



Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais
Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

POTENCIAL BIOCLIMÁTICO EM PROJEÇÕES DE CLIMAS FUTUROS: ESTUDO DE CASO PARA FLORIANÓPOLIS-SC¹

GUARDA, Emeli Lalesca Aparecida da Guarda (1); KRAMER, Daniela (2); MIZGIER, Martin Ordenes (3)

- (1) Universidade Federal de Santa Catarina, emeliguardaa@gmail.com
(2) Universidade Federal de Santa Catarina, dani-kramer@hotmail.com
(3) Universidade Federal de Santa Catarina, martin.ordenes@ufsc.br

RESUMO

Pesquisas recentes dedicam-se a analisar as mudanças climáticas e os aumentos progressivos da temperatura terrestre. Embora esse fato encontre opositores, para a realização deste estudo, toma-se que as mudanças climáticas são um desafio global para o século XXI. Assim, este trabalho tem como objetivo analisar o potencial bioclimático da cidade de Florianópolis, considerando as estratégias bioclimáticas de projeto, os efeitos das mudanças climáticas e a prospecção do clima. Os procedimentos metodológicos consistem em elaboração dos cenários climáticos futuros e elaboração do potencial bioclimático por meio de cartas psicométricas para o cenário base (TMY) e futuros (2020, 2050 e 2080). Os resultados evidenciam aumento na temperatura do ar em 3,59°C e redução da umidade relativa do ar em 1,59%, em 2080, ambos em relação ao cenário base. As estratégias mais suscetíveis aos efeitos das mudanças climáticas é o condicionamento de ar, sendo que no cenário base é requerido 2% das horas, aumentando para 14% em 2080 das horas anuais. Assim, incorporando os efeitos das mudanças climáticas, as condições atuais ficam ainda mais comprometidas, exigindo, cada vez mais, a aplicação de estratégias ativas de projeto para possibilitar melhores condições de conforto no interior das edificações.

Palavras-chave: Mudanças Climáticas. Estratégias Bioclimáticas. Arquitetura Bioclimática.

ABSTRACT

Recent research is devoted to analyzing climate change and progressive increases in terrestrial temperature. Although this fact finds opponents, for the realization of this study, it is assumed that climate change is a global challenge for the 21st century. Thus, this work aims to analyze the bioclimatic potential of the city of Florianópolis, considering the project's bioclimatic strategies, the effects of climate change, and the prospecting of the climate. The methodological procedures consist of the elaboration of future climate scenarios and the elaboration of bioclimatic potential through psychometric charts for the base (TMY) and future (2020, 2050, and 2080) scenarios. The results show an increase in air temperature of 3.59°C and a reduction in relative humidity of 1.59% in 2080, both concerning the base scenario. The strategies most susceptible to the effects of climate change are air conditioning, with 2% of the hours being required in the base scenario, increasing to 14% in 2080 of the annual hours. Thus, incorporating the effects of climate change, current conditions are even more compromised,

¹ GUARDA, Emeli Lalesca Aparecida da Guarda, KRAMER, Daniela, MIZGIER, Martin Ordenes. Potencial Bioclimático em Projeções de Climas Futuros: Estudo de Caso para Florianópolis-SC. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2020.

requiring, increasingly, the application of active design strategies to enable better conditions of comfort inside the buildings.

Keywords: *Climate Change. Bioclimatic Strategies. Bioclimatic Architecture.*

1 INTRODUÇÃO

Pesquisas recentes dedicam-se a analisar as mudanças climáticas ocorridas na superfície terrestre ao longo dos anos (MARENGO e SOARES, 2005; NOBRE, SAMPAIO e SALAZAR, 2007). Tais transformações devem-se tanto a ações antrópicas quanto a fenômenos naturais (IPCC, 2014), e seu estudo é essencial para entender e prever possíveis cenários atuais e futuros. Uma das principais mudanças refere-se ao aumento progressivo da temperatura da superfície terrestre. Segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), o aquecimento global trata-se do aumento combinado das temperaturas do ar e da água, por todo o mundo, inicialmente em um período de trinta anos após a Revolução Industrial (IPCC, 2014). Utiliza-se este evento, ocorrido em 1850, para demarcar o início de uma influência muito maior das atividades humanas nas variáveis climáticas e ambientais do que se observava até então.

