

Variação do potencial bioclimático em São Paulo frente ao cenário de mudanças climáticas

Variation of the bioclimate potential in São Paulo facing climate change scenario

Variación del potencial bioclimático en São Paulo ante el escenario de cambio climático

Emeli Lalesca Aparecida Guarda* 

Universidade Federal de Santa Catarina; Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo; Laboratório de Conforto Ambiental. Florianópolis (SC), Brasil. emeliguarda@gmail.com

Daniela Kramer 

Universidade Federal de Santa Catarina; Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo; Laboratório de Conforto Ambiental. Florianópolis (SC), Brasil.

Martin Gabriel Ordenes Mizgier 

Universidade Federal de Santa Catarina; Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo; Laboratório de Conforto Ambiental. Florianópolis (SC), Brasil.

* Autora correspondente.

CRediT

Contribuição de autoria: Concepção, curadoria de dados, análise, metodologia, supervisão, visualização, redação – rascunho original, redação – revisão e edição: GUARDA, E.L.A.; Análise, coleta de dados, metodologia, redação – rascunho original, redação – revisão e edição: KRAMER, D.; Supervisão, visualização: MIZGIER, M.G.O.

Conflitos de interesse: Os autores certificam que não há conflito de interesse.

Financiamento: Não possui.

Aprovação de ética: Não se aplica.

Uso de I.A.: Os autores certificam que não houve uso de inteligência artificial na elaboração do trabalho

Editores responsáveis: Daniel Sant'Ana (Editor-Chefe); Caio Frederico e Silva (Editor Associado); Joara Cronemberguer (Editora Associada); Simone Buiate Brandão (Assistente editorial).

Resumo

As preocupações globais com as condições de conforto térmico devido às mudanças climáticas têm se tornando pauta prioritária do século XXI. Esta pesquisa tem como objetivo a investigação da evolução climática, das estratégias bioclimáticas passivas de projeto, e das horas de conforto e desconforto, utilizando como base a série histórica climática da cidade de São Paulo. A metodologia consiste em elaboração do perfil climático da região de estudo utilizando a série histórica, e análise do potencial bioclimático por meio de estratégias bioclimáticas de projeto, utilizando o software AnalysisBIO. Os resultados apresentam tendências de variações nas amplitudes térmicas, podendo induzir ao estresse térmico por calor dos ocupantes, e as porcentagens de desconforto foram mais frequentes nos anos recentes. A estratégia de sombreamento apresenta maiores valores de horas requeridas em anos mais recentes, apresentando aumento em 3,1 pontos percentual em 2018 em relação a 1989. A investigação das estratégias bioclimáticas de forma evolutiva, apresenta recomendações que deveriam ser aplicadas hoje nos projetos para que as edificações garantam condições de conforto térmico em São Paulo nos próximos anos.

Palavras-chave: Estratégias Bioclimáticas, Série Histórica, Mudanças Climáticas

Abstract

Global concerns about thermal comfort conditions due to climate change have become a priority agenda for the 21st century. This research aims to investigate climate evolution, passive bioclimatic design strategies, and hours of comfort and discomfort, based on the historical climate series of the city of São Paulo. The methodology consists of elaborating the climate profile of the study region using the historical series, and analyzing the bioclimatic potential through bioclimatic design strategies, using the AnalysisBIO software. The results show trends of variations in the thermal amplitudes, which can induce thermal stress by heat of the occupants, and the percentages of discomfort were more frequent in recent years. The shading strategy presents higher values of hours required in more recent years, showing an increase of 3.1 percentage points in 2018 compared to 1989. The investigation of bioclimatic strategies in an evolutionary way, presents recommendations that should be applied today in projects so that buildings ensure thermal comfort conditions in São Paulo in the coming years.

Key-words: Bioclimatic strategies, Historic series, Climate Change

Resumen

Las preocupaciones globales sobre las condiciones de confort térmico debido al cambio climático se han convertido en una agenda prioritaria para el siglo XXI. Esta investigación tiene como objetivo investigar la evolución del clima, las estrategias de diseño bioclimático pasivo y las horas de comodidad y malestar, con base en la serie climática histórica de la ciudad de São Paulo. La metodología consiste en elaborar el perfil climático de la región de estudio a partir de la serie histórica, y analizar el potencial bioclimático a través de estrategias de diseño bioclimático, utilizando el software AnalysisBIO. Los resultados muestran tendencias de variaciones en las amplitudes térmicas, que pueden inducir estrés térmico por calor de los ocupantes, y los porcentajes de malestar fueron más frecuentes en los últimos años. La estrategia de sombreado presenta mayores valores de horas requeridas en años más recientes, mostrando un incremento de 3.1 puntos porcentuales en 2018 respecto a 1989. La investigación de estrategias bioclimáticas de manera evolutiva, presenta recomendaciones que se deben aplicar hoy en los proyectos para que edificios aseguran condiciones de confort térmico en São Paulo en los próximos años.

Palabras-clave: Palabras clave: Estrategias bioclimáticas, Series históricas, Cambio Climático

1 Introdução

A preocupação global com a crescente demanda energética devido as mudanças climáticas, têm se tornando pauta em diversas pesquisas, assim ao longo dos anos as pesquisas científicas têm considerado as mudanças climáticas um grande desafio para a sociedade no século XXI. Skarbit, Ács e Breuer (2018) afirmam que as observações e os modelos climáticos demonstram que o clima se tornará mais quente e seco durante o século atual. No entanto, as projeções das mudanças climáticas dependem dos cenários de emissões e dos Modelos Gerais de Circulação (GCMs).

Modelos de circulação geral (GCMs) são modelos numéricos usados para representar processos físicos da atmosfera, oceano, criosfera e superfície terrestre. Estes começaram como modelos oceânicos ou atmosféricos e foram mais tarde combinados para formar modelos de circulação geral atmosfera-oceano (AOGCMs). Vários AOGCMs simulam mudanças climáticas considerando a influência antropogênica, com base na evolução observada das concentrações de gases de efeito estufa desde o início do período industrial até os dias atuais e preveem cenários para o futuro (ROUX, SCHALBART e ASSOUMOU, 2016). No entanto, apesar de suas limitações, os GCMs são modelos científicos amplamente utilizados pela comunidade científica, para prever dados climáticos globais passados e futuros e contribuem diretamente como base para a geração de futuros arquivos climáticos, considerando os impactos das mudanças climáticas (BAI, YANG e SONG, 2019; GUO *et al.*, 2019; WADDICOR *et al.*, 2016; GUAN, 2009; GUAN, 2012). Além disso, eles podem ser usados em simulações de edifícios e podem se tornar um importante instrumento de tomada de decisão na busca de medidas mitigadoras para esses impactos futuros.

Dessa forma, o Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) apresenta cenários de emissões, os quais representam o desenvolvimento tecnológico, demográfico, econômico, sociais e políticos globais futuros (IPCC, 2020). Esses cenários são divididos em quatro famílias, intituladas como A1, A2, B1 e B2, as quais são publicados em relatórios do IPCC, sendo os “Special Report Emissions Scenarios” (SRES), do terceiro e quarto relatório (AR3 e AR4) (IPCC, 2000; 2007) e os cenários de Caminhos de Concentração Representativa (RCPs) do quinto relatório (AR5) (IPCC, 2014). Inúmeras pesquisas mostram que os resultados da prospecção climática, torna-se evidente que até o final do século XXI, todos os cenários indicam a um clima futuro mais quente (BIENVENIDO-HUERTES, *et al.*, 2021; GUARDA *et al.*, 2020; GUARDA, DURANTE e CALLEJAS, 2020; RODRIGUEZ, *et al.*, 2020, ROUAULT *et al.*, 2019; TRIANA, LAMBERTS e SASSI, 2018).

Dessa maneira, o alto consumo energético das atividades antropogênicas está entre os principais fatores contribuintes das mudanças climáticas. Essas atividades incluem o setor da construção, o qual é o maior contribuinte individual para o consumo de energia primária e as emissões de gases de efeito estufa em todo o mundo (KHAMBADKONE e JAIN, 2017). No cenário global, a construção civil é responsável por 36% do uso final de energia e 39% dos gases de efeito estufa emitidos (IEA, 2019). Este alto consumo energético dos edifícios está atrelado ao desempenho térmico ineficiente da envoltória, os quais impulsionam a utilização de estratégias ativas, como o condicionamento de ar por longos períodos para manter condições de conforto térmico no interior dos edifícios.

O relatório “The Future of Cooling: Opportunities for energy-efficient air conditioning” do International Energy Agency (IEA), destaca que no período de 1990 a 2016, as vendas anuais de ar condicionado quadruplicaram para 135 milhões de unidades até o final de 2016, cerca de 1,6 bilhão estavam em uso (IEA, 2018). Além disso, durante algum tempo a evolução da tecnologia, com novos sistemas de iluminação artificial e de condicionamento de ar, bem como tarifas de energia mais acessíveis, permitiu que

projetistas, arquitetos e engenheiros desconsiderassem as condições climáticas de cada região (MACIEL, 2002).

Para conter essa demanda crescente de energia e mitigar os efeitos das mudanças climáticas, as pesquisas atuais estão se concentrando em projetar um ambiente construído mais sustentável e adaptados ao clima local (KIM, GU e KIM, 2018; STAVRAKAKIS *et al.*, 2012; TEJERO-GONZÁLEZ *et al.*, 2016; CALLEJAS, *et al.*, 2021), ao conhecimento das oscilações e variações climáticas para garantir maiores porcentagens de horas em conforto térmico (GAITANI, MIHALAKAKOU e SANTAMOURIS, 2007) e reduzir a demanda energética e as emissões de gases de efeito estufa (CASQUERO-MODREGO e GONI-MODREGO, 2019; OMER, 2008).

