

# **IMPACTOS DO AQUECIMENTO GLOBAL NA ESTIMATIVA DE CARGA TÉRMICA DE CLIMATIZAÇÃO**

Saulo Covatti Cici da Silva; Tainá Ribeiro da Silva; Ana Caroline Teixeira; Vinicius da Rosa Pepe (Dr.)

## **RESUMO**

A climatização é uma forma artificial de controlar o clima ambiental das edificações, de forma a manter o bem-estar e conforto dos usuários. Sua abordagem moderna data do início do século XIX e a sua popularização e expansão, como quesito de conforto térmico em empreendimentos comerciais e residências, ocorrem aproximadamente nos anos 1950. A estimativa de carga térmica através de suas inúmeras abordagens é uma forma que busca quantificar a demanda energética necessária aos equipamentos de climatização atuantes no respectivo sistema em que opera. Com as mudanças climáticas, motivo que assola o planeta, de forma mais contundente desde a revolução industrial, reavaliar os parâmetros de projetos aplicados aos balanços de energia se tornam essenciais, visto que as normas e os códigos de projeto não conseguem acompanhar a velocidade das mudanças climáticas a nível local. Neste estudo, se percebe uma divergência de 17,30% em um importante parâmetro de projeto, o que salienta a importância e a relevância do constante monitoramento climático local para o dimensionamento de sistemas de climatização aplicados aos ambientes internos, bem como a disponibilidade facilitada dos dados monitorados.

**PALAVRAS-CHAVE:** Climatização, Carga Térmica, Parâmetros Climáticos.

## **INTRODUÇÃO**

A climatização tem um importante papel na sociedade atual, seja quanto ao conforto térmico ou na manutenção da qualidade do ar. Com as constantes mudanças climáticas, se torna fundamental acompanhar os dados termoenergéticos das edificações na tentativa de ampliar-se a operabilidade entre a demanda requerida e as capacidades dos sistemas instalados (ASHRAE, 2019).

O cálculo da carga térmica engloba as variáveis climáticas, variáveis humanas e variáveis arquitetônicas. A estimativa da carga térmica ocorre através do cálculo da ação da condução, convecção e radiação de uma superfície para outra em ambiente específico, assim como o equilíbrio da ventilação do ar deste local. (Silva, 2019).

A carga térmica do ambiente é o principal fator que determina as diretrizes do desenvolvimento de um projeto de climatização. A carga térmica é a quantidade de calor sensível e latente que deve ser retirada ou adicionada em um ambiente, a fim de proporcionar as condições de temperatura e umidade desejadas (Creder, 2010).

Em um projeto de engenharia, com a definição da carga térmica, é possível estimar a capacidade necessária de refrigeração, determinar os equipamentos a serem utilizados para a climatização, seja para conforto térmico ou processo. As

metodologias de estimativa e cálculo da carga térmica são complexas e usualmente apoiadas em normas e recomendações como a NBR 15220 e NBR 16401. Internacionalmente a norma ASHRAE 55 se destaca para a aplicação da avaliação do conforto térmico em ambientes internos de ocupação humana.

Os fatores físicos como a qualidade do ar interior, a ventilação, o conforto térmico, a iluminação, principalmente, através da luz natural, o ruído e acústica, o *layout* do ambiente de trabalho e os elementos que promovem o bem-estar são elencados como os principais fatores que influenciam o conforto, a satisfação e a produtividade dos ocupantes em ambientes internos (ASHRAE, 2020). Em consonância com os quesitos de conforto ambiental, os quesitos térmicos associados a climatização se destacam, a temperatura do ar, a temperatura radiante, a umidade do ar, a velocidade e movimento do ar, o calor metabólico e o calor retido junto ao corpo, devido ao vestuário como os parâmetros básicos ou fundamentais associados ao conforto térmico (Parsons, 2003).

O estudo do conforto térmico baseia-se no equilíbrio térmico entre o corpo humano e o ambiente ao redor, levando em consideração o espaço construído e as diversas variáveis físicas que influenciam essa relação. Além do ambiente interno que circunvizinham diretamente aos usuários do ambiente climatizado, o ambiente externo que envolve a edificação também influencia diretamente no conforto térmico.

