



COMPORTAMENTO TÉRMICO DO AR EM UM EDIFÍCIO PADRÃO COM MATERIAIS TRADICIONAIS E ALTERNATIVOS

THERMAL BEHAVIOR OF AIR IN A STANDARD BUILDING WITH TRADITIONAL AND ALTERNATIVE MATERIALS

Patrick Mar Siqueira

BSc. Ciência e Tecnologia, UFPA, Ananindeua, Pará, Brasil

patrick.siqueira@ananindeua.ufpa.br

Jean Carlos de Almeida Nobre

MSc. Engenharia Mecânica, UFPA, Ananindeua, Pará, Brasil

jean.nobre@ananindeua.ufpa.br

David Lohan Pereira de Sousa

MSc. Engenharia Mecânica, UFPA, Ananindeua, Pará, Brasil

david.sousa@ananindeua.ufpa.br

Melchiades Gomes da Silva

BSc. Ciência e Tecnologia, UFPA, Ananindeua, Pará, Brasil

melchiades.silva@ananindeua.ufpa.br

Gisele Fabiane do Nascimento Gomes

BSc. Ciência e Tecnologia, UFPA, Ananindeua, Pará, Brasil

gisele.gomes@ananindeua.ufpa.br

Luiz Claudio Fialho Andrade

Dr. Engenharia Mecânica, UFPA, Belém, Pará, Brasil

lfialho@ufpa.br

Resumo: A construção civil é grande consumidora de matérias primas e consequentemente causadora de grande impacto ambiental. Desta forma, no intuito de mitigar estes impactos, tem-se procurado novas tecnologias, materiais e procedimentos que causem menores danos ao meio ambiente. Esta pesquisa visa realizar simulações numéricas sobre desempenho térmico estrutural analisando as temperaturas internas do ar em um edifício padrão com materiais tradicionais e alternativos. A temperatura interna do ar em um edifício é influenciada por variáveis externas (variáveis climáticas) e internas (materiais da estrutura). A simulação do edifício padrão ocorreu na cidade de Belém-PA no ano de 2023, onde o arquivo climático utilizado nesta pesquisa é do projeto *International Weather for Energy Calculations* (IWEC). Os resultados encontrados para os materiais alternativos apresentaram menores temperaturas internas do ar no edifício estudado, comprovando que são melhores isolantes térmicos. O edifício com materiais tradicionais apresentou 3.350 horas em conforto térmico. O edifício com materiais alternativos apresentou 4.250 horas em conforto térmico conforme os parâmetros da NBR 16.401-2.



Palavras-chave: Simulação numérica, temperatura interna do ar, conforto térmico.

Abstract: The construction industry is a major consumer of raw materials and consequently a significant cause of environmental impact. In order to mitigate these impacts, new technologies, materials, and procedures that cause less environmental damage have been sought. This research aims to perform numerical simulations on structural thermal performance by analyzing indoor air temperatures in a standard building with traditional and alternative materials. The indoor air temperature in a building is influenced by external variables (climatic variables) and internal variables (structural materials). The simulation of the standard building took place in the city of Belém, PA, in 2023, using the climatic file from the International Weather for Energy Calculations (IWECC) project for this research. The results found for alternative materials showed lower indoor air temperatures in the studied building, proving that they are better thermal insulators. The building with traditional materials had 3,350 hours of thermal comfort. The building with alternative materials had 4,250 hours of thermal comfort according to the parameters of NBR 16.401-2.

Palavras-chave: Numerical simulation, indoor air temperature, thermal comfort.

1. Introdução

A construção civil é grande consumidora de matérias primas e consequentemente causadora de grande impacto ambiental. Desta forma, no intuito de mitigar estes impactos, o mundo todo tem procurado novas tecnologias, materiais e procedimentos que causem menores danos ao meio ambiente. Sabe-se que materiais alternativos são de extrema importância para o meio ambiente no quesito de sustentabilidade, este estudo visa analisar um edifício padrão sobre dois aspectos, com materiais construtivos tradicionais e alternativos em relação ao desempenho térmico para fins de conforto térmico.

Os materiais construtivos tradicionais utilizados neste estudo são: telhas e tijolos cerâmicos; piso de concreto normal; janelas de vidro comum e porta de madeira. Os materiais construtivos alternativos utilizados na substituição dos tradicionais são: telhas feitas de polímeros; tijolos de terra crua (adobe); piso de concreto leve com argila expandida.

O foco desta análise é a temperatura interna do ar no edifício padrão estudado. A temperatura interna do ar em um edifício é influenciada por variáveis externas (variáveis climáticas) e internas (materiais da estrutura).

É indiscutível a importância da busca por arquiteturas mais sustentáveis, pois os recursos do planeta são finitos e o crescimento da população e de suas atividades têm gerado há séculos grandes violências contra o meio ambiente. (PISANI, 2005).

2. Fundamentação teórica

2.1 Pesquisas sobre Desempenho Térmico Estrutural e Conforto Térmico



Nobre (2022), realizou uma monografia que tem por finalidade utilizar o *software* livre *EnergyPlus* para simular e analisar o nível de temperatura do ar no auditório do campus Ananindeua da Universidade Federal do Pará, localizado em Ananindeua-PA que está em fase de construção, com variáveis meteorológicas, estruturais e fisiológicas. A análise de desempenho térmico do auditório foi realizada no ano de 2021, para zonas térmicas de cada mês do ano, verificando e indicando a época do ano com maiores e menores temperaturas do ar no ambiente, utilizando como base de dados arquivos climáticos de Belém-PA. Os resultados obtidos para o desempenho térmico estrutural, foram retirados de duas simulações com o *software*, a primeira simulação adotou-se somente variáveis meteorológicas e estruturais, na segunda adotou-se variáveis meteorológicas, estruturais e fisiológicas.

Nobre *et al.* (2021), realizaram um estudo sobre desempenho térmico em uma residência conjunta no mês de março em Ananindeua-PA utilizando o *software EnergyPlus*, onde foram levadas em consideração variáveis climáticas e estruturais. Análises sobre as cargas térmicas em sistemas da edificação são realizadas aplicando diversos materiais de construção em um modelo 3D do residencial, por exemplo, a modelagem é feita através da inserção de materiais com camadas paralelas entre si e perpendiculares ao fluxo de calor (reboco, tijolo, telha, laje, piso, etc.). Com isso, gerou-se uma zona térmica com temperaturas de 21 °C até 29 °C no mês de março e com estes dados averiguou-se se as unidades (quartos) cumpriam os padrões estabelecidos pela ISO 9241/2011 sobre bem-estar térmico. Os dias dentro dos padrões térmicos de conforto foram os dias 05, 11 e 12 para a Unidade 1, 04 e 18 para a Unidade 2, 04 e 18 para a Unidade 3 e 04, 05, 12 e 18 para a Unidade 4.