Neste contexto, observa-se que o clima é fator determinante para o projeto de edifícios, principalmente visando conforto térmico e eficiência energética. Assim, o local de implantação do edifício é importante na determinação das estratégias passivas apropriadas para cada região. Uma análise do clima do local da implantação é essencial para promover a soluções de projeto por meio de estratégias bioclimáticas passivas (KISHORE, 2021). Esta abordagem bioclimática pode garantir edifícios adaptados ao clima, e melhores condições internas de conforto térmico e reduções na demanda energética.

O termo 'projeto bioclimático' surgiu em 1963 quando os irmãos Olgyay aplicaram conhecimentos da climatologia para o estudo das condições conforto térmico humano. Em 1968, Givoni apresentou seu diagrama bioclimático, o qual é dividido em 12 zonas diferentes, e apresenta estratégias passivas e ativas para alcançar conforto térmico no interior dos edifícios. Serra (1989) utiliza o termo "arquitetura bioclimática como a que otimiza as relações energéticas com o ambiente natural". Maciel, Ford e Lamberts (2007) a definem como a interação do clima de um local com a envoltória das edificações, podendo ser utilizadas estratégias bioclimáticas para obtenção de conforto térmico em projetos.

Pesquisas recentes vêm abordando o potencial bioclimático das edificações (PAJEK, KOSIR, 2018; PAJEK e KOSIR, 2017; MONTERDE *et al.*, 2016; YILDIZ, *et al.*, 2015; RUBIO-BELLIDO, PULLIDO-ARCAS, CABEZA-LAINEZ, 2015). De forma geral, o potencial bioclimático pode ser considerado como a interação do edifício com o lugar em que se insere, bem como as estratégias para a adaptação da arquitetura ao clima. Assim, de acordo com Olgyay (1963), Almusaed (2011) e Kosir (2019), o conceito de potencial bioclimático é frequentemente utilizado para adaptar um edifício às condições climáticas relevantes, utilizando de estratégias bioclimáticas passivas.

Nesse contexto, para que o projeto bioclimático de edifícios seja eficaz, a adaptação dos edifícios às futuras condições climáticas deve ser considerada, bem como a utilização de estratégias bioclimáticas passivas. Em geral, as estratégias passivas de projeto podem ser divididas em quatro grupos principais de estratégias: retenção de calor, admissão de calor, exclusão de calor e dissipação de calor (KOSIR, 2019). Portanto, a seleção das estratégias deve ser apropriada às características climáticas e localização (SZOKOLAY, 2014; KOSIR, 2019; PAJEK e KOSIR, 2018).

Neste contexto, considerando que a vida útil de uma edificação é de 50 a 75 anos (ABNT, 2013) é essencial entender as alterações climáticas e principalmente o perfil climático da região, pois muitas dessas estratégias implementadas hoje podem não ser mais eficazes ao longo dos anos. A modo de exemplo, Pajek e Kosir (2021) ilustram que com o aumento das temperaturas, em alguns locais, as medidas de exclusão de calor, como por exemplo, áreas envidraçadas menores e sombreamento eficazes, podem se tornar mais importantes do que as medidas de admissão de calor, como por exemplo, grandes áreas envidraçadas para aquecimento solar passivo, que normalmente são mais adequadas em climas frios.

Dessa maneira, a importância do estudo do clima, no campo da arquitetura se mostra imprescindível para o desenvolvimento de propostas mais adequadas à disponibilidade e preservação dos recursos naturais, bem como adequadas ao conforto do homem nos espaços construídos (FERNANDES, 2009). Frota e Schiffer (2003) ressaltam a importância de adequar a arquitetura ao clima, pois possibilitam melhores condições internas de conforto nas edificações. Para isso é fundamental que o projetista tenha noções da variabilidade climática para melhor adequação da sua arquitetura nos cenários futuros de mudança climática.

Ribeiro (2019) identificou a variação das estratégias bioclimáticas, pelo método de Mahoney para as cidades de Curitiba, Porto Alegre e Florianópolis, utilizando como base a série histórica de 1960 a 2018. Observa-se que ocorreu tendência de aumento da temperatura do ar para as três cidades avaliadas, sendo Curitiba com maior variação de 1,6°C em 58 anos. A autora destaca que em Curitiba, deve-se controlar a ventilação nos períodos de maiores amplitudes térmicas e priorizar a ventilação noturna. Em Curitiba e Florianópolis houve aumento na necessidade de inércia térmica e em Porto Alegre esta estratégia reduziu (RIBEIRO, 2019).

Larsen-Flores, Filippin e Barea (2019) avaliaram o impacto das mudanças climáticas nas estratégias bioclimáticas para a Argentina, por meio da ferramenta Climate Consultant v. 6.0. Assim, os autores observaram que as horas em conforto térmico diminuirá de 20% para 10% e, a estratégia de sombreamento será necessária até o final do século para as cidades da Argentina. A estratégia de ventilação natural terá mais eficiência no período de primavera e outono, e menos eficiente no verão pelo fato das temperaturas externas serem altas no futuro (LARSEN-FLORES, FILIPPIN e BAREA, 2019). Wang *et al.* (2021) resalta que as estratégias de aquecimento solar passivo, ventilação natural e resfriamento evaporativo serão cada vez mais aplicáveis na China, com aumento em torno de 59,76%, de 54,46% e de 63,10% das horas anuais, respectivamente. Pérez-Andreu *et al.* (2018) afirmam que a ventilação natural apresenta impactos insignificativos em climas futuros. Rañeses *et al.* (2021), em sua revisão, destacam que as medidas adaptativas que apresentarão maiores benefícios em relação ao clima futuro são os isolamentos térmicos, ventilação natural e sombreamento.

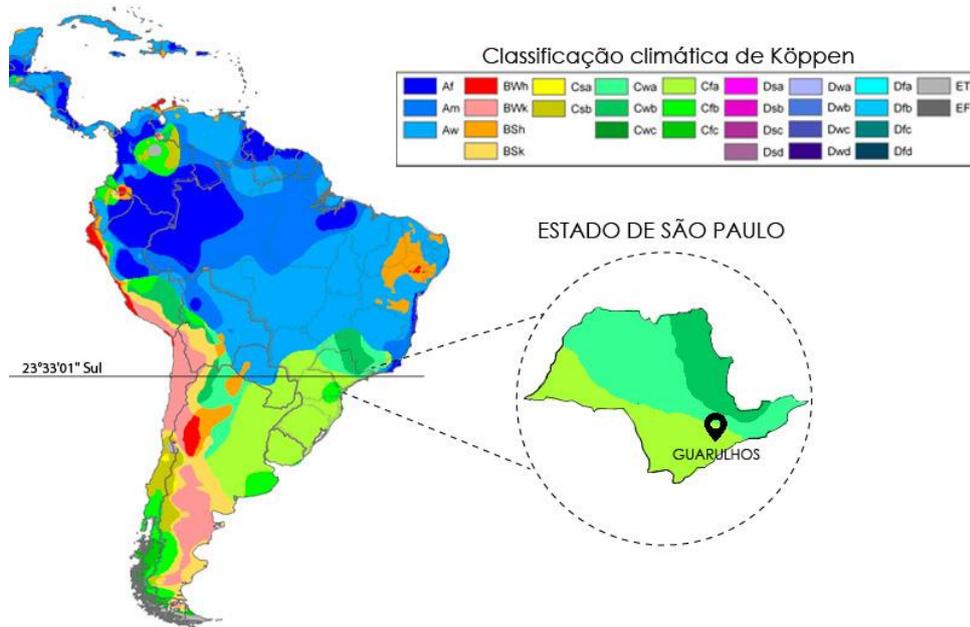
Sendo assim, esta pesquisa tem como objetivo principal a investigação da evolução climáticas e das estratégias bioclimáticas passivas de projeto, bem como das horas de conforto e desconforto por calor e frio, utilizando como base na série histórica de 1989 a 2018 da cidade de São Paulo-SP para identificar as recomendações projetuais que possam garantir as condições de conforto térmico nos próximos anos.

2 Materiais e Métodos

2.1 Caracterização da região de estudo: o clima da cidade de São Paulo-SP

Tomou-se como região de estudo a cidade de São Paulo-SP. A cidade localiza-se no Sudeste brasileiro, com área de 1.521,110Km², com população estimada de 12.252.023 habitantes (IBGE, 2010). Está situada na latitude 23°33'01" sul e na longitude 46°38'02" oeste e altitude de 760m. A figura 1 mostra a classificação de Köppen para o clima de São Paulo-SP como subtropical úmido (Cfa), com invernos secos e verões chuvosos com temperaturas mais altas e, outono e inverno sendo estações de transição (PEEL *et al.*, 2007).

Figura 1: Localização geográfica e climática da cidade de São Paulo



Fonte: Adaptado de PEEL *et al.* (2007)

Os arquivos climáticos utilizados são oriundos da estação meteorológica de número 830750, localizada em Guarulhos-SP. Esta pesquisa desconsidera a influência da Ilha de Calor Urbana (ICU), a análise apresentada considera apenas as variáveis climáticas dos arquivos sem influência da ICU.