O IPCC é o principal órgão responsável por reunir conhecimento científico acerca das alterações climáticas, publicando relatórios que trazem dados referentes aos impactos da liberação de Gases de Efeito Estufa (GEE) pelas atividades antropogênicas, que contribuem para a aceleração do aquecimento global. Segundo o AR5, relatório mais recente, a influência humana tem sido a principal causa desse aquecimento desde meados do século XX (IPCC, 2014). Mesmo que as emissões de GEE por si só não sejam capazes de alterar a temperatura terrestre nas próximas duas ou três décadas em mais de 0,5°C (IPCC, 2014), é possível afirmar que muitos ecossistemas já sofreram mudanças devido ao aquecimento global, e que, se mantidos os níveis de emissão, haverá um progressivo aumento do nível dos oceanos, e na potencial aumento das temperaturas, afetando diretamente as chuvas e períodos de seca, e, conseqüentemente, a qualidade da vida humana. Nesse sentido, observam-se dois fatores cruciais: a importância da adequação das atividades humanas para reduzir os impactos ao meio ambiente, e a necessidade de adaptação da vida humana para esses cenários potencialmente extremos.

Neste contexto, temos a habitação, que como necessidade humana básica, relaciona-se com o fenômeno do aquecimento global de pelo menos duas maneiras: na atividade da construção civil, os quais são gerados impactos ambientais diretamente relacionados com a emissão de GEE: apesar de sua importância no desenvolvimento social e econômico do país, é responsável por grande parcela dos impactos ao meio ambiente (FARIA e SCHMID, 2015), utilizando cerca de 60% das matérias primas disponíveis no planeta (CAMPOS, 2012), e 40% do total de energia produzida (INGRAO et al., 2016).

Por outro lado, há uma crescente necessidade de adaptar as construções humanas para que se tornem resistentes e adaptativas às mudanças climáticas. Este artigo concentra-se em estudar maneiras para permitir aos edifícios que possuam tais características. Sabe-se que as condições climáticas nas quais os edifícios estão inseridos interferem diretamente na sua eficiência termoenergética (DE WILDE, COLEY, 2012) e que novas condições climáticas influenciam e impõem novos impactos aos edifícios e aos usuários (TRIANA, LAMBERTS e SASSI, 2018). Assim, percebe-se que as mudanças climáticas podem e devem gerar uma reflexão sobre

a maneira que se constrói, sendo necessárias mudanças, tanto na construção, quanto no processo de projeto para tornar as construções futuras mais adequadas.

Nesse contexto, surge o termo potencial bioclimático, que forma geral, pode ser considerado como a interação do edifício com o lugar em que se insere (GUARDA, 2019 e PAJEK e KOSIR, 2017). Para melhorar esta interação, existem estratégias relacionadas ao conforto ambiental e ao desempenho termoenergético de uma edificação. Estas estratégias podem ser aplicadas de forma ativa ou passiva, ou seja, incluindo ou não gasto energético. Dá-se maior visibilidade para estratégias passivas, que são capazes de adaptar a arquitetura ao clima ao qual está inserida, sem demandar de fontes energéticas para tal.

Segundo a Norma Brasileira de Desempenho de Edificações (NBR 15575, 2013), a vida útil de uma edificação deve ser de 50 anos. Assim, percebe-se que as edificações construídas atualmente, possivelmente já estarão sujeitas a efeitos práticos do aquecimento global, sendo necessário prever adaptações para que esta vida útil seja atingida. Por fim, considerando as concepções apresentadas, esta pesquisa tem como objetivo analisar o potencial bioclimático da cidade de Florianópolis-SC, cujo o clima é mesotérmico úmido (GOULART, 1993). Considerando estratégias bioclimáticas de projeto, os efeitos das mudanças climáticas e a prospecção do clima.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Elaboração dos Arquivos Climáticos Futuros

Para a elaboração dos cenários climáticos futuros, toma-se como referência a metodologia “morphing” publicada por Belcher, Haker e Powell (2005) para a elaboração de arquivos climáticos futuros. Essa metodologia modifica um conjunto de variáveis climáticas históricas (1961-1990) de 8.760 horas anuais, sem a influência dos impactos da urbanização e incorpora os efeitos do aquecimento global nos arquivos climáticos, permitindo a projeção do clima.