É perceptível que as mudanças climáticas, as quais vem ocorrendo ao longo dos últimos anos, somam-se aos inúmeros desafios que impulsionam as buscas por soluções sustentáveis para a humanidade não colapsar. O aumento na temperatura global associado com as emissões de gases do efeito estufa podem ser verificadas com auxílio dos dados globais do *Climate Analysis Indicators Tool* (CAIT), informações disponíveis no *Copernicus*, programa de observação da Terra da União Europeia e *POWER Data Access Viewer* da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA). A temperatura média do planeta é crítica, pois a tendência de elevação acentuada é percebida como consequência dos efeitos da era industrial.

Assim como mencionado, se compreende que os códigos e as referências técnicas utilizadas em engenharia, para a estimativa de carga térmica seguem incoerentes com a realidade climática, o que torna quesito de investigação em constante acompanhamento.

O presente estudo buscou avaliar a variação dos parâmetros climáticos que influenciam a estimativa de carga térmica de climatização no contexto histórico das mudanças climáticas, tema atual e relevante, buscando reunir, através dos esforços científicos em engenharia, os possíveis impactos de médio e de longo prazo da aplicação das normas e dos códigos que estão na vanguarda das aplicações do conforto térmico e climatização de ambientes.

## MÉTODO

Como procedimento metodológico foi utilizado a pesquisa bibliográfica, através da revisão sistemática da literatura e de artigos científicos nas bases de dados, Portal de Periódicos da CAPES, SCieLO, Scopus e Google Acadêmico, bem como o fichamento e a análise dos resultados obtidos. O critério de seleção das obras foi a busca ativa dos trabalhos publicados em periódicos, utilizando as palavras chaves: carga térmica; climatização; qualidade do ar interior;

aquecimento global; thermal load; air conditioning; indoor air quality; global warming.

Além da busca nas bases de dados científicos, se fez necessária a busca de dados climáticos em bases de dados específicos como no Atlas Climático do Rio Grande do Sul e *POWER Data Access Viewer* da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), utilizando a latitude 29,994S e longitude 51,171W. Estas coordenadas localizam com exatidão o aeroporto Salgado Filho, na cidade de Porto Alegre – RS local onde se encontra a estação meteorológica oficial do município. Os dados de referência expressos na NBR 16401-1:2024 também possuem o mesmo ponto geográfico.

O período de extração e de tratamento estatístico de dados compreendeu os anos de janeiro de 1981 até outubro de 2025, onde foram gerados para uma frequência mensal e anual, bem como processados, estatisticamente, para expressarem os parâmetros climáticos reais da localidade como a temperatura de bulbo seco, a temperatura de bulbo úmido, a umidade absoluta do ar, a umidade relativa e a velocidade do vento a 10 metros.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

As normas de códigos brasileiras pouco evoluíram ao longo do tempo. Ao avaliar os parâmetros de referência que constam na NBR 16401-1:2024, observa-se que, entre a versão de 1980 e a atualização mais recente de 2024, ocorreram pequenas variações dos parâmetros climáticos para a cidade de Porto Alegre. A tabela 1 mostra os principais parâmetros climáticos disponibilizados no código de projeto nacional.

**Tabela 1** – Evolução dos dados climáticos nos códigos de projeto nacional

| Parâmetro                  |                    | 1980     | 1998     | 2024       |
|----------------------------|--------------------|----------|----------|------------|
| Temperatura de bulbo seco  | TBS <sub>MÁX</sub> | 34,00 °C | 34,80 °C | 34,90 °C   |
|                            | TBS <sub>MIN</sub> | 8,00 °C  | 4,00 °C  | 3,90 °C    |
| Temperatura de bulbo úmido | TBU <sub>MÁX</sub> | 26,00 °C | ---      | 26,40 °C   |
| Umidade absoluta           | W <sub>MÉD</sub>   | ---      | ---      | 20,20 g/kg |
|                            | W <sub>MIN</sub>   | ---      | ---      | 4,10 g/kg  |
| Velocidade do vento        | V <sub>máx</sub>   | ---      | ---      | 3,60 m/s   |