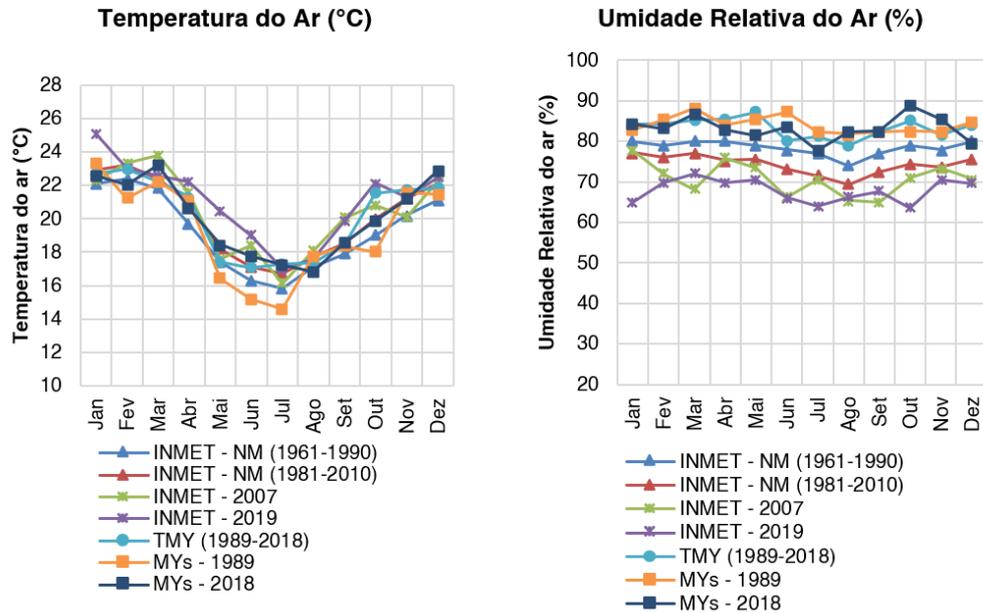
Tratando-se do clima de São Paulo, elaborou-se uma investigação de temperatura e umidade relativa do ar, com os dados das Normais Climatológicas dos períodos de 1931-1960, de 1961-1990 e de 1981-2010, dos arquivos climáticos de 2007 e 2019 disponibilizadas do banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e dos arquivos climáticos TMY (1989-2018) e dos MYs de 1989 e 2018, disponibilizadas pelo Prof. Dru Crawley por meio de parceria de pesquisa. Os arquivos MYs, são anos meteorológicos típicos derivados de dados meteorológicos horários, obtidos do Integrated Surface Database (ISD) (CRAWLEY e LAWRIE, 2015).

Comparando-se os dados históricos, observa-se que as normais climatológicas de 1961-1990 e o MYs de 1989, apresentaram temperaturas médias anuais em torno de 19,25°C, enquanto os demais arquivos obtiveram temperaturas acima de 20°C, demonstrando aumento em torno de 0,75°C em 28 anos (1990-2018), ou seja, aumento de 0,25°C por década (Figura 2). Considerando o ano de 2019, o qual apresentou temperatura média anual de 21,06°C, observa-se aumento de 1,89°C em 29 anos (1990-2018), ou seja, aumento de 0,06°C por ano.

Entre as normais climatológicas de 1961-1990 e de 1981-2010, os meses de abril, outubro, novembro e dezembro apresentaram diferenças acima de 1°C. Entre os MYs de 1989 e de 2018, os meses de maio, junho e julho apresentaram valores acima de 2°C. Por fim, entre os INMET de 2007 e 2019, destaca o mês de janeiro que apresentou diferença acima de 2,5°C. Portanto, ressalta que os arquivos climáticos dos anos mais recentes apresentaram maiores valores de temperaturas em seu perfil climático.

Esse fato corrobora com as projeções apresentadas pelo IPCC, cujo o aumento da temperatura média global é 0,15°C a 0,3°C por década (IPCC, 2007). Casagrande (2013) aponta que a partir da década de 1920, há uma tendência de crescimento das temperaturas no Brasil, apesar das interrupções em 1950 e 1970, a variação alcançou registros de aumento de 0,8°C no ano de 2000, em relação às médias de 1961-1990.

Figura 2: Dados históricos de temperatura e umidade relativa do ar de São Paulo-SP.



Com o aumento da temperatura, a umidade relativa do ar, apresentou reduções em torno de 4,15% em relação à média anual das normais climatológicas de 1961-1990 a 1981-2010. Os meses de abril, junho e julho apresentaram umidade relativa de 80%, de 78% e de 77% em 1961-1990 passando para 75,3%, para 73,2% e para 71,6% em 1981-2010, respectivamente. Essas reduções também ocorreram nos arquivos climáticos MYs e nos arquivos do INMET de 2007 e 2019, no entanto, em valores menores, sendo em valores anuais de 0,89% e de 2,89%, comparando-se 1989 a 2018 e 2007 a 2019, respectivamente. Como na temperatura do ar, destaca-se que o mês de janeiro do arquivo climático de 2019, apresentou maior diferença, sendo de 12,9% em relação a 2007, podendo ser justificado pelo aumento da temperatura do ar. Assim, observa-se a influência do aumento da temperatura na umidade relativa do ar, o qual diminui gradativamente conforme os anos.

2.2 Elaboração do Perfil Climático

Dessa maneira, com o intuito de verificar o perfil climático histórico, utilizou-se os arquivos MYs em médias horárias, considerando a variável Temperatura do Ar (°C), bem como a média anual do período de 1989 a 2018. Assim, o processo metodológico consiste em elaboração de histogramas para verificação da frequência de ocorrência de faixas de temperatura do ar (°C), com o intuito de verificar a variabilidade climática da série histórica.

Além disso, investigou-se as amplitudes térmicas por meio das temperaturas máximas e mínimas diárias (Equação 1), com o intuito de verificar a faixa de amplitude em cada ano do período analisado, bem como o estresse térmico do período.

$$Amp = T_{máx} - T_{mín}$$

Onde:

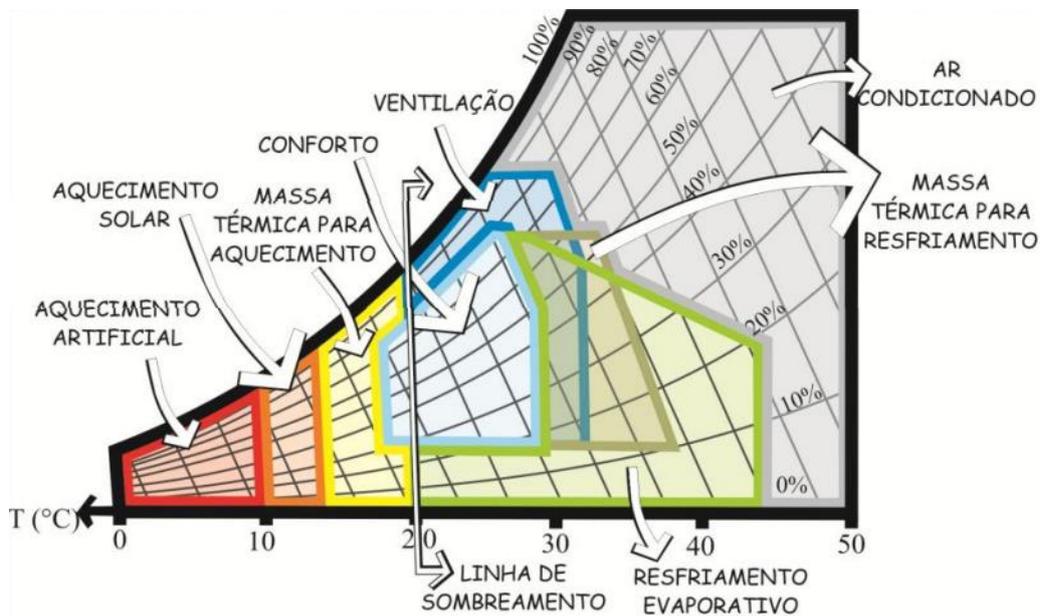
- Amp** = amplitude térmica diária (°C);
- T_{máx}** = temperatura máxima diária (°C)
- T_{mín}** = temperatura mínima diária (°C)

2.3 Elaboração do Potencial Bioclimático

Considerando a estreita relação entre os estudos climatológicos e a arquitetura, principalmente as condições de conforto térmico no interior das edificações, buscou-se quantificar a evolução do potencial bioclimático por meio do uso das cartas bioclimáticas de Givoni (1992), utilizando-se do software AnalysisBIO (LABEEE, 2010).

O AnalysisBIO apresenta o diagrama bioclimático de Givoni, o qual apresenta doze estratégias bioclimáticas, divididas em zonas: ventilação, ventilação/alta inércia, ventilação/alta inércia/resfriamento evaporativo, alta inércia térmica para resfriamento, alta inércia/resfriamento evaporativo, alta inércia térmica/aquecimento solar, conforto, aquecimento artificial, aquecimento solar passivo, condicionamento artificial, resfriamento evaporativo, umidificação e sombreamento (Figura 3).

Figura 3: Ilustração esquemática da carta bioclimática de Givoni



Fonte: Thomé (2006)

Utilizou-se para a plotagem das cartas bioclimáticas os arquivos MYs do período de 1989 a 2018, pois os mesmos estão em extensão EPW. Dessa maneira o arquivo necessita ser convertido para um arquivo de planilha eletrônica separado por vírgula, constituído de variáveis climatológicas específicas, em um arquivo com extensão .CSV, após o que é passível de ser lido pelo AnalysisBIO. O processo metodológico detalhado está descrito nos trabalhos de Guarda, Durante e Callejas (2018).