Para esta pesquisa, utilizou como série histórica o Typical Meteorological Year (TMY) da cidade de Florianópolis-SC, obtido do banco de dados “Climate. OneBuilding.Org”. Para o processo de projeção do clima, utilizou-se a ferramenta CCWorldWeatherGen desenvolvida por Jenstch, Bahaj e James (2008), com integração do Modelo de Circulação Global “Hadley Centre Coupled Model version3” (HadCM3) e considerando o cenário de emissões A2 do Quarto Relatório do IPCC, para os time-slice 2020 (período de 2011-2040), 2050 (período de 2041-2070) e 2080 (período de 2071-2100).

2.2 Elaboração do Potencial Bioclimático por meio das Cartas Bioclimáticas de Givoni (1992)

Considerando-se a estreita relação entre o uso de estratégias passivas de projeto e as condições de conforto térmico obtidas no interior das edificações que as adotam, buscou-se quantificar os impactos das alterações climáticas no potencial bioclimático por meio das cartas bioclimáticas de Givoni (1992), utilizando-se o software Analysis BIO (LABEEE, 2010). Este programa trabalha com 12 estratégias separadas por 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 e umidificação. A plotagem dos dados na carta bioclimática ocorre por meio de arquivos climáticos, o qual necessita ser convertido para um arquivo de planilha eletrônica separado por vírgula, constituído de variáveis climatológicas específicas, em um arquivo com extensão .csv, ao partir do qual o mesmo se torna passível de ser lido pelo Analysis BIO.

De acordo com Carlo, Pereira e Lamberts (2005), o arquivo no formato .csv deve ter o cabeçalho padrão contendo as variáveis na seguinte ordem: Mês, Dia, Hora, TBS (°C), TBU (°C), Ponto de Orvalho(°C), Pressão Atmosférica (Pa), Umidade (Kg/Kg), Umidade Relativa (%), Entalpia (BTU/Lb), Velocidade do Vento (m/s), Cobertura Total de Nuvens (Decimais), Radiação Horizontal Extraterrestre (Wh/m²), Radiação Global Horizontal (Wh/m²), Radiação Direta (Wh/m²), Radiação Direta Normal (Wh/m²) e Radiação Difusa Horizontal (Wh/m²). O arquivo climático utilizado não é compatível com o arquivo .csv, sendo necessário calcular as variáveis umidade relativa (em %) e entalpia (em BTU/Lb), conforme Guarda, Durante e Callejas (2018) e Guarda et al. (2019).

Desta maneira, procedeu-se para os arquivos climático base e as projeções de 2020, 2050 e 2080 para a cidade de Florianópolis. Os resultados consistiram no cômputo das porcentagens de horas anuais de conforto e desconforto por calor e frio e estratégias de maior ocorrência.

3 RESULTADOS

3.1 Arquivos Climáticos Futuros

A temperatura média anual no cenário base é de 21,06°C, passando para médias de 21,87°C (+0,81°C) em 2020, de 23,05 (+1,99°C) em 2050 e de 24,65°C (+3,59°C) em 2080. A umidade relativa do ar média anual no cenário base é de 82,08%, de 81,56% (-0,51%) em 2020, de 80,91% (-1,17%) em 2050 e de 80,48% (-1,59%) em 2080. O aumento na temperatura média do ar também foi observado por Triana, Lamberts e Sassi (2018), nas cidades de São Paulo e Salvador, para os cenários de 2050, utilizando metodologia utilizada nesta pesquisa. Os autores obtiveram aumento das temperaturas médias do ar em 3°C, para ambas as cidades, principalmente entre os meses de setembro e outubro.