É perceptível que, com o passar dos anos, novos parâmetros foram adicionados ao rol de informações preliminares utilizadas como referência pelos projetistas de climatização. Importa referir que, com a atualização das normas houve um ajuste de variação de 0,90 °C na temperatura de bulbo seco máxima, 4,10 °C na temperatura de bulbo seco mínima e 0,40 °C na temperatura de bulbo úmido máxima. Aparentemente, tais variações disponibilizadas nas atualizações realizadas ao longo de 44 anos, estão desconectadas em módulo com as atuais variações da mudança climática global. A variação histórica representa um incremento de 2,57%, a qual impacta na mesma proporção a estimativa de calor transmitido, através de superfícies opacas, conforme a lei de Fourier.

Seguindo a evolução dos parâmetros climáticos que impactam diretamente a estimativa de carga térmica de edificações, a figura 1 apresenta os dados disponíveis no *POWER Data Access Viewer*, tratados estatisticamente para demonstrar tendência de evolução por meio de uma regressão polinomial de

terceira ordem, a qual melhor ajusta os dados expressando a maior proporção possível da variabilidade da variável dependente.

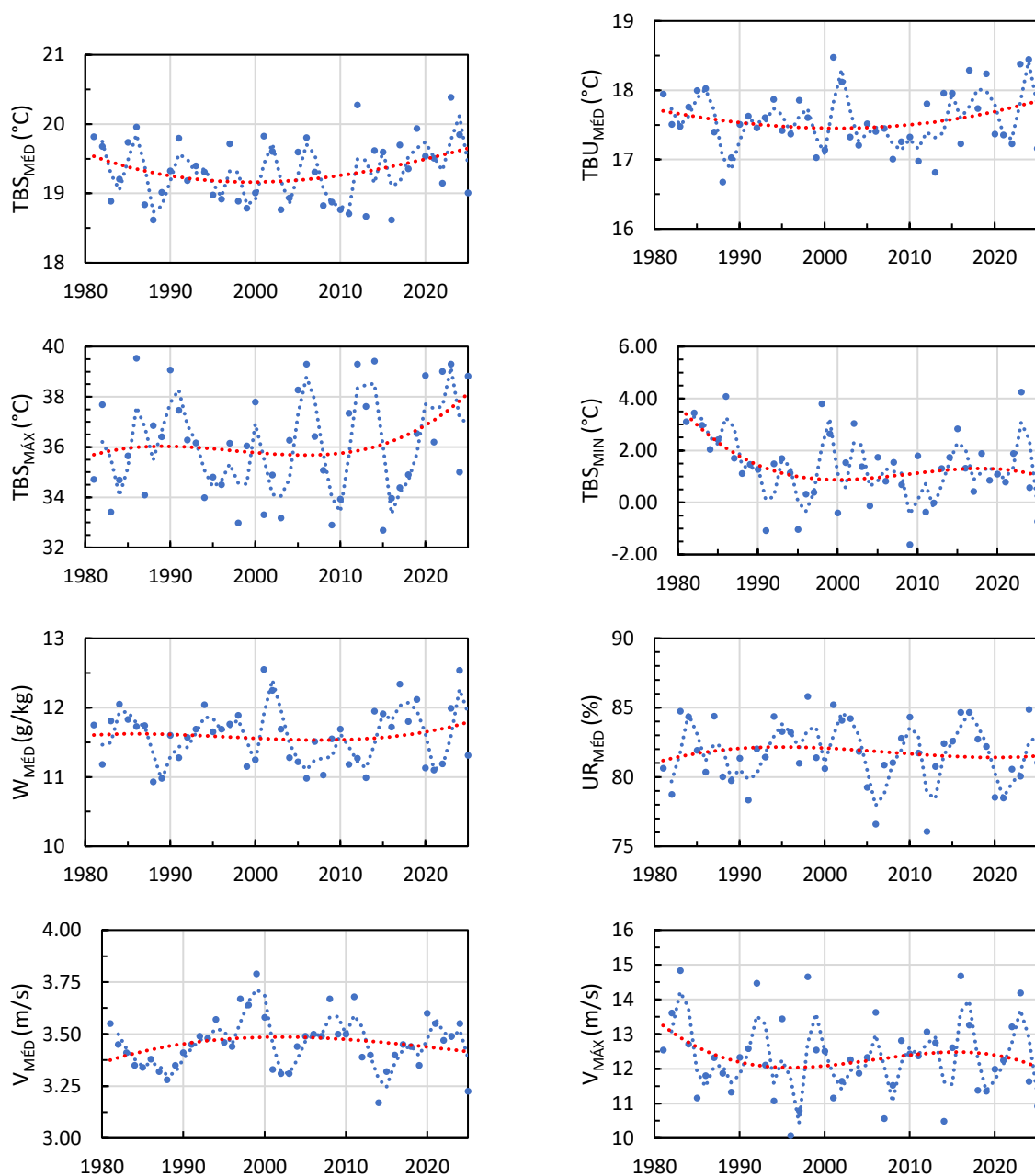


Fig.1- Evolução dos parâmetros climáticos de Porto Alegre – RS.

A tabela 2 mostra os coeficientes que foram determinados para a linha de tendência em uma regressão polinomial de terceira ordem, conforme os dados da figura 1.

**Tabela 2** – Coeficientes da linha de tendência na regressão polinomial de terceira ordem.

|                    | $f(x) = ax^3 + bx^2 + cx + d$ |         |         |                  | R <sup>2</sup> |
|--------------------|-------------------------------|---------|---------|------------------|----------------|
|                    | a                             | b       | c       | d                |                |
| TBS <sub>MÉD</sub> | -0,000008                     | 0,0482  | -98,328 | 66816            | 0,0933         |
| TBS <sub>MÁX</sub> | 0,0002                        | -0,905  | 1807,6  | -10 <sup>6</sup> | 0,0796         |
| TBS <sub>MIN</sub> | -0,0002                       | 0,916   | -1840,2 | 10 <sup>6</sup>  | 0,1943         |