Assim, cada arquivo foi inserido no software para obtenção das cartas bioclimáticas, analisando mês a mês, com o intuito de verificar a evolução das estratégias bioclimáticas para São Paulo. Os resultados consistem no cômputo das porcentagens mensais de horas requeridas das estratégias de maior ocorrência, bem como nas porcentagens de horas mensais de conforto e desconforto por frio e calor, resultando no potencial bioclimático de São Paulo. De acordo com a carta bioclimática de Givoni (1992), os limites da zona de conforto estão entre 18°C a 29°C de temperatura do ar e umidade relativa entre 20% e 80%, assim, valores que ultrapassam esses limites são caracterizados como desconforto por frio e por calor.

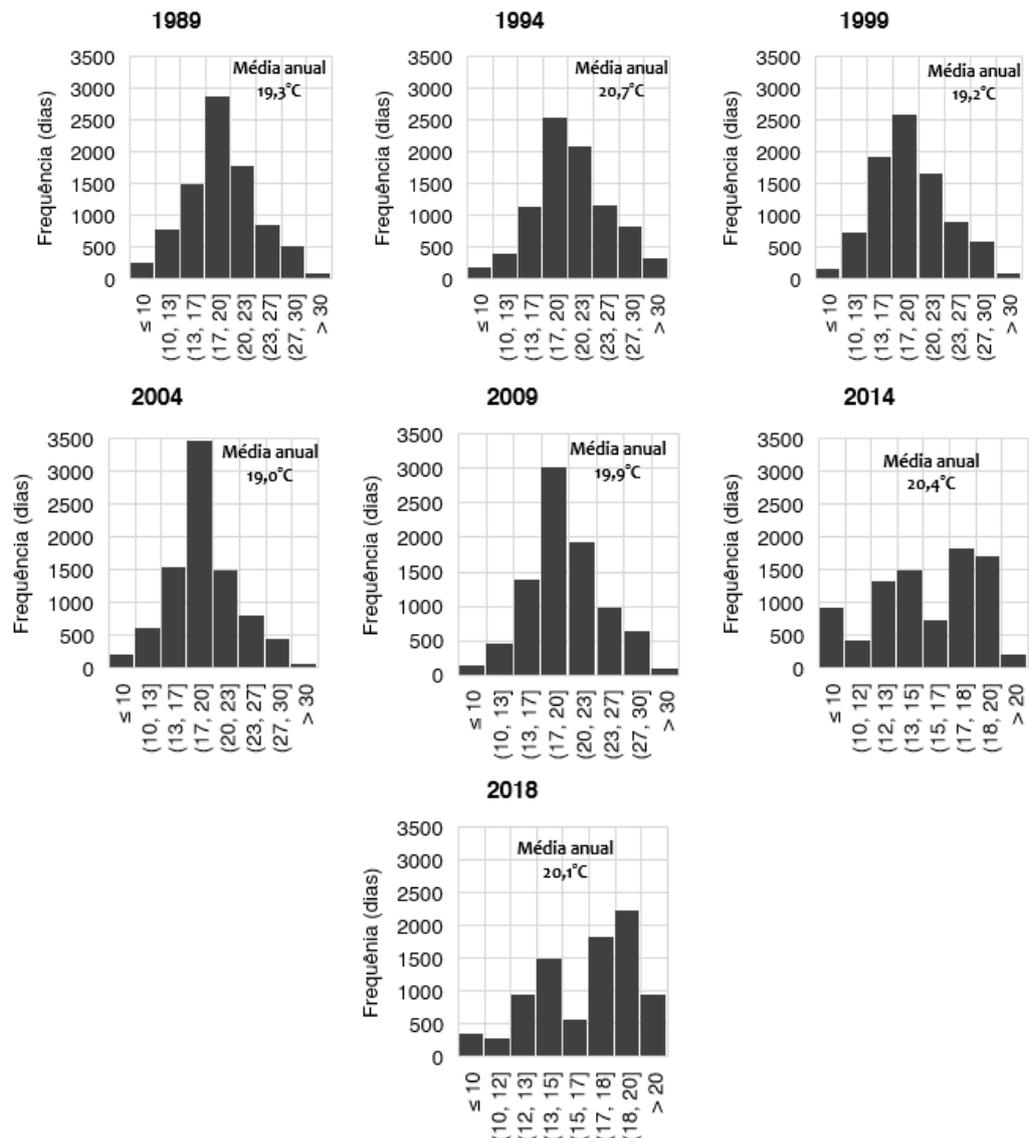
3 Resultados

3.1 Perfil Climático por meio de arquivos MYs do período de 1989 a 2018

Os anos 1989, 1999, 2004, 2009, apresentam temperaturas com média anual em torno de 19,5°C e faixa de temperatura de 17°C a 21°C, apresentando frequência de ocorrência em 2399 dias do ano (Figura 4). Observa-se que temperaturas acima de 28°C são frequentes em 420 dias e temperaturas inferior a 15°C ocorrem em 486 dias.

Os anos de 2014 e 2018 apresentaram menores valores temperatura média anual, sendo de 20,4°C e 20,1°C, respectivamente. As maiores frequências de temperatura foram de 17°C a 19°C em ambos anos, apresentando frequência de ocorrência de 2030 dias em 2014 e de 2869 em 2018, ressalta-se que a temperatura média não está na faixa com maior frequência de ocorrência em 2018 (Figura 4). Dessa maneira observa-se que temperaturas acima de 25°C, ocorrem em apenas em 2018, apresentando frequência de 7 dias do ano, enquanto temperaturas abaixo de 15°C são frequentes em 4235 dias do ano em 2014 e 3059 dias do ano em 2018, caracterizando anos com temperaturas amenas, ou seja, anos mais frios.

Figura 4: Perfil Climático em frequência de ocorrência de temperatura do ar para São Paulo – SP.



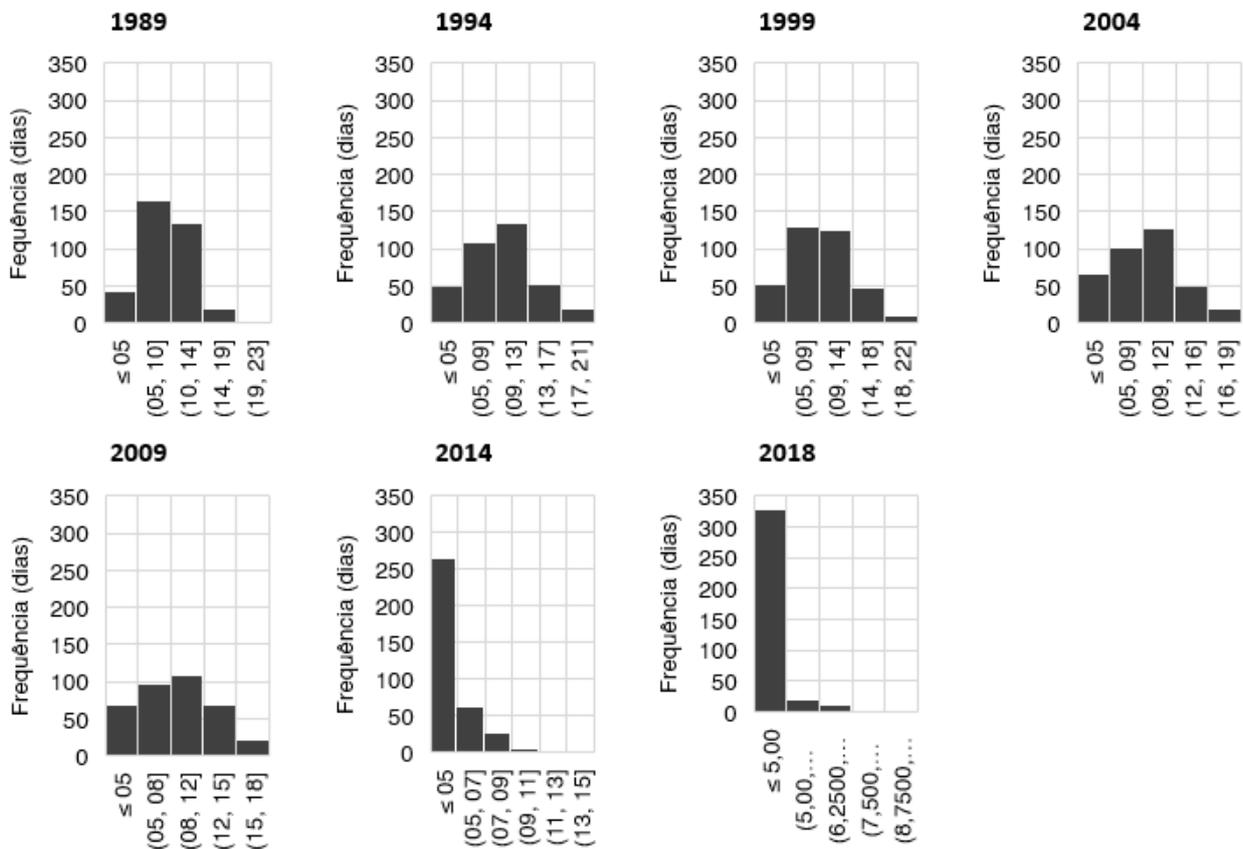
Por fim, o ano de 1994, apresentou a maior média anual, sendo de 20,7°C, sendo a faixa de temperatura de 17°C a 21°C, com frequência de ocorrência de 2774 dias e, temperaturas superior e inferior a 28°C e 15°C em 679 dias e 605 dias, respectivamente (Figura 4). Diferentemente dos demais anos, observa-se que o ano de 1994, caracterizou como um ano atípico, onde as frequências de ocorrência de temperaturas amenas e quentes ocorreram em ao longo de um único ano.

Assim, observa-se uma tendência de aumento das temperaturas médias do período analisado, no entanto, com comportamento cíclicos, apresentando temperatura média em 1989 de 19,3°C, aumentando em torno de 7% em 1994, em um período de cinco anos. Em 1999 e 2004 as temperaturas médias são em torno de 19°C e nos anos seguintes as temperaturas aumentam em torno de 4% em 2009, 7% em 2014 e 5% em 2018 em relação ao ano de 2004.

