XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais

Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

ANÁLISE DE ESTRATÉGIAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA UMA EDIFICAÇÃO DE ENERGIA ZERO[1]

GNECCO, Verônica Martins (1); KAMIMURA, Artur Martins (2); GIARETTA, Rafael Fernando (3); FOSSATI, Michele (4)

(1) Universidade Federal de Santa Catarina, veronicamgnecco@gmail.com
(2) Universidade Federal de Santa Catarina, arturkamimuras@gmail.com
(3) Universidade Federal de Santa Catarina, rgiaretta@gmail.com
(4) Universidade Federal de Santa Catarina, michele.fossati@ufsc.br

RESUMO

Considerando o aumento do consumo energético mundial em edificações, alternativas para a minimização dessa demanda são necessárias, como as Edificações de Energia Zero (EEZ). Soluções envolvendo a envoltória da edificação, assim como dos equipamentos utilizados devem ser testadas para sustentação das medidas a serem adotadas. A partir de simulações termoenergéticas, foram obtidos os consumos para condicionamento na cidade de Florianópolis, considerando oito cenários: o caso base, quatro modificações em sistemas da edificação isoladamente, uma modificação nos equipamentos de condicionamento, todas as modificações na envoltória e, por fim, todas as modificações incorporadas. Calculou-se, ainda, a área de painéis fotovoltaicos necessária para cada situação. A modificação da Absortância à Radiação Solar (ARS) da cobertura mostrou-se mais eficiente, com 18% de economia no consumo de condicionamento. Considerando todas as alternativas, a economia foi de 35% do consumo de condicionamento, com redução de 9,87 m² da área de painéis fotovoltaicos, favorecendo a implantação de uma EEZ.

Palavras-chave: *Edificação de Energia Zero. Simulação Termoenergética. Eficiência Energética.*

ABSTRACT

Due the increasing energy consumption of buildings worldwide, alternatives to minimize the energetic demand are necessary, such as Zero Energy Buildings (ZEB). Solutions involving the building envelope and the equipment used, must be tested to support the possible measures adopted. From thermo-energetic simulations, the consumption for conditioning in the city of Florianópolis was obtained, considering eight scenarios: the base case, four changes in building systems alone, one change in the conditioning equipment, all changes in the envelope and, finally, all incorporated changes. The area of photovoltaic panels required for each situation was also calculated. The modification of the solar radiation absorption of the roof proved to be more efficient, with 18% savings in the conditioning consumption. Considering all alternatives, the savings were 35% of the conditioning consumption, with a reduction of 9,87 m² in the area of photovoltaic panels, favoring the implementation of a ZEB.

Keywords*: Zero Energy Buildings. Thermal Simulation. Energy Efficiency.*

---

[1]GNECCO, Verônica Martins; KAMIMURA, Artur Martins; GIARETTA, Rafael Fernando; FOSSATI, Michele. Análise de estratégias de eficiência energética para uma edificação de energia zero. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2020.

1 INTRODUÇÃO

O consumo energético total no Brasil cresce 2,9% ao ano; podendo ser, até 2040, 91% maior que a demanda atual (BP, 2019). Tendo em vista esse cenário, alternativas para redução do consumo energético em edificações são necessárias (CAO; DAI; LIU, 2016; D'AGOSTINO; MAZZARELLA, 2019).

Alguns dos fatores a serem considerados, por influenciarem diretamente no consumo energético da edificação, são a transmitância térmica dos materiais (ABNT, 2005a), a Absortância à Radiação Solar (ARS) (MUNIZ-GÄAL *et al.*, 2018), o fator solar dos vidros (WESTPHAL, 2016) e o coeficiente de desempenho (COP) dos aparelhos de ar condicionado (JEREMIAS, GIANESINI, GARCIA, 2017).

As Edificações de Energia Zero (EEZ) podem se beneficiar da escolha dos materiais utilizados na construção, de acordo com sua localização e seu uso, uma vez que as duas estratégias usadas para zerar o balanço energético são, primeiramente, a redução da demanda da edificação por medidas de eficiência energética e, em seguida, a implantação de sistemas de geração de energia renovável (CABEZA; CHÀFER, 2020).

