas, com pele de vidro como fechamento da edificação

Portando munido das informações supracitadas e das tipologias que ainda irão ser identificadas, espera-se constatar apartamentos com fachadas mais benéficas a manutenção do conforto térmico e lumínico para a cidade de São Paulo conforme o aumento da temperatura advindo das mudanças climáticas. A constatação se dará conforme o tópico 4.1 Forma de análise dos resultados, descrito baixo:

4.1. Forma de análise dos resultados

Para analisar se as cargas térmicas dos ambientes internos aos apartamentos envidraçados são ideais para permanecer prolongadamente no futuro próximo, os resultados serão apresentados de maneira quantitativa em tabelas e gráficos pertinentes para o entendimento dos objetivos propostos.

Aponta-se como dados chave a temperatura operativa, temperatura radiante média, umidade do ar e radiação solar incidente como os principais indicadores gráficos a serem analisados.

A temperatura radiante média é um dos principais indicadores de desconforto térmico nos edifícios, a qual é relacionada diretamente com os ganhos solares no interior dos cômodos que refletem as demais variantes supracitadas. Portanto, para além das tabelas e gráficos, organizar-se-á conjunto de figuras as quais ilustrem as principais modificações destas variáveis em função de diferentes fatores no interior dos apartamentos estudados, auxiliando, portanto, a tomada de decisões no âmbito projetual e construtivo. A avaliação terá como base condição de conforto do modelo de conforto adaptativo da norma ASHRAE 55 (2017).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Face os dados que irão ser encontrado, simulados e analisados, considera-se que dentro das tipologias observadas, exista uma com as melhores estratégias, desenhos e condições de enfrentamento do aumento de temperatura, pela função de proteção térmica do sol e lumínica, principalmente quando trabalhadas em fachadas muito ensolaradas, como as com orientação para o Sul durante o verão ou Leste. Esse trabalho em fase inicial, é experimento para que outros estudos de simulação térmica sejam realizados ao implementar outros tipos de tipologias na cidade de São Paulo e em outros municípios, com conformidades climáticas semelhantes, diante do aumento da temperatura global.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. ANSI/ASHRAE Standard 55: thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta, 2017.

ALVES, Carolina Abrahão; **A produção recente de edifícios residenciais em São Paulo: desempenho e conforto térmico no contexto urbano e climático em transição.** 2019. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019. Disponível em: < http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16132/tde-31072019-171853/ >. Acesso em: 15 abr. 2020.

DUARTE, Denise; **O meio ambiente urbano frente às várias crises do nosso tempo**, Pós, Rev. Programa Pós-Grad. Arquit. Urban. FAUUSP. São Paulo, v. 27, n. 51, e181845, 2020. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/posfau/issue/view/11821>. Acesso em: 25 mar. 2021.

EDSL TAS **Validation Thermal Analysis Software Environmental/ Design Solutions Limited** .Disponível em: < https://www.edsl.net/validation>. Acesso em: 1 abril. 2021.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Relatório especial do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) sobre os impactos do aquecimento global de 1,5°C acima dos níveis pré-industriais e respectivas trajetórias de emissão de gases de efeito estufa, no contexto do fortalecimento da resposta global à ameaça da mudança do clima, do desenvolvimento sustentável e dos esforços para erradicar a pobreza: Sumário para Formuladores de Políticas, Brasil**: MCTIC - Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, 6 out. 2018. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/07/SPM-Portuguese-version.pdf>. Acesso em: 21 abr. 2020.

MCKINSEY. **What 800 executives envision for the postpandemic workforce**. 23 set. 2020. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/featured-insights/future-of-work/what-800-executives-envision-for-the-postpandemic-workforce> Acesso em 2 mar. 2021.

ONU NEWS. **Agência da ONU confirma que 2020 foi um dos anos mais quentes da história** Disponível em: < https://news.un.org/pt/story/2021/01/1738732 > Acesso em: 22 fev. 2021.

PACTO GLOBAL. Rede Brasil. **Para especialista, mudanças climáticas podem fazer confinamento virar regra: Rede Brasil recebeu o cientista Carlos Nobre para discutir as relações e aprendizados da pandemia para o clima**. Covid -19 e clima, como estão conectados? Brasil, 6 out. 2018. Disponível em: <https://www.pactoglobal.org.br/noticia/433. Acesso em: 17 abr. 2020.

PROJETA Projeções de mudança do clima para a américa do sul regionalizadas pelo modelo ETA Disponível em: <https://projeta.cptec.inpe.br/https://www.ark.fi/en/2020/02/> Acesso em: 18 mai. 2020.

SAARIMAA, S. (2020). **Natural light affects the perceived spaciousness and adaptability of an apartment**. Finnish Architectural Review, 2/2020. Disponível em: <https://www.ark.fi/en/2020/02/> Acesso em: 18 mai. 2020.

VALOR Imóvel compacto ganha demanda e atrai investidores. 9 dez. 2019. Disponível em: <https://valor.globo.com/empresas/noticia/2019/12/09/imovel-compacto-ganha-demanda-e-atrai-investidores.ghtml/> Acesso em: 8 abr. 2020

WEF. World Economic Fórum. **Air conditioning is threatening our ability to tackle climate change**. Here's what we need to do, 10 jan. 2019. Disponível em: < https://www.weforum.org/agenda/2019/01/why-keeping-ourselves-cool-doesnt-have-to-mean-heating-the-planet/> Acesso em: 22 dez. 2020.

WHO. **World Health Organization. Coronavirus disease 2019 (COVID-19)**: Situation Report – 51, Genebra, Suíça: World Health Organization, 11 mar. 2020. Disponível em: <https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/situation-reports/20200311-sitrep-51-covid-19.pdf?sfvrsn=1ba62e57_10>. Acesso em: 14 abr. 2020.