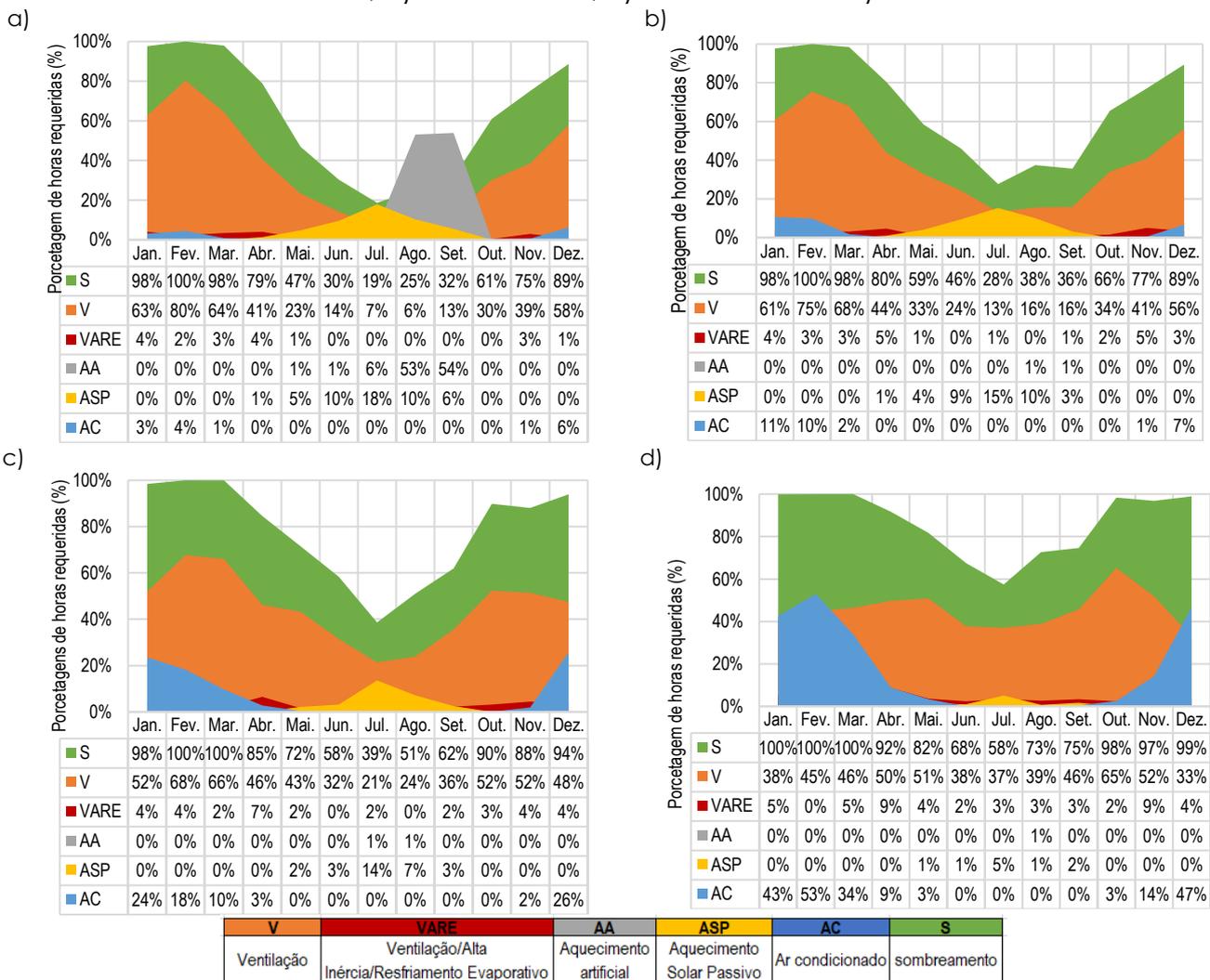
3.2 Potencial Bioclimático do Cenário Base e dos Cenários Futuros (2020, 2050 e 2080)