| TBU <sub>MÉD</sub> | 0,000002                      | -0,0137 | 26,225  | -16616           | 0,0595         |
| UR <sub>MÉD</sub>  | 0,0001                        | -0,586  | 1176,4  | -787041          | 0,0158         |
| W <sub>MÉD</sub>   | 0,00005                       | -0,1017 | 202,98  | -135083          | 0,0187         |
| V <sub>MÉD</sub>   | 0,000003                      | -0,0166 | 33,706  | -22750           | 0,0542         |
| V <sub>MÁX</sub>   | -0,0001                       | 0,7304  | -1464,9 | 979393           | 0,0547         |

É possível observar um incremento na tendência da temperatura de bulbo seco média e máxima, que impacta diretamente as estimativas realizadas através da lei de Fourier, bem como a parcela sensível na mistura do ar de renovação. Ocorre também incremento da temperatura de bulbo úmida máxima, umidade absoluta média e umidade relativa média. Tais tendências demonstram que no verão da cidade de Porto Alegre - RS há uma maior quantidade de vapor d'água dispersa no ar: um efeito causado pelo aquecimento local e incidência solar, que aumentam a evaporação do rio Guaíba, o qual margeia a capital gaúcha. Este incremento impacta diretamente a sensação de conforto térmico das pessoas, as quais, controlam a temperatura interna do corpo pela a evaporação (do suor), como também contribui diretamente no aumento da quantidade de energia utilizada para ajustar a parcela latente da mistura do ar de renovação. As velocidades média e máxima dos ventos, que impactam nos coeficientes de convecção das superfícies externas da envoltória da edificação pouco variaram ao longo dos anos e há uma tendência geral de estabilidade.

Ao contrário dos dados da NBR 16401-1:2024, se percebe uma ampla variação das variáveis climáticas reais. Realizando a diferença direta entre os anos de 1981 e 2025, houve um ajuste de variação de 4,11 °C na temperatura de bulbo seco máxima, 3,84 °C na temperatura de bulbo seco mínima, 0,81 °C na temperatura de bulbo seco média e 0,79 °C na temperatura de bulbo úmido média, e 0,44 g/kg na umidade absoluta, 0,41% na umidade relativa, 0,32 m/s na velocidade média e 1,62 m/s na velocidade máxima do vento.