Dessa maneira, com o intuito de verificar essa tendência em temperaturas máximas e mínimas, investigou-se a amplitude térmica do período em análise. Dessa maneira, os anos de 1989, 1999, 2004 e 2009, apresentaram maiores frequência de amplitude térmica na faixa de 5°C a 12°C, podendo caracterizar como anos de alta amplitude térmica (Figura 5).

O ano de 1994, apresentou maiores frequências de ocorrência de amplitude na faixa de 9°C a 13°C, com diferença de até 4°C em relação aos anos de 1989, 1999, 2004 e 2009 (Figura 5). Assim, conforme mencionando anteriormente, este ano caracteriza como um ano atípico, pois apresenta alta amplitude térmica, ou seja, maiores frequências de ocorrência de temperaturas máximas e mínimas ao longo de um ano.

Figura 5: Perfil Climático em frequência de ocorrência de amplitude térmica para São Paulo – SP.



Por fim, os anos de 2014 e 2018, apresenta maiores frequências de ocorrência de amplitude térmica menores que 5°C, sendo dentro do período os anos com menores valores de amplitude térmica (Figura 5). Assim, destaca-se que como nas temperaturas médias, as amplitudes térmicas apresentam leve tendência de aumento, sendo que em 1989 a maior amplitude é de 9,5°C e, aumenta para 13°C em 1994, para 12°C em 2004 e para 11,5°C em 2009, bem como há um aumento da faixa de frequência para os respectivos anos. No entanto, em 2014 e 2018, as amplitudes são menores (5°C), porém ocorrem em maiores frequências ao longo do ano.

Assim, observa-se na série histórica analisada que há tendência de aumento das temperaturas da cidade de São Paulo, com pouca oscilao, demonstrando que a temperatura tende a estabilizar. Assim, temperaturas mais altas permanecem elevadas por períodos mais longos, demonstrando variao nas temperaturas médias, máximas e mínimas, podendo gerar maior estresse térmico da populao. Com isto, reforçamos a importância da investigao climática para projetar e elaborar melhores estratégias projetuais para edificao, principalmente com a inteno da arquitetura responder ao clima, considerando a vida útil do edifício e principalmente a variabilidade climática da região.

3.2 Análise do Potencial Bioclimático

Com o intuito de identificar a evoluo do potencial bioclimático, investigou-se as porcentagens de horas de conforto e desconforto por frio e calor em valores mensal e anual para todo o período de análise, bem como a evoluo das estratégias bioclimáticas de projeto, utilizando como base os arquivos climáticos MYs do período de 1989 a 2018. Além disso, destaca-se que os resultados são expressos em horas anuais, não sendo divididos por períodos do dia.

3.2.1 Horas de Conforto e Desconforto por frio e calor do período de 1989 a 2018

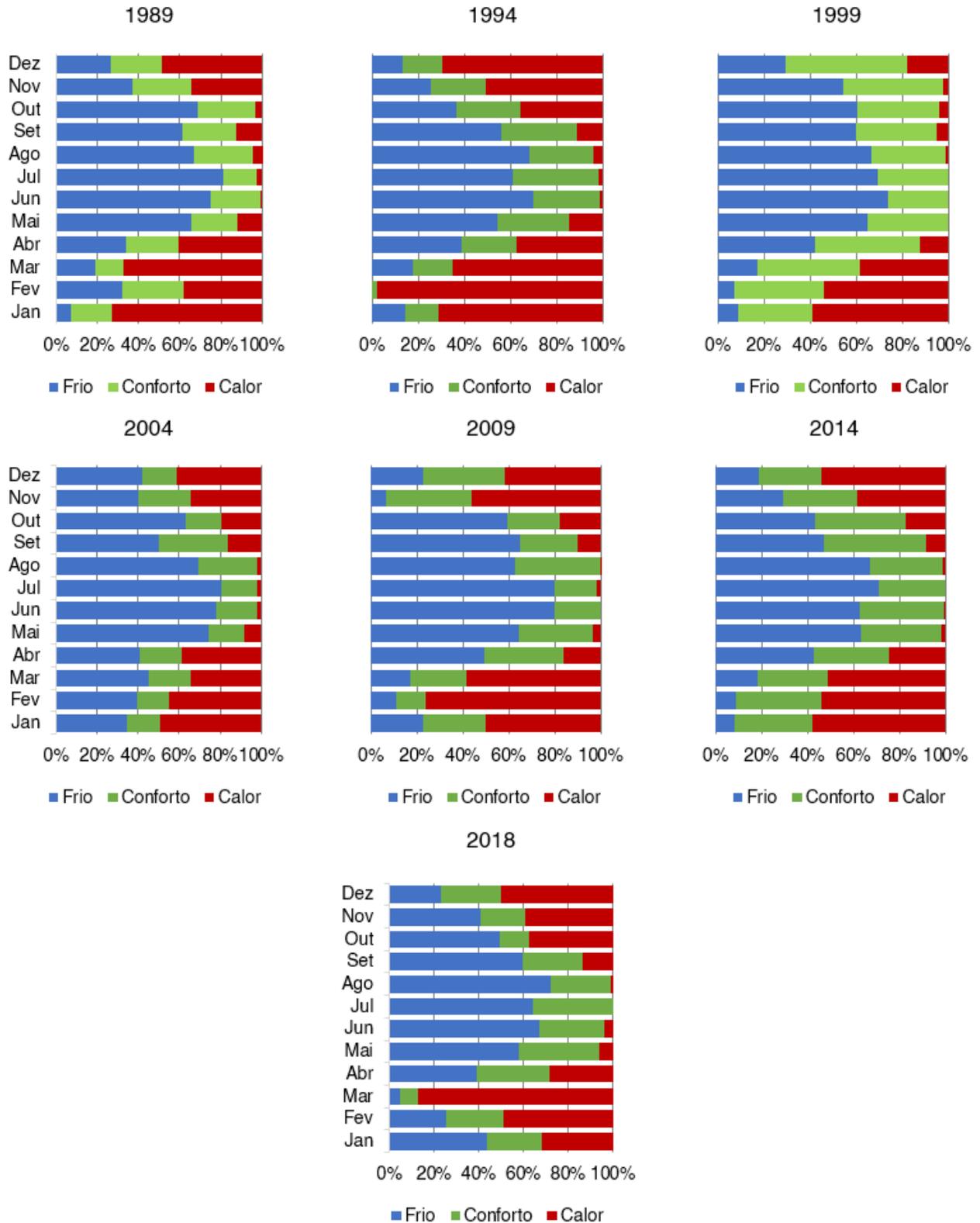
As porcentagens de horas de conforto em valores anuais são de 24,1% em 1989, de 23,8% em 1994, de 37,7% em 1999, de 20,9% em 2004, de 27,2% em 2009, de 34,3% em 2014 e de 25,3% em 2018 (Figura 6). A análise das horas de conforto apresentou comportamento similar as temperaturas médias, assim, observam-se leve tendência de aumento das porcentagens de maneira cíclica, com destaque para os anos de 1999 e 2014, que obtiveram maiores porcentagens de conforto.

Dessa maneira, os anos de 1989 e 2004 apresentaram maiores porcentagens de horas em desconforto por frio, sendo de 47,8% e 54,7%, respectivamente. Consequentemente, foram os anos que apresentaram menores valores de horas em conforto. No entanto, as porcentagens em desconforto por calor foram de 28,1% e de 24,3%, ou seja, caracterizando anos de perfil mais frio (Figura 6). Esse fato pode ser justificado pelas temperaturas anuais externas amenas, com médias em torno de 19°C. Destaca-se que os meses de junho e julho apresentaram porcentagens de horas em desconforto por frio de 78% e de 80% e, nos mesmos meses as temperaturas  de 15,5°C e de 15°C, respectivamente.

Consequente a esses anos, em 1999, 2009 e 2018, apresentaram porcentagens de horas em desconforto por frio de 46,1%, de 45,1% e de 45,6%, com temperaturas médias anuais de 19,2°C, de 19,9°C e de 20,1°C, respectivamente (Figura 6). Assim, observa-se que a cada cinco anos há ocorrência de períodos mais frios, alternado com anos com

temperaturas médias mais quentes, influenciando nas porcentagens de horas de conforto e de desconforto por calor.

Figura 6: Horas de conforto e desconforto por frio e calor do período de 1989-2018.