As estratégias que obtiveram maior número de horas anuais nos cenários foram ventilação, ventilação/alta inércia/ resfriamento evaporativo, aquecimento artificial, aquecimento solar passivo, ar condicionado e sombreamento, resultando assim, no potencial bioclimático. A estratégia de ventilação em média anual é requerida em 37% no cenário base, 40% em 2020 e de 45% em 2050 e 2080. Analisando anualmente a estratégia apresenta potencial de aumento das horas requeridas, no entanto mensalmente, observa-se redução nos meses mais quentes como de dezembro a março e aumento nos meses mais frios como de junho a agosto. Este fato se dá pelo aumento gradual das temperaturas externas entre os cenários estudados, apresentando média anual de 24,65°C aumentando cerca de 3,59°C em 2080 em relação ao cenário base. Neste contexto, no mês de agosto, são requeridas 6% no cenário base, aumentando em 83% no cenário de 2080 e, no mês de fevereiro, no

cenário base as horas requeridas são de 80%, reduzindo cerca de 79% em 2080 (Figura 1).

As horas requeridas da estratégia de ventilação/alta inércia/resfriamento evaporativo, não apresentam aumentos relevantes ao decorrer dos cenários, sendo no cenário base e 2020 de 2% das horas em média anual, em 2050 de 3% e em 2080 de 4%. Nos climas futuros, a estratégia de aquecimento artificial não é requerida, chegando a 0% nos cenários de 2020, 2050 e 2080 e, a estratégia de aquecimento solar passivo apresenta valores de 4% das horas requeridas no cenário de 2020, reduzindo para 2% no cenário de 2050 e de 1% no cenário de 2080. Assim observa-se que as estratégias de aquecimento nas habitações estão reduzindo conforme as projeções climáticas (Figura 1).

Figura 1 – Panorama evolutivo das horas requeridas de estratégia de projeto: a) cenário base; b) cenário 2020; c) cenário 2050 e d) cenário 2080



Fonte: Os Autores

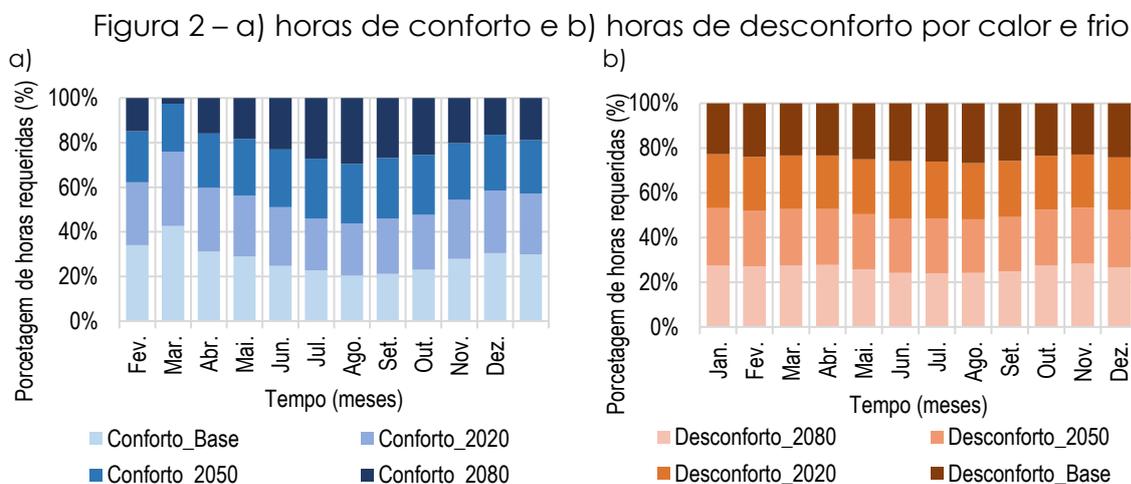
Neste contexto, com o aumento das temperaturas externas e redução das estratégias de aquecimento, observa-se que a estratégia ativa de condicionamento de ar aumenta gradualmente ao decorrer das projeções climáticas. No cenário base e em 2020 esta estratégia é requerida em média anual em 2% das horas, passando para 7% em 2050 e para 17% em 2080, aumentando cerca de 64% e de 86% nos cenários de 2050 e 2080, respectivamente, em relação ao cenário base. Destaque-