Sousa (2022), realizou simulações computacionais para análise do desempenho térmico em um edifício institucional da Universidade Federal do Pará, localizado no município de Ananindeua-PA, planejando demonstrar a capacidade do método abordado, utilizando o *software Energyplus*. Em relação ao edifício foram determinadas diversas características, entre elas, elementos construtivos e suas propriedades térmicas, perfil de atividades, consumo por unidade dos equipamentos elétricos e sistema de iluminação. Para analisar o desempenho térmico estrutural, conforto térmico e o consumo energético do edifício. Os resultados obtidos para o desempenho térmico foram que os ambientes simulados pelo programa apresentaram temperaturas entre 23,7°C e 33,3°C, com estes dados foi possível verificar a quantidade de horas e representatividade (%) anual em que os ambientes estão dentro dos padrões estabelecidos pela ISO 9241/2011 e da NR 17.

Sousa *et al.* (2022) realizaram uma simulação numérica permitindo uma avaliação precisa das condições climáticas que afetam a estrutura do edifício, e a comparação com os dados externos da cidade resultou em variações significativas nas temperaturas média e máxima. O arquivo climático do INMET é identificado como o mais preciso em relação às cargas climáticas da cidade. O uso dessa abordagem pode ser extremamente útil para projetos de construção que visam maximizar o conforto térmico e minimizar o consumo de energia.

Borges, *et al.* (2023) realizaram uma pesquisa com cinco diferentes bases de dados que são manipuladas para obter um novo perfil climático a partir de uma análise estatística da média, mínima, máxima e desvio padrão das variáveis de radiação solar e temperatura do ar para a cidade de Belém-PA. O comportamento das temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido e das taxas de radiação solar direta e difusa para cada arquivo climático foi simulado a fim de utilizar medidas de centralidade e dispersão como parâmetros na obtenção e validação estatística.



Sousa, Nobre e Andrade (2021), realizaram uma pesquisa onde são investigadas numericamente as condições climáticas para o ano de 2021, da cidade de Belém-PA, usando dois arquivos climáticos diferentes. O arquivo climático disponível no repositório do *software EnergyPlus* é processado no *software* para a obtenção das temperaturas médias mensais, que são então confrontadas com as temperaturas que constam no arquivo climático disponibilizado na base dados *CLIMATE-DATA.ORG*. Os resultados obtidos mostraram variações de temperaturas médias, mínima e máxima de 0,1 °C até 1,7 °C, que sugerem um bom grau de confiança no algoritmo de processamento dos dados climáticos do *EnergyPlus*.

Em suas experiências Fanger (1970), demonstra que um ambiente termicamente agradável é gerado "como uma condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico". Conforme o estudo, Fanger demonstrou que não é viável agradar termicamente todos os indivíduos que estão na mesma localidade térmica, devido às características individuais de cada pessoa. O bem-estar térmico se refere diretamente a uma sensação subjetiva, dependente de aspectos biológicos, físicos e emocionais dos seres humanos. Por depender diretamente de vários aspectos, nem sempre é possível satisfazer a todas as pessoas que ocupam determinada localidade em uma condição térmica.

2.2 Materiais Construtivos Alternativos

O entendimento ou interpretações sobre a sustentabilidade em edifícios e na construção civil tem tido diferentes posicionamentos ao longo dos anos: o foco inicial na questão de recursos limitados, especialmente energia e, em como reduzir impactos no meio ambiente, mudou nas duas últimas décadas para enfatizar aspectos mais técnicos relativos a materiais, componentes de edificações, tecnologias construtivas e conceitos de projeto relacionados à questão energética. E, especialmente nos últimos anos, a atenção se voltou também para as questões não técnicas, como aspectos sociais, econômicos e mais recentemente os culturais surgiram como prioritários para a construção sustentável (BARATELLA, 2011).

A primeira vantagem no uso de reciclados é a financeira. O material custa entre 15% e 30% menos que na pedreira e os insumos reciclados poderiam ser mais baratos caso houvesse incentivo fiscal. Pois o mesmo imposto sobre o produto que é pago pela pedreira, já teve seu imposto coletado (CORSINI, 2011).

2.3 O Software Energyplus

De acordo com Crawley (2002), o *EnergyPlus* é um programa recente, que foi gerado em 1996 através do grupo formado pela Universidade de Illinois (UI), pelo Laboratório de Pesquisa em Engenharia de Construção do Exército dos Estados Unidos (CERL) a Universidade do Estado de Oklahoma (OSU), a Analytics GARD, o Laboratório Nacional Lawrence Berkeley (LBNL), e o Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE). O *software* inicial teve sua versão no fim de 1999, por ser novo, está em constante evolução, com a sua versão atual, 22.2.0. A essência da simulação está no modelo que utiliza princípios fundamentais de balanço energético, o *software* realiza cálculos numéricos baseados nos princípios de balanço de massa e energia (1ª Lei da termodinâmica) e possibilita simulações integradas de cargas térmicas e sistemas em regime transiente.



2.4 Equacionamentos Base do *Energyplus*

Segundo o *Department of Energy* U.S. (2022), a base para a integração das zonas e do sistema de ar é formular balanços de energia para a zona de ar e resolver as equações diferenciais ordinárias resultantes. A formulação do esquema de solução começa com um balanço de calor no ar da zona, a partir dessas formulações bases é possível ter como resultante a temperatura interna do ar, umidade relativa, ventilação, entre outros fatores térmicos, para uma estrutura como ilustra a Equação 1:

$$C_z \frac{dT_z}{dt} = \sum_{i=1}^{N_{sl}} \dot{Q}_i + \sum_{i=1}^{N_{surfaces}} h_i A_i (T_{si} - T_z) + \sum_{i=1}^{N_{zones}} \dot{m}_i C_p (T_{zi} - T_z) + \dot{m}_{inf} C_p (T_{\infty} + T_z) + \dot{Q}_{sys} \quad (1)$$

Onde, $C_z \frac{dT_z}{dt}$ é energia armazenada na zona de ar; $\dot{Q}_i$ é a soma das cargas internas convectivas; $h_i A_i (T_{si} - T_z)$ é a transferência de calor por convecção das superfícies para as zona; $\dot{m}_i C_p (T_{zi} - T_z)$ é a transferência de calor devido à mistura de ar entre zonas; $\dot{m}_{inf} C_p (T_{\infty} - T_z)$ é a transferência de calor devido à infiltração de ar externo e $\dot{Q}_{sys}$ é o sistema de saída de ar.