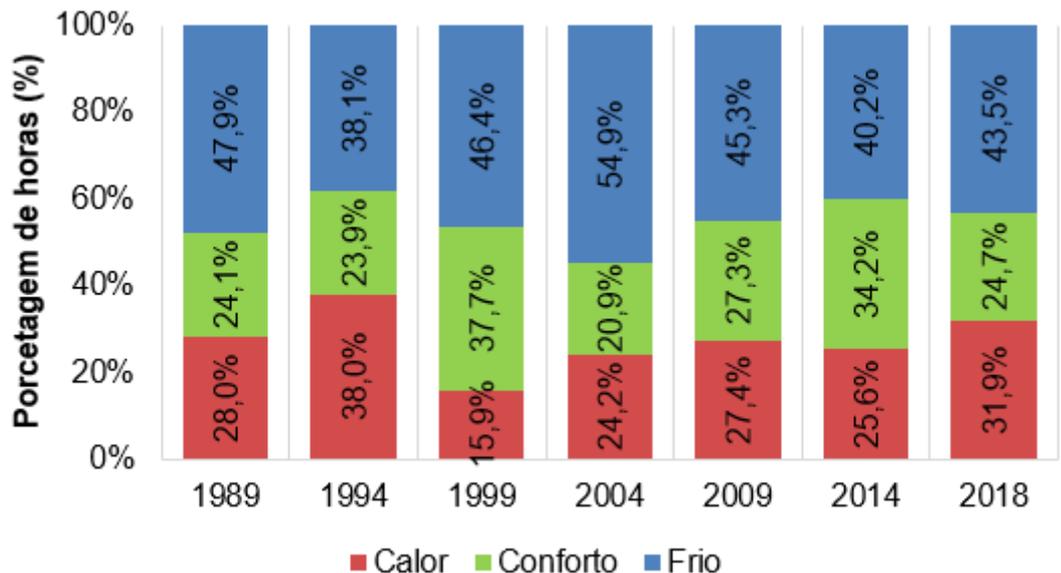
Nesse contexto, destaca-se o ano de 1999, o qual apresentou menores valores de porcentagem de desconforto por calor, sendo a média anual de 16,1%, caracterizando como um ano frio, porém com tendência pra conforto, pois também apresenta maiores porcentagens em conforto. Dessa maneira, os meses de maio a outubro apresentam porcentagens de desconforto por frio superior a 60% e porcentagens de horas em conforto acima de 30%, com temperaturas médias mensais em torno de 17°C (Figura 6). Os meses de janeiro e fevereiro apresentaram porcentagens de horas em desconforto por calor acima de 50%, no entanto com porcentagens em conforto acima de 30% e temperaturas médias em torno de 22°C.

Como mencionando anteriormente o ano de 1994 se revelou um ano atípico, por apresentar frequência de ocorrência de amplitudes térmicas alta ao longo do ano. Esse comportamento é semelhante nas porcentagens de horas em desconforto por frio e calor, as quais apresentaram porcentagens anuais de 37,9% por frio e de 38,4% por calor, com diferença de 0,5 pontos percentual.

Dessa maneira, os meses de maio a setembro apresentaram porcentagens de desconforto por frio superior a 55%, com destaque para junho que obteve 70% das horas, enquanto os meses de novembro a abril apresentaram porcentagens de desconforto por calor acima de 50%, com destaque para fevereiro, o qual obteve 98% das horas. Nesse contexto ao longo de todos os meses as porcentagens de horas em conforto foram em média de 30%, exceto em fevereiro que obteve apenas 2%, caracterizando o mês mais quente do ano. Ressalta-se que fevereiro de 1994, apresentou a maior temperatura média de todo o período analisado, sendo de 25,3°C.

Por fim, observa-se que as porcentagens de horas em conforto apresentam comportamento cíclico, no entanto com leve tendência para aumento de 16% no período de 15 anos (2009 a 2018) em relação ao ano de 1989 (Figura 7). Observa-se também que as porcentagens em desconforto por frio reduzem em 11 pontos percentuais, quando comparados ao mesmo período. As horas em desconforto por calor apresentam aumentos progressivos a partir de 2004, alcançando valores de 27,4% e, 2009 e de 31,9% em 2018.

Figura 7: Horas de conforto e desconforto por frio e calor do período de 1989-2018.



3.2.2 Potencial Bioclimático de Projeto do período de 1989 a 2018

Para esta investigação considerou-se somente as estratégias que obtiveram maiores porcentagens de horas anuais, sendo a estratégia de Ventilação (V), Alta Inércia Térmica para Aquecimento Solar (AIT/AQ) e Sombreamento (S). As demais estratégias como ventilação/alta inércia, ventilação/alta inércia/resfriamento evaporativo, alta inércia térmica para resfriamento, alta inércia/resfriamento evaporativo, aquecimento artificial, aquecimento solar passivo, condicionamento artificial, resfriamento evaporativo, umidificação, apresentaram porcentagens pontuais em períodos dos anos, com porcentagens de horas menores que 10%, sendo desconsiderando neste estudo.

Entretanto, ressalta-se a estratégia ativa de condicionamento de ar, apresentou 0% de horas requeridas nos anos de 1999, 2004, 2009 e 2014. Nos anos de 1989 e 2018, obteve-se valores em torno de 0,4% das horas requeridas, com destaque para os meses de dezembro a março e, no ano de 1994, obteve-se 2,2% das horas anuais, sendo que em fevereiro as horas requeridas de condicionamento são de 14,7%, demonstrando um ano atípico com temperaturas mais quentes nesse mês.

No entanto, verifica-se que em todo o período analisado, o uso do condicionamento de ar, ocorreu de forma pontual em alguns anos, assim, considerando as variações de temperatura analisada, observa-se que não se justifica o uso de condicionamento de ar, o qual pode ser substituído por estratégias bioclimáticas passivas de projeto nos edifícios em São Paulo.

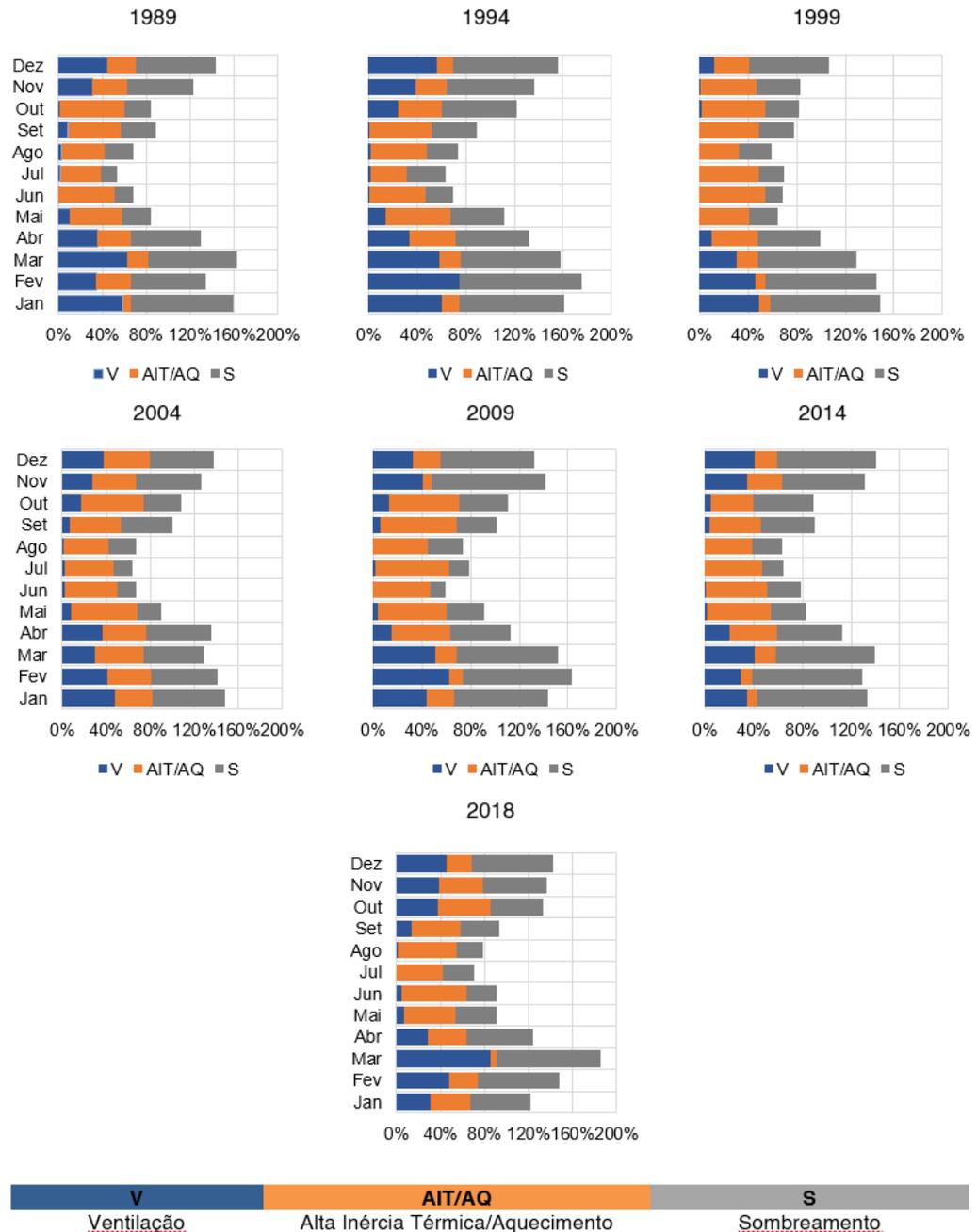
A estratégia de ventilação natural em média anual, apresenta maiores valores de porcentagens nos anos de 1994 e 2018, sendo de 30,5% e de 28,2% respectivamente (Figura 8). Isso corrobora com as porcentagens de horas em desconforto por calor e de temperatura do ar, os quais também obtiveram maiores valores. Destaca-se que em ambos anos, os meses que apresentaram maiores porcentagens foram de dezembro a março, com valores superiores a 50%. Assim, o uso da estratégia de ventilação, pode auxiliar na redução das horas de desconforto térmico, por meio de ventilação cruzada, torres de ventos, efeito chaminé, coberturas e paredes ventiladas, entre outras formas de aplicação.

Em 1999 e 2014, observa-se menores porcentagens anuais de horas requeridas, sendo de 12,6% e de 17,7%, respectivamente (Figura 8). Os meses de maio a novembro apresentou 0% de horas de ventilação, enquanto, nesse período os valores de desconforto por frio foram superiores a 55% em 1999, e podem ser justificados pela ocorrência de temperaturas amenas, e por isso não é recomendando o uso da estratégia de ventilação natural. Os demais anos apresentaram porcentagens de horas anuais de ventilação em média de 22,9% (Figura 8). Da mesma forma que na horas de conforto e desconforto, a estratégia de ventilação apresenta tendência de aumento cíclico, com aumento de 3,6 pontos percentuais em 2018 quando comparado com 1989.