se que os meses de fevereiro e dezembro apresentaram maiores horas no cenário base, sendo de 10% e 7%, aumentando para 43% e 57% em 2080, respectivamente (Figura 1). Por fim, a estratégia de sombreamento já apresenta valores médios anuais relativamente significativos, sendo de 68% das horas no cenário base e, no mês de janeiro a março, esta estratégia é superior a 95% das horas para o mesmo cenário. Aplicando as projeções de clima futuro, está estratégia aumenta para 78% em 2050 e 87% em 2080 em média anual, e os meses de janeiro a março apresenta 100% das horas de sombreamento em 2080, ou seja, o ano todo a estratégia é requerida (Figura 1).

Diante deste contexto, verifica-se baixo potencial para estratégias passivas de projeto para a cidade de Florianópolis no cenários de aquecimento global e, somente as estratégias de condicionamento de ar e sombreamento são mais requeridas, o que pode comprometer a adoção de estratégias passivas de projeto e, conseqüentemente, aumenta-se o uso de recursos ativos, para melhorar as condições térmicas no interior das habitações.

3.3 Horas de Conforto e Desconforto Cenário Base e dos Cenários Futuros (2020, 2050 e 2080)

As porcentagens de horas de conforto são de 27% no cenário base, reduzindo para 26% em 2020 e 2050 e para 21% em 2080. Destaca-se que no mês de fevereiro as porcentagens de horas são de 12% no cenário base e reduzem para 10% em 2020, 6% em 2050, chegando a 1% em 2080, apresentando significativa redução das horas de conforto. O mês de outubro apresenta maior porcentagem de horas de conforto no cenário base, sendo de 39%, no entanto, reduz para 28% no cenário de 2080 (Figura 2).



Fonte: Os Autores

No cenário base e 2020, as médias anuais das horas de desconforto por calor e frio são de 73%, aumentando para 74% em 2050 e 78% em 2080. Nos meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março, que são os caracterizados como mais quentes da região de estudo, observa-se aumento significativo no decorrer dos cenários, sendo no cenário base de 77%, de 73%, de 88% e de 72%, passando para 85%, 88%, 99% e 85%, ou seja, aumento médio em torno de +15% nas horas de desconforto por calor e frio. Analisando separadamente desconforto por calor e frio, observa-se que no cenário base são de 40% e de 33% das horas. Por calor as porcentagens de horas aumentam para 45% em 2020, para 55% em 2050 e para 67% em 2080 e por frio as porcentagens

de horas reduzem para 28%, 19% e 11%, respectivamente (Figura 2). Portanto, esses valores podem ser justificados pelo aumento da temperatura do ar e pela redução da umidade relativa do ar, previstas nas projeções de climas futuros, influenciando significativamente nas porcentagens de desconforto por calor.

4 CONCLUSÃO

Os efeitos das mudanças climáticas impõem alterações nas variáveis climatológicas, como aumento da temperatura do ar e a redução da umidade relativa do ar. Desta maneira, nas investigações do potencial bioclimático foi possível analisar as estratégias passivas e as porcentagens de conforto e desconforto por frio e calor para a cidade de Florianópolis-SC. As estratégias mais suscetíveis aos efeitos do aquecimento global foram ventilação, aquecimento e ar condicionado. A estratégia de condicionamento de ar apresentou aumento significativo de 2% no cenário base para 14% em 2080 das horas anuais. O aumento dessa estratégia pode ser justificado pelas novas condições de temperatura e umidade que exigem o uso do condicionamento para proporcionar melhores condições térmicas no interior das edificações.