2.5 Normas de Conforto Térmico

Associação Americana dos Engenheiros de Refrigeração, Ar condicionado e Aquecimento (ASHRAE) em 1950, começou a planejar um grupo de estudos térmicos, onde foi construída uma instalação de pesquisa ambiental, em Cleveland (EUA). Em 1960, a partir de experiências geradas no laboratório e demais locais, resultaram em uma importante bibliografia.

A Norma ASHRAE 55 (2020), especifica condições para ambientes térmicos aceitáveis e destina-se ao uso em projeto, operação e comissionamento de edifícios e outros espaços ocupados.

A NBR 16.401-2 (2008), se baseia fundamentalmente no ASHRAE *Handbook Fundamentals* de 2005 (ASHRAE, 2005) e define temperaturas operativas internas de conforto térmico que variam de 22,5°C a 25,5°C (para umidade relativa de 65%), e 23 °C a 26 °C (para umidade relativa de 35%).

3. Metodologia

Esta pesquisa visa realizar simulações numéricas sobre desempenho térmico estrutural analisando as temperaturas internas do ar em um edifício padrão com materiais tradicionais e alternativos. Com isso, pode-se analisar qual combinação de materiais é o melhor isolante térmico para uma mesma estrutura e qual das estruturas estão de acordo com normas regulamentadoras de conforto térmico. A temperatura interna do ar e a umidade relativa do ar em uma estrutura são influenciadas por variáveis internas (materiais construtivos e tudo que gera calor dentro de uma estrutura) e externas (variáveis climáticas).

A simulação do edifício padrão ocorre na cidade de Belém-PA no ano de 2023, onde o arquivo climático utilizado nesta pesquisa é do projeto *International Weather for Energy Calculations* (IWEC) criado pela ASHARE (*American Society of Heating, Refrigerating and*



Air-Conditioning Engineers) e disponibilizado na página da internet do *Energyplus*. Utilizou-se um conjunto de três *softwares* para este estudo: O *Energyplus* que detém o método analítico para a geração dos resultados referentes a temperatura interna do ar; O *SketchUp* que realiza o desenho arquitetônico do edifício padrão e o *Openstudio* que funciona com um gerenciador que interliga ambos os *softwares* otimizando o estudo.

A primeira simulação, foi realizada utilizando materiais tradicionais na estrutura do edifício, cujos elementos construtivos e suas propriedades térmicas são mostrados na Tabela 1. Na segunda simulação utilizou-se materiais alternativos como mostra a Tabela 2, mantendo-se somente a porta de madeira e janelas de vidro fixos.

Tabela 1 – Propriedades Térmicas dos Materiais Tradicionais.

Material	Espessura (m)	Condutividade Térmica (W/mK)	Densidade Equivalente (Kg/m ³)	Calor Específico (J/KgK)
[1] Piso de concreto	0,2	1,75	2200	1000
[2] Telha cerâmica	0,02	0,7	1000	920
[3] Bloco de tijolo cerâmico	0,09	0,9	1300	920
[4] Porta de madeira	0,03	0,15	614	2300
[5] Vidro comum	0,01	1,0	2500	840

Fonte: Projeto 02:135.07-001/2. **ABNT NBR 15220-2:** 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. Rio de Janeiro, 2003.

Tabela 2 – Propriedades Térmicas dos Materiais Alternativos.

Material	Espessura (m)	Condutividade Térmica (W/mK)	Densidade Equivalente (Kg/m ³)	Calor Específico (J/KgK)
[1] Piso de concreto leve com argila expandida (Cp5)	0,2	0,54	1216	1000
[2] Telha pet	0,02	0,3	1350	920
[3] Bloco de tijolo Adobe	0,09	0,55	1341,05	920
[4] Porta de madeira	0,03	0,15	614	2300
[5] Vidro comum	0,01	1,0	2500	840

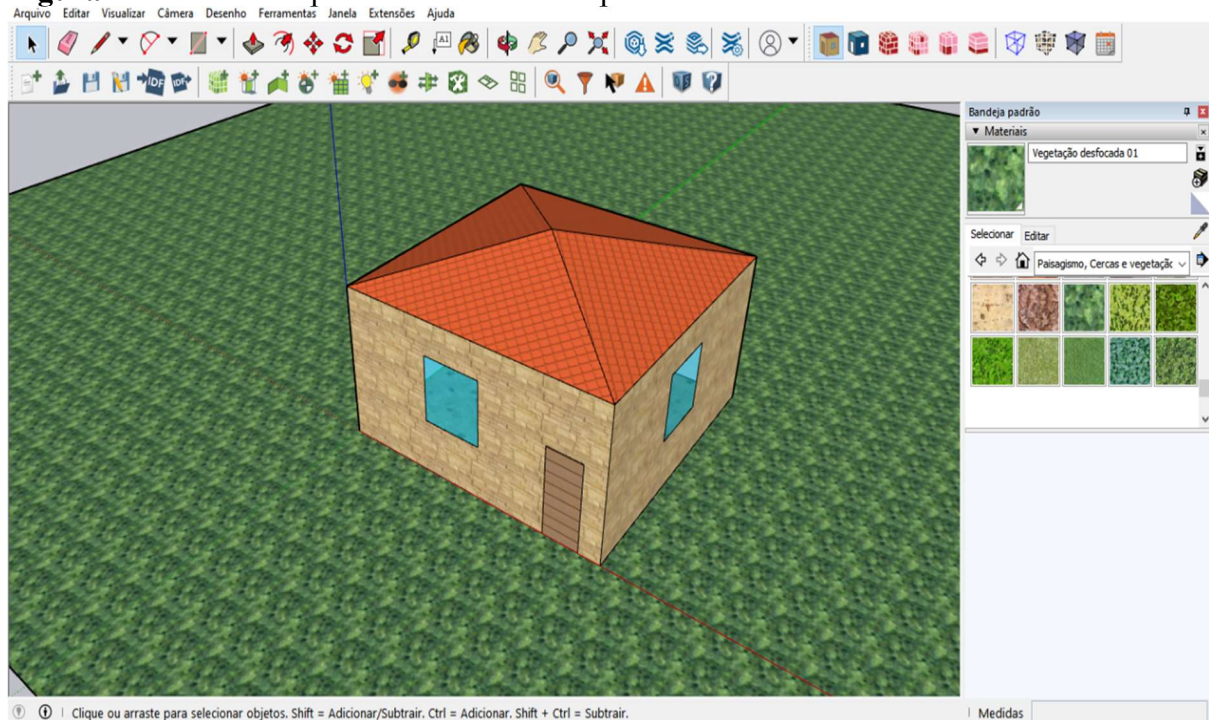
Fonte: [1] Laje de concreto leve com argila expandida (Cp5): Sacht; Rossignolo; Santos (2010); [2] Telha pet: Pet – Density – Strength – Melting Point – Thermal Conductivity, (2022). [3] Tijolo de Terra crua: DAL SOGLIO, (2018).