A estratégia de Alta Inércia Térmica/Aquecimento Solar, proporcionará reduções nas amplitudes térmicas internas, devido a sua alta capacidade de armazenar calor, fazendo com que a temperatura interna se mantenha. Dessa maneira, os anos que apresentaram maiores porcentagens de horas de desconforto por frio, apresentam maiores horas requeridas de alta inércia térmica para aquecimento. Assim, os anos de 1989, de 1999 e 2004, obtiveram maiores valores de horas requeridas, sendo de 35,5%, de 35,6% e de 44,8% (Figura 8).

Destaque-se que em todo o período analisado, a estratégia de alta inércia para aquecimento é requerido em porcentagens superiores a 30%. Isso demonstra que a cidade de São Paulo, apresenta perfil climático de temperaturas amenas, como mencionando, sendo necessário que as edificações sejam adaptadas para melhorar as condições de conforto, bem como reduzir as horas de desconforto por frio. Observa-se que essa estratégia ocorre de maneira cíclica em períodos de cinco anos.

Figura 8: Panorama evolutivo das horas requeridas de estratégias bioclimáticas de projeto do período de 1989-2018.



Por fim, o sombreamento consiste em uma fundamental estratégia para redução dos ganhos solares por meio da envoltória dos edifícios. No entanto, observa-se que a estratégia de alta inércia para aquecimento é requerida para São Paulo. Neste caso, o sombreamento deve ser projetado para evitar os ganhos solares nos períodos mais

quentes nas fachadas. Assim também, o uso do sombreamento pode reduzir as porcentagens de horas em desconforto por calor, sem impactar no período mais frio.

Neste contexto, os anos de 1994, de 2009, de 2014 e de 2018, apresentaram porcentagens de horas requeridas de sombreamento superior a 50%, com destaque para 1994, o qual obteve 59,3% de horas requeridas. Nesses anos, nos meses de novembro a março, observa-se que a estratégia apresentou porcentagens acima de 75%, sendo que em fevereiro de 1994, foi requerida 100%, em janeiro e fevereiro de 2014 em 91% e em março de 2018 em 95% das horas. Conforme as demais estratégias, as porcentagens de horas requeridas de sombreamento ocorrem de forma cíclica, no entanto com tendência de aumento após 2004, apresentando aumento em 3,1% em 2018 quando comparado com 1989.

4 Conclusão

Com a investigação evolutiva do potencial bioclimático foi possível analisar as porcentagens de horas em conforto e desconforto por frio e calor, bem como as estratégias bioclimáticas de projeto e o perfil climático para a cidade de São Paulo-SP do período de 1989 a 2018, considerando as temperaturas do ar externo.

Assim, observa-se que o ano de 1994 apresentou comportamento atípico, o qual obteve frequências de ocorrência de temperaturas frias e quentes semelhante ao longo do ano. Os anos de 2014 e 2018, apresentaram perfil climático como anos frios, com temperaturas médias anuais em torno de 20°C e, apresentam temperaturas acima de 25°C em apenas 7 dias do ano em 2018, enquanto as temperaturas abaixo de 15°C são frequentes em 4235 dias do ano.

Dessa maneira, verifica-se conforme a série histórica analisada que há uma tendência de aumento das temperaturas da cidade de São Paulo, as quais apresentam variações nas temperaturas médias e nas temperaturas máximas e mínimas, as quais influenciaram nas amplitudes térmicas, podendo induzir ao estresse térmico dos ocupantes. No entanto, essa tendência de aumento é predominante em arquivos climáticos mais recentes, com característica cíclica.

Neste contexto, observa-se que as porcentagens de desconforto por frio e calor foram mais frequentes nos anos recentes (2018), no entanto, verifica-se que em um período de cinco anos há ocorrência de anos mais frios e mais quentes, os quais influenciam nas horas em conforto. Destaca-se que o ano de 1999 apresentou maiores porcentagens de conforto, sendo de 37,7% e, obteve menores porcentagens de horas em desconforto por frio, sendo de 16,1%, enquanto o ano de 2004 apresentou desconforto por calor em 54,7% das horas anuais.

Sendo assim, como forma de reduzir as horas em desconforto por calor obteve-se que a estratégia de sombreamento apresenta maiores valores de horas requeridas em anos mais recentes, apresentando aumento em 3,1% em 2018 quando comparado com 1989. Como na estratégia de sombreamento, a ventilação apresenta tendência de aumento cíclico, com aumento em torno de 3,6% em 2018 quando comparado com 1989. Ressalta-se que em 1994 e 2018, obteve-se maior valores de porcentagens da estratégia de ventilação.

Por fim, a estratégia de alta inércia térmica para aquecimento é requerida em todo o período com porcentagens superiores a 30%, demonstrando que o perfil climático de São Paulo é de temperaturas amenas. Dessa maneira, indica-se que alterar a envoltória das edificações, com materiais densos e de elevada capacidade térmica, pode melhorar as condições de conforto, respondendo a estratégia de inércia.

Destaca-se que a estratégias de condicionamento de ar, não é requerida no período em análise, apresentando porcentagens de horas somente no ano de 1994 de 2,2%, o qual apresenta perfil atípico para temperaturas quentes e frias. Assim, observa-se que o planejamento e uso do condicionamento de ar em edifícios, pode ser reduzido pela implementação das estratégias bioclimáticas passivas de projeto, para melhorar as condições térmicas internas dos edifícios.

Dessa maneira, conclui-se que a investigação das estratégias bioclimáticas de forma evolutiva, apresenta um panorama bioclimático e do clima da região de estudo, o qual favorece na adequação climática dos edifícios. Embora os resultados apresentem informações cruciais sobre o potencial bioclimático, pesquisas adicionais neste campo são recomendadas, principalmente em climas quentes, com o intuito de orientar gestores e projetistas a utilizar estratégias para adequar a arquitetura ao clima, principalmente quando se considera arquivos climáticos recentes e/ou a prospecção climática. Além disso, ressalta a importância de aplicar essas estratégias em edificações e avalia-las por meio de simulação computacional de desempenho termoenergético, para verificar a efetividade e os impactos nas horas de conforto.

Agradecimentos

A Universidade Federal de Santa Catarina e a Pró-Reitoria de Pesquisa da Universidade Federal de Santa Catarina (Propesq/UFSC), pela bolsa de iniciação científica para a realização desta pesquisa.

Referências

- ALMUSAED, A. **Biophilic and bioclimatic architecture: analytical therapy for the next generation of passive sustainable architecture**. Springer, London; New York, 2011
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15.575-1: Edificações habitacionais - Desempenho - Requisitos gerais**. Rio de Janeiro, 2013.
- BAI, L.; YANG, L.; SONG, B. **The impact of climate change on thermal climate zones and residential energy efficiency designs during the past decades in China**. *Adv. Build. Energy Res.* v. 0, p. 1–14, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1080/17512549.2019.1653367>.
- BIENVENIDO-HUERTAS, D.; RUBIO-BELLIDO, C.; MARIN-GARCIA, D.; CANIVEELL, J. **Influence of the Representative Concentration Pathways (RCP) scenarios on the bioclimatic design strategies of the built environment**. *Sustainable Cities and Society*, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103042>
- CALLEJAS, I.; J.; A.; APOLONIO, R.; M.; GUARDA, E.; L.; A.; DURANTE, L.; C.; ROSSETI, K.; A.; C.; ROSETA, F.; AMARANTE, L.; M. **Bermed Earth-Sheltered Wall for Low-Income House: Thermal and Energy Measure to Face Climate Change in Tropical Region**. *Applied Sciences*, v. 11, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/app11010420>

- CASAGRANDE, B. G. **Cenários climáticos futuros: Diagnóstico prospectivo do desempenho termoenergético de edifícios comerciais no Brasil para o século XXI.** Dissertação, f.136 (Mestrado), Universidade Federal do Espírito Santo, 2013.
- CASQUERO-MODREGO, N.; GONI-MODREGO, M. Energy retrofit of an existing affordable building envelope in Spain, case study. **Sustainable Cities and Society**, v. 44, p. 395-405, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.09.034>. Acesso em: 05 de setembro de 2021.
- CLIMATE.ONEBUILDINGS.ORG. (2020) **Repository of free climate data for building performance simulation. WMO Region 3 - South America.** Disponível em: <http://climate.onebuilding.org/>. Acesso em: 9 jun. 2021.
- CRAWLEY, D.; B.; LAWRIE, L.; K. Rethinking the TMY: Is the ‘typical’ meteorological year best for building performance simulation? **14th Conference of International Building Performance Simulation Association**, India, Dec 7-9, 2015. Acesso em: 05 de setembro de 2021.
- FERNANDES, J.; T. **Código de obras e edificações do DF: Inserção de conceitos bioclimáticos, conforto térmico e eficiência energética.** Dissertação (mestrado) do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, 2009.
- FLORES-LARSEN, S.; FILIPPÍN, C.; BAREA, G. Impact of climate change on energy use and bioclimatic design of residential buildings in the 21st century in Argentina. **Energy and Buildings**, v. 184, p. 216-226. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.12.015>
- FROTA, A.; B.; SCHIFFER, S.; T.; R. **Manual de conforto térmico.** 5ª edição, p. 243, 2003.
- GAITANI, N.; MIHALAKAKOU, G.; SANTAMOURIS, M. On the use of bioclimatic architecture principles in order to improve thermal comfort conditions in outdoor spaces. **Building and Environment**, v. 42, p. 317-324, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.08.018>. Acesso em: 05 de setembro de 2021.
- GIVONI, B. **Comfort climate analysis and buildings design guidelines.** Energy and Buildings, v.18, n.1, p-11-23, 1992.
- GUAN, L. Energy use, indoor temperature and possible adaptation strategies for air-conditioned office buildings in face of global warming. **Build. Environ**, v. 55, p.8-19, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2011.11.013>.
- GUAN, L. Preparation of future weather data to study the impact of climate change on buildings. **Build. Environ**, v. 44, p.793-800, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2008.05.021>.
- GUARDA, E. L. A.; DURANTE, L. C.; CALLEJAS, I. J. A. Impacto das mudanças climáticas no ambiente térmico interno de habitação unifamiliar em Cuiabá-MT. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 11, p. e020031, 2020. DOI: [10.20396/parc.v11i0.8657188](https://doi.org/10.20396/parc.v11i0.8657188).
- GUARDA, E. L. A; DURANTE, L. C; CALLEJAS, I. J. A. Efeitos do Aquecimento global nas estratégias de projeto das edificações por meio de cartas bioclimáticas. **Revista**