Nas porcentagens de horas para conforto e desconforto por calor e frio, reflete-se o aumento das temperaturas externas, com redução das porcentagens das horas de conforto e aumento de desconforto por calor, apresentando aumento em torno de 40% em 2080, em relação ao cenário base.

Conclui-se que, incorporando os efeitos das mudanças climáticas, as condições atuais ficam ainda mais comprometidas, exigindo, cada vez mais, a aplicação de estratégias ativas de projeto para possibilitar melhores condições de conforto no interior das edificações. Aponta-se então para estudos de estratégias passivas de projeto em habitações para as próximas décadas, com o intuito de mitigar os efeitos do fenômeno no aquecimento global, principalmente nas condições internas das habitações.

AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório de Conforto Ambiental (LabCon). Ao Programa Institucional de Iniciação Científica e Tecnológica da Universidade Federal de Santa Catarina, pela concessão de bolsa de PIBIC.

REFERÊNCIAS

- ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15575: Edificações habitacionais — Desempenho**. Rio de Janeiro, 2013
- BELCHER, S. E; HACKER, J. N; POWELL, D. S. **Constructing desing weather data for future climates**. Building Services Engineering Research and Technology, v. 26, p. 49-61. 2005.
- CAMPOS, P. A. M. **Cimento de baixo impacto ambiental produzido com resíduos industriais e de mineração**. Monografia, f.64 (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2012.
- CARLO, J; PEREIRA, F; LAMBERTS, R. **Iluminação Natural para Redução do Consumo de Energia de Edificações de Escritório aplicando Propostas de Eficiência Energética para o Código de Obras do Recife**. In: Conferência Latino Americana de construção sustentável, encontro nacional de tecnologia no ambiente construído. Londrina. Anais... Porto Alegre 2006.

DE WILDE P; COLEY D. **The implications of a changing climate for buildings**. Build Environment, v.55, n.1-7, 2012.

FARIA, F. C; SCHMID, A. L. **Avaliação do Comportamento de tintas naturais para construção civil frente ao intemperismo através de ensaio de envelhecimento acelerado**. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. Anais...2015.

GIVONI, B. **Comfort climate analysis and buildings design guidelines**. Energy and Buildings, v.18, n.1, p-11-23, 1992.

GOULART, S. V. G. **Dados Climáticos para avaliação de desempenho térmico em edificações em Florianópolis**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1993.

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.

GUARDA, E. L. A; DURANTE, L. C; CALLEJAS, I. J. A; ROSSETI, K. A. C; SANTOS, F. M. M; MIZGIER, M. O. **Potencial bioclimático em cenários de aquecimento global: estudo de caso para clima tropical continental**. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. 2019.

INGRAO, C; SCRUCICA, F; TRICASE, C; ASDRUBALI, F. **A comparative Life Cycle Assessment of external wall-compositions for cleaner construction solutions in buildings**. Journal Of Cleaner Production, v. 124, p. 283-298. Elsevier BV, 2016.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **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, 2007.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **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, 2014.

JENTSCH, M. F; JAMES, P. A. B; BOURIKAS, L; BAHAJ, A. S. **Transforming existing weather data for worldwide locations to enable energy and building performance simulation under future climates**. Renewable Energy, v. 55, p. 541-524. 2013.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES (LABEEE). **Programa Computacional Analysis Bio, Versão: 2.1.5**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2010.

MARENGO, J. A; SOARES, W. R. **Impacto das mudanças climáticas no Brasil e possíveis cenários climáticos: síntese do terceiro relatório do IPCC de 2001**. CPTECINPE, p. 29, 2005.

NOBRE, C. A; SAMPAIO, G; SALAZAR, L. **Mudanças climáticas e Amazônia**. Cienc. Cult., São Paulo, v. 59, n. 3, p. 22-27, Sept. 2007.

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.

SOARES, W. R. **Impacto das mudanças climáticas no Brasil e possíveis cenários climáticos: síntese do terceiro relatório do IPCC de 2001**. CPTECINPE, p. 29, 2005.

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.