3.1 Desenho Arquitetônico e Dimensões do Edifício Padrão.



Na Figura 1 é ilustrado o desenho arquitetônico feito manualmente no *Sketchup* que posteriormente é aberto no *Openstudio* para ser simulado. O edifício padrão possui comprimento de 7 metros; largura de 7 metros e altura de 3,5 metros. A porta de madeira possui 1,90 metros de comprimento e 0,9 metros de largura, sua espessura é expressa nas Tabelas 1 e 2, as janelas de vidro possui 1,5 metros de comprimento e 1,5 metros de altura.

Figura 1 – Desenho arquitetônico do edifício padrão



Fonte: Autor, (2024).

4. Resultados

Abaixo são mostrados os resultados encontrados para ambas as simulações numéricas, onde os materiais são analisados em relação ao isolamento térmico entre ambos e também comparando as temperaturas internas do ar de cada edifício com os parâmetros de conforto térmico da NBR 16.401-2.

4.1 Resultados de materiais construtivos tradicionais

A Tabela 3 mostra o resultado da temperatura interna do ar no edifício com materiais tradicionais. O mês com temperaturas mais elevados foi o de agosto apresentando uma média de 27,06 °C e o mês com menores temperaturas foi o de março com uma média de 25,85 °C. A menor temperatura medida foi de 22,23 °C em janeiro e a maior temperatura foi de 31,46 °C em maio. Anualmente tem-se uma média de 26,55 °C, mínima de 22,23 °C e máxima de 31,46 °C. O desvio padrão anual foi de 2.03 °C.



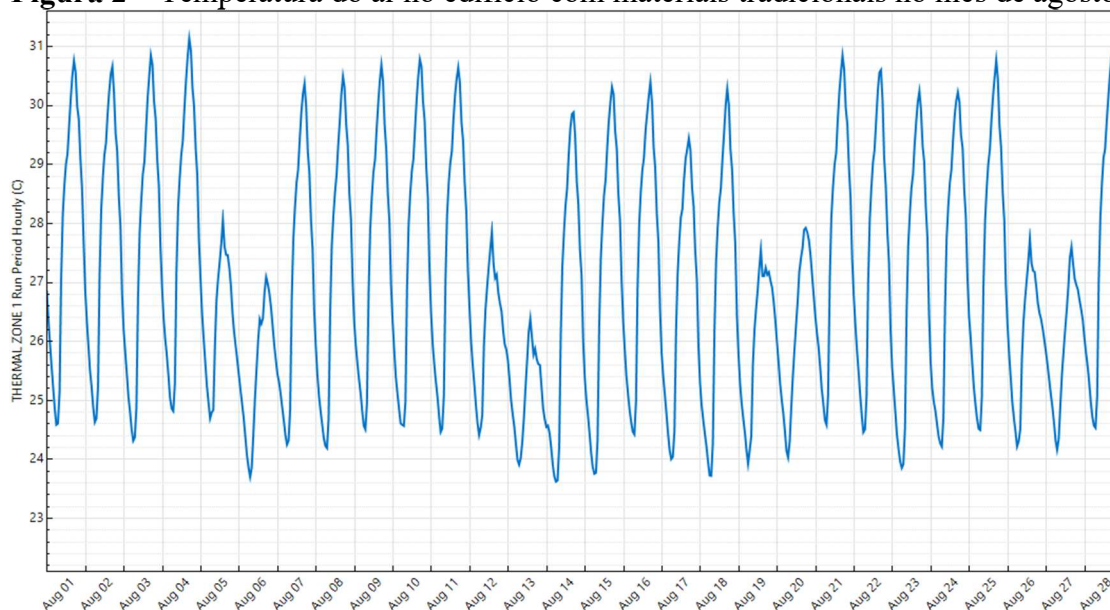
Tabela 3 – Temperatura do ar no edifício com materiais tradicionais.

Temperatura/mês	Média %	Mín %	Máx %	D.Padrão %
Janeiro	26,04	22,23	30,38	1,99
Fevereiro	25,95	22,82	29,87	1,90
Março	25,85	22,44	29,72	1,86
Abril	26,16	23,05	30,33	1,84
Maiο	26,76	23,33	31,46	2,06
Junho	26,59	22,92	30,70	2,05
Julho	26,85	23,01	31,06	1,99
Agosto	27,06	23,61	31,12	2,04
Setembro	26,49	22,87	30,38	1,95
Outubro	26,97	23,50	31,03	2,09
Novembro	26,95	23,21	30,91	2,06
Dezembro	26,91	23,75	31,25	2,03
Anual	26,55	22,23	31,46	2,03

Fonte: Autor, (2024).

Nas Figuras 2 e 3 tem-se os dados diários da temperatura interna do ar para o mês mais quente (agosto) e o mês mais frio (março). Nota-se que em agosto a temperatura varia entre 23,61 °C e 31,12 °C e em março a temperatura variou entre 22,44 °C e 29,72 °C.