Se considerando-se o comparativo a partir da diferença entre o parâmetro máximo e mínimo ao longo de todo o período, os resultados são mais expressivos, pois ocorre uma variação de 6,64 °C na temperatura de bulbo seco máxima, 5,87 °C na temperatura de bulbo seco mínima, 1,77 °C na temperatura de bulbo seco média e 1,80°C na temperatura de bulbo úmido média, e 1,62 g/kg na umidade absoluta, 9,74% na umidade relativa, 0,62 m/s na velocidade média e 4,76 m/s na velocidade máxima do vento.

Ao comparar os dados climáticos reais com a norma de referência denota-se um desvio na variação da temperatura de bulbo seco máximo, que na realidade se demonstrou maior que o estimado pelo o código de projeto. Uma variação real de 10,58% e 17,30% contra uma variação teórica de 2,57%, o que confirma a percepção de desconexão da referida norma com a situação climática atual. Realizando a verificação da quantidade de eventos onde a temperatura de bulbo seco real foi superior a referência de 34,9 °C indicada na NBR 16401-1:2024, se chega a proporção de 29/45. Um ponto que deve ser destacado é que o valor de

referência utilizado é um extremo e aplicado a projeto de climatização exigentes. Contudo, tal avaliação demonstra a incongruência da norma com a realidade climática na localidade de Porto Alegre - RS.

## **CONCLUSÕES:**

As mudanças climáticas do planeta são realidades palpáveis na atualidade. Ao observar-se os dados climáticos, é possível perceber as variações relevantes para a humanidade: mas ainda existem os negacionistas. O planeta fica cada dia mais quente, a temperatura média se eleva e as temperaturas máximas têm constantes ascendentes. Os parâmetros climáticos impactam diretamente na estimativa de carga térmica, não estão coerentes entre a realidade climática e as normas e os códigos aplicados em engenharia não estão atualizados conforme a velocidade de tais mudanças. Assim é recomendado que os projetistas e os engenheiros de refrigeração e de climatização utilizem de parâmetros de projetos atualizados, os quais reflitam a realidade climática local, buscando assim aplicar as melhores técnicas na etapa de estimativa de carga térmica, que garantam projetos de acordo com a realidade ambiental e instalações duradouras que atendam as expectativas, conforme as exigências das aplicações.

## **REFERÊNCIAS:**

ABNT. Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários - Parte 1: Projetos das instalações, NBR 16401-1. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2024.

ABNT. Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários - Parte 2: Parâmetros de conforto térmico, NBR 16401-2. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2024.

ABNT. Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários - Parte 3: Qualidade do ar interior, NBR 16401-3. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2024.

ABNT. Desempenho térmico de edificações - Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações, NBR 15.220. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2003.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). ASHRAE Handbook: HVAC Applications. Atlanta, GA: ASHRAE, 2019.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS; AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE. ANSI/ASHRAE Standard 55: Thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta, GA: ASHRAE, 2020.

CREDER, H. Instalação de ar condicionado. 6d. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. **POWER Data Access Viewer (DAV)**. Langley, VA: NASA/POWER, [2025]. Disponível em: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>. Acesso em: 11 nov. 2025.

SILVA, J. G. Introdução à tecnologia da refrigeração e da climatização. São Paulo: Artliber, 2019.

PARSONS, K. Human Thermal Environments. Segunda Edição. Londres: Taylor & Francis, 2003.

### **FOMENTO**

O trabalho teve fomento através do Programa Ânima de Iniciação Científica - PROCIÊNCIA, 2025/1 - projeto 9050.

### **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem ao financiamento do Programa Ânima de Iniciação Científica - PROCIÊNCIA, 2025/1 - projeto 9050. PEPE. V.R. agradece ao apoio *do Institute of Earth Sciences, Complex Flow Systems Lab.*