Engineering and Science (E&S), v.7, n.2, p.54-70. Cuiabá, 2018. DOI: <https://doi.org/10.18607/es201876827>

GUARDA, E.; L.; A.; DOMINGOS, R.; M.; A.; JORGE, S.; H.; M.; DURANTE, L.; C.; SANCHES, J.; C.; M.; LEÃO, M.; CALLEJAS, I.; J.; A. The influence of climate change on renewable energy systems designed to achieve zero energy buildings in the present: A case study in the Brazilian Savannah. **Sustainable Cities e Society**, v. 52, p. 101843, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101843>

GUO, S.; YAN, D.; HONG, T.; XIAO, C.; CUI, Y. A novel approach for selecting typical hot-year (THY) weather data. **Appl. Energy**, v. 242, p.1634-1648, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.03.065>.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo 2010**. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <<http://censo2010.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 09 de junho de 2021.

IEA - International Energy Agency. **2019 global status report for buildings and construction: Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: https://webstore.iea.org/download/direct/2930?filename=2019_global_status_report_for_buildings_and_construction.pdf

IEA - International Energy Agency. **The Future of Cooling Opportunities for energy-efficient air conditioning Together Secure Sustainable**. [s. l.], p. 92, 2018. Disponível em: www.iea.org/t&c/

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de dados históricos da cidade de São Paulo**. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em: 9 jun. 2021.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais Climatologias da cidade de São Paulo**. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em: 9 jun. 2021.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Geneva, Switzerland. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar4/syr/>. 2007.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Geneva, Switzerland. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>. 2014.

IPCC. **Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas 2020**. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/index.htm>. Acesso em: 8 jun. 2021.

KHAMBADKONE, N. K.; JAIN, R. A bioclimatic analysis tool for investigation of the potential of passive cooling and heating strategies in a composite Indian climate. **Building and Environment**, v.123, p. 469-493, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.07.023>

KISHORE, N. Impact of climate change on future bioclimatic potential and residential building thermal and energy future performance in India. **Indoor and Build**

- Environment**, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1177/1420326X21993919>. Acesso em: 05 de setembro de 2021.
- KOSIR, M. Climate Adaptability of Buildings: Bioclimatic Design in the Light of Climate Change. **Springer International Publishing**, 2019. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-18456-8>. Acesso em: 05 de setembro de 2021.
- LABEEE- **laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Programa Computacional AnalysisBIO**, Versão: 2.1.5. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2010. Acesso em: 05 de setembro de 2021.
- MACIEL, A. A; FORD, B; LAMBERTS, R. Main Influences on the design philosophy and knowledge basis to bioclimatic integration into architecture design – The example of best practices. **Building and Environmental**, v. 42, p. 3762-3773. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.07.041>
- MACIEL, A.; A. **Projeto Bioclimático em Brasília: Estudo de caso em edifícios de escritórios**. Dissertação (mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.
- MONTERDE, M. A; LOZANO, G. V; GUILLAMÓN, G, I. Sustainable building strategies on regional scale: proposal for the Valencian region in Spain. **Indoor and Built Environment**, v. 25, p. 1054-1064. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1177/1420326X16659327>
- OLGYAY, V. **Design with climate**. Princeton University Press, New Jersey, USA, 1963.
- OMER, A.; M. Energy, environment and sustainable development. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 12, p.2265-2300, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2007.05.001>
- PAJEK, L.; KOSIR, M. Implications of present and upcoming changes in bioclimatic potential for energy performance of residential buildings. **Build Environmental**, v. 127, p. 157-17, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.10.040>
- PAJEK, L.; KOSIR, M. Strategy for achieving long-term energy efficiency of European single-family buildings through passive climate adaptation. **Applied Energy**, v. 297, p. 117116, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117116>
- PAJEK, L; KOSIR, M. Can building energy performance be predicted by a bioclimatic potential analysis? Case study of the Alpine-Adriatic region. **Energy and Buildings**, v. 139, p. 160-173. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.01.035>
- PEEL, M. C; FINLAYSON, B. L; MCMAHON T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences Discussions**, European Geosciences Union, v. 11, p.1633-1644, 2007. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>
- RIBEIRO, B.; R. **Estratégias bioclimáticas para projeto de edificações com base em dados meteorológicos entre 1960 e 2018 para capitais da região Sul do Brasil**. Dissertação (mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2019.

- RODRIGUEZ, M.; V.; CORDERO, A.; S.; MELGAR, G.; S.; MARQUEZ, J.; M.; A. Impact of Global Warming in Subtropical Climate Buildings: Future Trends and Mitigation Strategies. **Energies**, v. 13, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/en13236188>
- ROUAULT, F.; OSSIO, F.; GONZALEZ-LEVIN, P.; MEZA, F. Impact of climate change on the energy needs of houses in Chile. **Sustainability**, v. 11, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11247068>
- ROUX, C.; SCHALBART, P.; ASSOUMOU, E.; PEUPOORTIER, B. Integrating climate change and energy mix scenarios in LCA of buildings and districts. **Appl. Energy**. v.184, p.619–629, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2016.10.043>.
- RUBIO-BELLIDO, C; PULIDO-ARCAS, J. A; CABEZA-LAINEZ, J. M. Adaptation strategies and resilience to climate change of historic dwellings. **Sustainability**, v. 7, p. 3695-3713. 2015. DOI: <https://doi.org/10.3390/su7043695>
- SERRA, R. **Clima, Lugar y Arquitectura. Manual de Diseño Bioclimático. Centro de Investigaciones Energéticas (CIEMAT)**. Madrid, 1989.
- SKARBIT, N.; ÁCS, F.; BREUER, H. The climate of the European region during the 20th and 21st centuries according to Feddema. **Int J Climatol**, v. 38, p. 2435-2448, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/joc.5346>
- STAVRAKAKIS, G.; M.; TZANAKI, E.; GEENETZAKI, V.; I.; ANAGNOSTAKIS, G.; GALETAKIS, G.; GRIGORAKIS, E. A computational methodology for effective bioclimatic-design applications in the urban environment. **Sustainable Cities and Society**, v. 4, p. 41-57, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2012.05.002>
- SZOKOLAY, S.; V. **Introduction to architectural science: the basis of sustainable design. Third edition**. London; New York, NY: Routledge; 2014.
- TEJERO-GONZÁLEZ, A.; ANDRÉS-CHICOTE, M.; GARCÍA-IBÁÑEZ, P.; VELASCO-GOMEZ, E.; REY-MARTINEZ, F.; J. Assessing the applicability of passive cooling and heating techniques through climate factors: An overview. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 64, p. 727-742, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.06.077>
- THOMÉ, C. **Escola Pública Bioclimática Modular Infantil**. Trabalho de Conclusão de Curso. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade do Sul de Santa Catarina (UNISUL). Tubarão, 2006
- TRIANA, M.; A.; LAMBERTS, R.; SASSI, P. Should we consider climate change for Brazilian social housing? Assessment of energy efficiency adaptation measures. **Energy and Buildings**, v. 158, p. 1379-1392, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2017.11.003>
- WADDICOR, D. A.; FUENTES, E.; SISÓ, L.; SALOM, J.; FAVRE, B.; JIMÉNEZ, C.; AZAR, M. Climate change and building ageing impact on building energy performance and mitigation measures application: A case study in Turin, northern Italy. **Build. Environ**, v.102, p.13-25, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2016.03.003>.
- YILDIZ, B; EART, S; ALPKAN, L; YILDIZ, H; SEZEN, B. Drives of innovate constructive deviance: A moderated mediation analysis. **Procedia – Social and Behavioral**

Sciences, v. 195, p. 1407-1416. 2015. DOI:
<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.06.436>

WANG, S; LIU, Y; CAO, Q; LI, H; YU, Y; YANG, Y. Applicability of passive design strategies in China promoted under global warming in past half century. **Building and Environment**, v. 195, p. 107777, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107777>

PÉREZ-ANDREU, V; APARICIO-FERNÁNDEZ, C; MARTÍNEZ-ILBERNÓN, A; VIVACONS. Impact of climate change on heating and cooling energy demand in a residential building in a Mediterranean climate. **Energy**, v. 165, p. 63–74, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ENERGY.2018.09.015>

RAÑESES, M; CHANG-RICHARDS, A; WANG, K; DIRKS, K. **Housing for now and the future: A systematic review of climate-adaptive measures**. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13126744>.