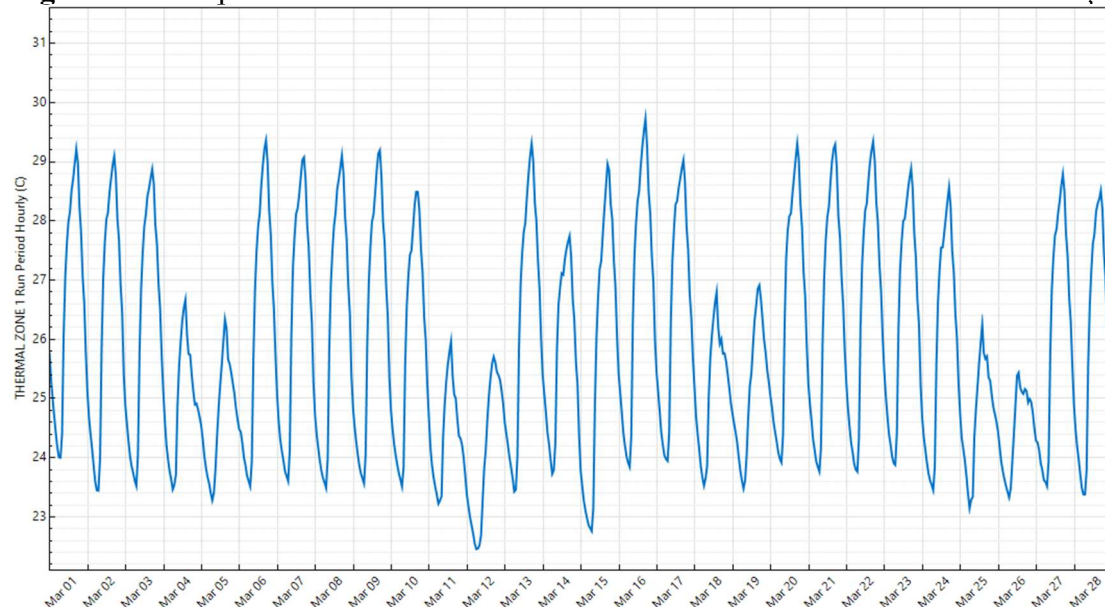
Figura 2 – Temperatura do ar no edifício com materiais tradicionais no mês de agosto.



Fonte: Autor, (2024).



Figura 3 – Temperatura do ar no edifício com materiais tradicionais no mês de março.



Fonte: Autor, (2024).

Na Tabela 4 mostram-se os resultados da umidade relativa do ar no edifício padrão analisado com materiais construtivos tradicionais. Nota-se uma média anual de umidade relativa do ar de 90,75 %, uma mínima de 65,74 %, uma máxima de 100 % e um desvio padrão de 5,49 %. O mês com a maior umidade relativa do ar foi o de março e o mês com a menor umidade relativa do ar foi o de agosto.

Tabela 4 – Zona de umidade relativa no edifício com materiais tradicionais.

Temperatura/mês	Média %	Mín %	Máx %	D.Padrão %
Janeiro	94,75	83,04	100	3,84
Fevereiro	94,16	80,83	100	3,99
Março	95,62	83,46	100	3,69
Abril	94,90	82,33	100	3,71
Maio	91,78	70,60	100	4,92
Junho	89,57	77,10	100	4,90
Julho	86,15	65,74	96,11	4,60
Agosto	86,18	71,97	97,81	4,40
Setembro	89,75	77,48	99,43	4,16
Outubro	88,00	70,40	99,64	4,99
Novembro	88,90	74,60	99,76	4,70
Dezembro	89,65	76,83	99,73	4,84
Anual	90,75	65,74	100	5,49

Fonte: Autor, (2024).



4.2 Resultados de materiais construtivos alternativos

A Tabela 5 mostra o resultado da temperatura interna do ar no edifício com materiais construtivos alternativos. O mês com temperaturas mais elevados foi o de agosto apresentando uma média de 26,36 °C e o mês com menores temperaturas foi o de março com uma média de 25,37 °C. A menor temperatura medida no ano de 2023 foi de 22,03 °C em janeiro e a maior temperatura foi de 30,21 °C em maio. Anualmente tem-se uma média de 25,94 °C, mínima de 22,03 °C e máxima de 30,21 °C. O desvio padrão considerado como uma margem de erro, anualmente foi de 1,88 °C.

Tabela 5 – Temperatura do ar no edifício com materiais alternativos.

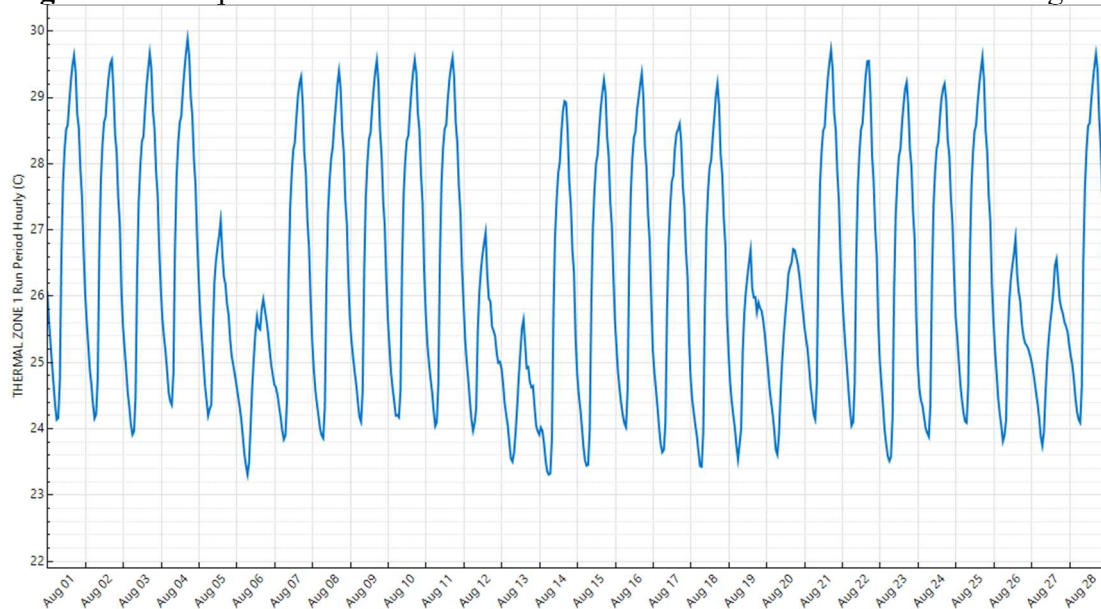
Temperatura/mês	Média %	Mín %	Máx %	D.Padrão %
Janeiro	25,52	22,03	29,45	1,89
Fevereiro	25,43	22,62	28,91	1,79
Março	25,37	22,21	28,86	1,77
Abril	25,59	22,83	29,27	1,71
Maio	26,10	23,06	30,21	1,88
Junho	25,96	22,64	29,59	1,89
Julho	26,15	22,77	29,84	1,82
Agosto	26,35	23,30	29,87	1,87
Setembro	25,89	22,59	29,37	1,82
Outubro	26,30	23,19	29,85	1,91
Novembro	26,29	22,96	29,83	1,89
Dezembro	26,24	23,42	30,07	1,88
Anual	25,94	22,03	30,21	1,88

Fonte: Autor, (2024).

Nas Figuras 4 e 5 tem-se os dados diários da temperatura interna do ar para o mês mais quente (agosto) e o mês mais frio (março). Onde nota-se que em agosto a temperatura varia entre 23,30 °C e 29,87 °C. Em março a temperatura variou entre 22,21 °C e 28,86 °C.

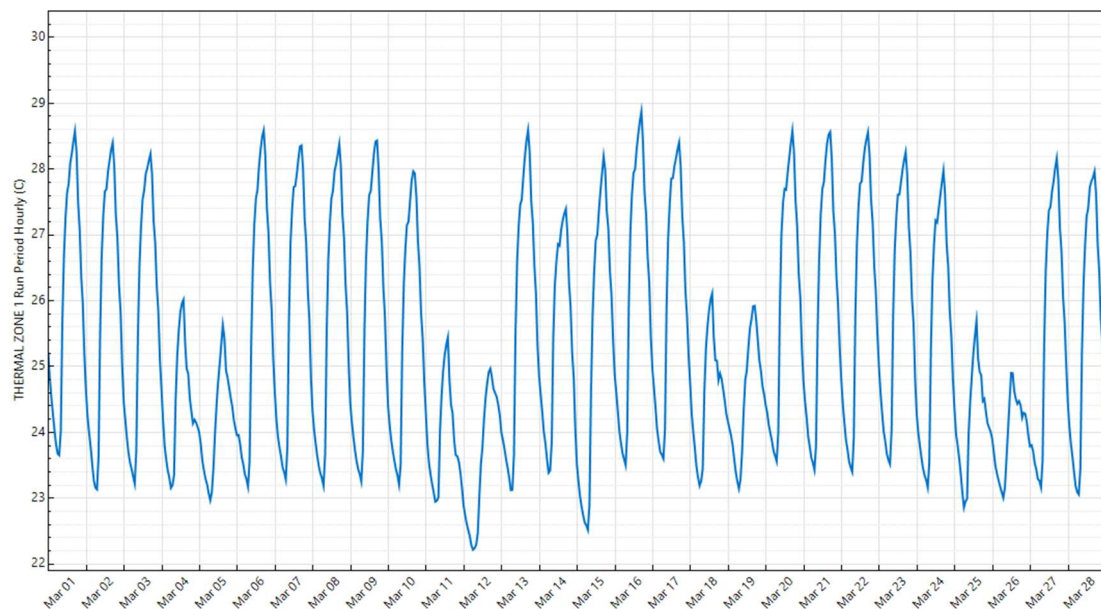


Figura 4 – Temperatura do ar no edifício com materiais alternativos no mês de agosto.



Fonte: Autor, (2022).

Figura 5 – Temperatura do ar no edifício com materiais alternativos no mês de março.



Fonte: Autor, (2022).

Na Tabela 6 mostram-se os resultados da umidade relativa do ar com materiais construtivos alternativos. Nota-se uma média anual de 93,46 %, uma mínima de 69,98 %, uma máxima de 100 % e um desvio padrão de 5,03 %.



Tabela 6 – Zona de umidade relativa no edifício com materiais alternativos.

Temperatura/mês	Média %	Mín %	Máx %	D.Padrão %
Janeiro	96,71	84,94	100	3,49
Fevereiro	96,21	82,10	100	3,68
Março	97,28	84,86	100	3,27
Abril	97,08	86,01	100	3,13
Mai	94,67	75,26	100	4,47
Junho	92,48	80,23	100	4,75
Julho	89,47	69,98	99,40	4,43
Agosto	89,47	77,02	99,76	4,42
Setembro	92,59	78,73	100	4,33
Outubro	91,16	74,78	100	4,96
Novembro	91,95	79,11	99,99	4,63
Dezembro	92,77	81,46	100	4,68
Anual	93,46	69,98	100	5,03

Fonte: Autor, (2022).

4.3 Análise comparativa da temperatura interna do ar

A diferença da média anual da temperatura interna do ar para materiais tradicionais e alternativos foi de 0,61 °C, para a temperatura mínima a diferença foi de 0,20 °C, para a temperatura máxima a diferença foi de 1,25 °C. Para ambos materiais construtivos, os materiais alternativos sempre apresentaram menores temperaturas internas do ar no edifício estudado, comprovando que são melhores isolantes térmicos.

4.4 Análise sobre Conforto Térmico.

Os padrões de conforto térmico da NBR 16.401-2 são baseados na umidade relativa do ar estipulando que um edifício deve apresentar temperaturas que variam de 22,5°C a 25,5°C (para umidade relativa de 65%), e 23 °C a 26 °C (para umidade relativa de 35%).

Conforme as Tabelas 4 e 6 a umidade relativa do ar para materiais tradicionais ficou em torno 65,74 % e 100 %. Para os materiais alternativos a umidade ficou em torno de 69,98 % e 100 %. Conforme estes dados de umidade relativa do ar, o padrão de conforto térmico da NBR 16.401-2 que condiz com a situação é o de 22,5°C a 25,5°C.

A Figura 6 e 7 mostram a curva de duração em horas da temperatura interna do ar no ano de 2023 que representa um total de 8.760 horas. A parte pontilhada em vermelho nas figuras é o período em horas em que o edifício está em conforto térmico conforme os parâmetros da NBR 16.401-2 (22,5°C a 25,5°C).

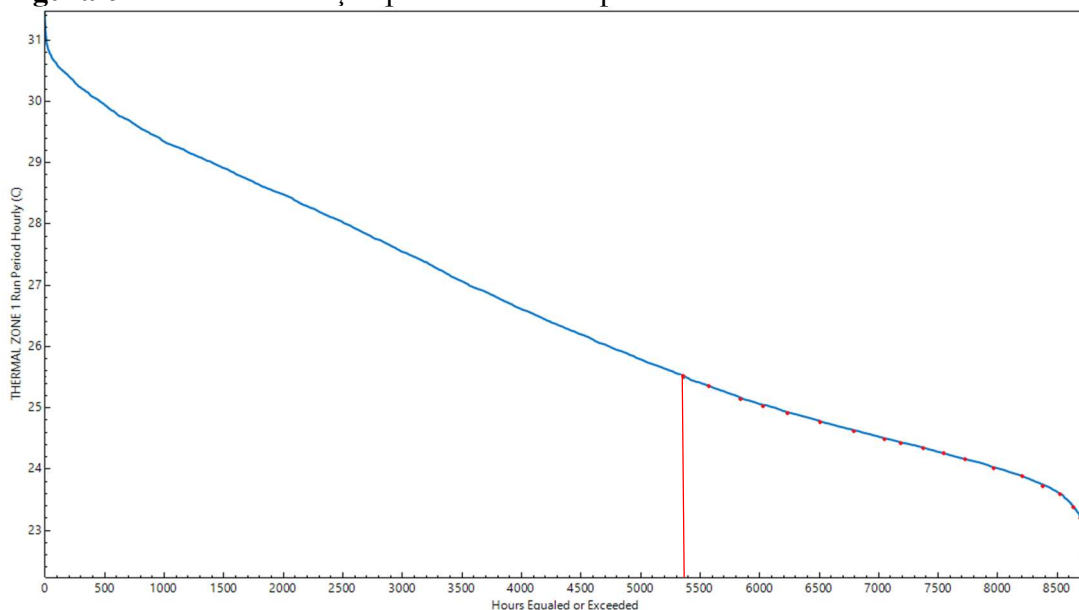
Na Figura 6 nota-se a curva de duração da temperatura do ar para materiais tradicionais que vai de 22,23 °C até 31,46 °C. Os materiais tradicionais apresentaram 3.350 horas no ano de 2023 em conforto térmico conforme os parâmetros da NBR 16.401-2.



Na Figura 7 nota-se a curva de duração da temperatura do ar para materiais alternativos que vai de 22,03 °C até 30,21 °C. Os materiais alternativos apresentaram 4.250 horas no ano de 2023 em conforto térmico conforme os parâmetros da NBR 16.401-2.

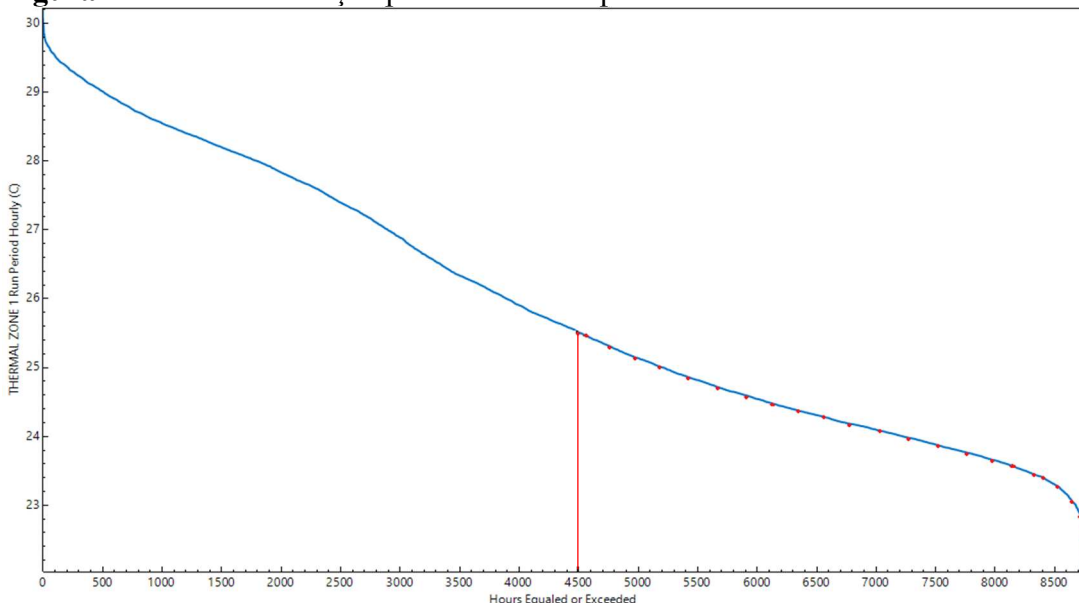
Com isso, o edifício com materiais construtivos alternativos permaneceu por mais tempo dentro dos padrões de conforto térmico no ano de 2023.

Figura 6 – Curva de duração por horas da temperatura do ar com materiais tradicionais.



Fonte: Autor, (2022).

Figura 7 – Curva de duração por horas da temperatura do ar com materiais alternativos.



Fonte: Autor, (2022).



5. Conclusões

Os materiais alternativos além de suprir inúmeras problemáticas presentes nos dias atuais, como: falta de matéria prima; poluição ambiental; entre outros. Se demonstraram melhores isolantes térmicos e dentro dos padrões térmicos da NBR 16.401-2 por mais horas do ano de 2023.

Em relação ao conforto térmico, mesmo com dados sobre padronização de conforto térmico estrutural em normas internacionais ainda assim estes padrões térmicos são bem relativos, pois só pode-se dizer de fato que determinado quantitativo de pessoas está confortável termicamente em um ambiente com um estudo específico no ambiente, por exemplo, sabe-se que o nordeste tem temperaturas mais altas e o sul do Brasil temperaturas mais baixas logo o padrão de conforto térmico dos nordestinos pode apresentar uma temperatura mais alta do que o bem-estar térmico para os sulistas. Portando, estudos específicos em cada região de climas diferentes são de extrema importância para conhecer os padrões térmicos de cada população, para então poder-se dizer qual temperatura em um ambiente está dentro dos padrões de determinada população.

Com isso, foi possível analisar termicamente uma estrutura construtiva com diferentes tipos de materiais comprovando a importância das simulações numéricas nos dias atuais. Outro ponto importante é que um edifício pode ser simulado antes mesmo de ser construído.

6. Referências bibliográficas

ARQUIVO CLIMÁTICO DA CIDADE DE BELÉM-PA, 2022. **Weather Data by country. South America (WMO Region 3) – Brazil.** Disponível em: https://energyplus.net/weather-region/south_america_wmo_region_3/BRA. Acesso em: 1 de novembro de 2022.

ASHRAE, **Fundamentals Handbook**, 2001. Fundamentals. Atlanta.

ASHRAE STANDARD 55. **Thermal environmental conditions for human occupancy.** Atlanta, Georgia: American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15220-2:** 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. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16.401-2 -** Instalações de ar-condicionado - sistema centrais e unitários, parte 2: Parâmetros de conforto Térmico. Rio de Janeiro, 2008.

BARATELLA, P. R. M. Análise do desenvolvimento de indicadores para a avaliação de sustentabilidade em edifícios brasileiros. **Dissertação de Mestrado** em Engenharia Civil. UNICAMP, Campinas, 2011.



BORGES, L. dos S.; NOBRE, JC de A.; SOUSA, DLP de; ANDRADE, LCF Construção de um novo perfil de radiação solar e temperatura do ar a partir de padrões climáticos conhecidos para a cidade de Belém-PA. **Revista de Engenharia e Ciências Exatas**, Viçosa/MG, BR, v. 9, n. 2, p. 15352–01e, 2023. DOI: 10.18540/jcecvl9iss2pp15352-01e. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/jcec/article/view/15352>. Acesso em: 29 jun. 2024.

CABRAL, A. E. B.; SCHALCH, V.; DAL MOLIN, D. C. C.; RIBEIRO, J. L. D.; RAVINDRARAJAH, R. S. Desempenho de concretos com agregados reciclados de cerâmica vermelha. In: Revista Cerâmica. **Associação Brasileira de Cerâmica**. 2009. n.55. p.448-460.

CODEM - Companhia de Desenvolvimento e Administração da Área Metropolitana de Belém (2011). **Caracterização do Território**. Disponível em: http://www.belem.pa.gov.br/app/ANUARIO_2011/1_01_Caracterizacao%20do%20Territorio.pdf. Acesso em: 29 de outubro de 2022.

CORSINI, R. **Agregados reciclados**. In: **Guia da Construção**. Edição 123. 2011. Disponível em: < <http://revista.construcaomercado.com.br/guia/habitacao/financiamento-imobiliario/123/agregados-reciclados-238497-1.asp>>. Acesso em: 3 abr. 2013.

CRAWLEY, D.B., et al, A new-generation building energy simulation program. Energy and Buildings. **Elsevier Science**, Great Britain. 2002.

DAL SOGLIO, CAROLINA RODRIGUES et al. Avaliação das propriedades térmicas de tijolos de terra crua (adobes). **Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído**, p. 1124-1130, 2018.

ENERGYPLUS v22.2.0. Disponível em: <https://energyplus.net/>. Acesso em: 22 de outubro de 2022.

FANGER, P.O., 1970. **“Thermal Comfort”**, McGraw-Hill, New York.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <http://www.censo2010.ibge.gov.br>. Acesso em: 3 de novembro de 2022.

NOBRE, J. C. A. Análise e Simulação Numérica sobre Desempenho Térmico Estrutural em um Auditório Utilizando o Software Energyplus. **Monografia** (graduação) - Universidade Federal do Pará, Estado do Pará, 2022.

NOBRE, JC de A.; SOUSA, DLP de; RIBEIRO, F. dos S. .; ANDRADE, LCF Simulação Computacional do Desempenho Térmico em uma Moradia Conjugada Localizada em Ananindeua-PA. **Revista de Engenharia e Ciências Exatas**, Viçosa/MG, BR, v. 8, n. 5, pág. 14118–01e, 2022. DOI: 10.18540/jcecvl8iss5pp14118-01e. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/jcec/article/view/14118>. Acesso em: 29 jun. 2024.

OPENSTUDIO v3.3.0. Disponível em: <https://openstudio.net/>. Acesso em: 22 de outubro de 2022.



PET – Density – Strength – Melting Point – Thermal Conductivity. Disponível em: <https://material-properties.org/pet-density-strength-melting-point-thermal-conductivity/>. Acesso em: 03 de agosto de 2022.

PISANI, M. J. **Um material de construção de baixo impacto ambiental: o tijolo de solo cimento**. São Paulo: Sinergia, 2005.

SACHT, H. M.; ROSSIGNOLO, J.; SANTOS, W. Avaliação da condutividade térmica de concretos leves com argila expandida. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 15, p. 31-39, 2010.

SKETCHUP 2021 v21.0.391. Disponível em: <https://www.sketchup.com/pt-BR>. Acesso em: 22 de outubro de 2022.

SOUSA, D. L. P. Análise do Desempenho Térmico de um Edifício utilizando o Software Energyplus. **Monografia** (graduação) - Universidade Federal do Pará, Estado do Pará, 2022.

SOUSA, DLP de; NOBRE, JC de A.; BORGES, L. dos S.; ANDRADE, LCF; VAZ, JRP; VALE, SB do; SOUSA, DJL de. Utilização dos Arquivos Climáticos IWEC, SWERA, INMET, TRY e TMY da Prefeitura Municipal de Belém-PA para Análise de Desempenho Térmico Estrutural. **Revista de Engenharia e Ciências Exatas**, Viçosa/MG, BR, v. 9, n. 3, p. 15554–01e, 2023. DOI: 10.18540/jcecvl9iss3pp15554-01e. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/jcec/article/view/15554>. Acesso em: 29 jun. 2024.

SOUSA, DLP de; NOBRE, JC de A.; ANDRADE, LCF Análise Térmica de Bancos de Dados Climáticos da Cidade de Belém-PA. **Revista de Engenharia e Ciências Exatas**, Viçosa/MG, BR, v. 8, n. 3, pág. 14208–01e, 2022. DOI: 10.18540/jcecvl8iss3pp14208-01e. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/jcec/article/view/14208>. Acesso em: 29 jun. 2024.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **Engineering Reference**. Estados Unidos, 2022.