Neste estudo, a investigação aconteceu por meio do *software* de simulação energética EnergyPlus, com a criação dos diferentes cenários para a cidade de Florianópolis. Assim, pretende-se explorar a influência de paredes, coberturas, vidros e equipamentos de ar condicionado no consumo energético para condicionamento dos ambientes de permanência prolongada em uma edificação pública de serviços. Calculou-se também a área necessária de painéis fotovoltaicos (PV) para suprir a demanda por condicionamento, buscando atingir o nível de Edificação de Energia Zero.

O uso das estratégias de eficiência energética estudadas pode reduzir a demanda por condicionamento dos ambientes em até 35%. Consequentemente, área necessária de painéis fotovoltaicos é reduzida facilitando o alcance do nível de EEZ.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A eficiência energética na arquitetura foi definida por Lamberts, Dutra e Pereira (2012, p. 21), como "um atributo inerente à edificação representante de seu potencial em possibilitar conforto térmico, visual e acústico aos usuários com baixo consumo de energia". Portanto, a economia energética é uma estratégia anterior ao fornecimento em maior quantidade às edificações.

Uma alternativa explorada de maneira mais ampla por países europeus e pelos Estados Unidos, após a Diretiva do Parlamento Europeu sobre Eficiência Energética de Edifícios (EPBD) (EUROPEAN UNION, 2010) e do Ato de Segurança e Independência Energética de 2007 (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2007), respectivamente, são as Edificações de Energia Zero (EEZ). As EEZ são definidas como edificações com consumo energético reduzido pela implementação de estratégias de eficiência energética, com geração de energia renovável localmente, de igual ou mais energia consumida pela edificação (BELUSSI *et al.*, 2019; TORCELLINI *et al.*, 2006). A IEA tem apontado os EEZ como tendência, recomendando sua pesquisa e implementação pelos governos (IEA, 2011).

Em relação às medidas de eficiência energética que podem ser exploradas numa edificação, a transmitância térmica (U) foi objeto de alguns trabalhos, como Rossi e Rocco (2014) em salas de escritório e Santos e Gouveia (2018), em um comparativo

entre blocos cerâmicos e de concreto. Ainda em relação à transmitância, os isolantes térmicos são materiais que podem restringir o fluxo de calor em edificações, modificando, portanto, o fluxo do calor que entra e sai das edificações. Os parâmetros que normalmente caracterizam os isolantes são a baixa condutividade térmica (λ), para o estado estacionário, e a espessura da parede (MELO, 2007). Materiais comumente comercializados para esse uso são a lã de rocha, o poliuretano e o poliestireno expandido (EPS) (SCHIAVONI *et al.*, 2016).

Outro fator da envoltória da edificação que merece destaque é Absortância à Radiação Solar (ARS), especialmente em coberturas. A escolha dos elementos construtivos da cobertura pode reduzir a demanda por resfriamento da edificação, considerando a sensibilidade da eficiência térmica de materiais da cobertura às cores empregadas no seu uso (MUNIZ-GÄAL *et al.*, 2018; SANTAMOURIS; SYNNEFA; KARLESSI, 2011). As trocas de calor na edificação ocorrem também pelas janelas. O Fator Solar (FS) dos vidros representa o total de calor da radiação solar que passa pelo vidro e também exerce influência no consumo das edificações. Vidros incolores comuns possuem normalmente fator solar de 87%, enquanto vidros de controle solar apresentam FS < 40% (WESTPHAL, 2016).

Pela grande variedade climática do Brasil foi proposto, pela NBR 15220-3 (ABNT, 2005b), o zoneamento bioclimático brasileiro, onde o território do país foi dividido em oito Zonas Bioclimáticas (ZB). Essa mesma norma define diretrizes construtivas para cada ZB brasileira, relativamente às edificações residenciais de interesse social. Para Florianópolis, por exemplo, localizada na Zona 3, são recomendadas paredes "leves refletoras", com U ≤ 3,60 W/m².K e coberturas "leves e isoladas", com U ≤ 2 W/m².K.

Um sistema relativo às estratégias ativas para conforto dos usuários, e que também deve ser avaliado, são os condicionadores de ar, classificados pelo Coeficiente de Desempenho do Sistema (COP – *Coefficient of Performance*) (JEREMIAS, GIANESINI, GARCIA, 2017). A geração local de energia renovável, necessária às Edificações de Energia Zero, no Brasil, onde o potencial à radiação solar incidente é elevado, pode-se utilizar painéis fotovoltaicos (CRONEMBERGER; CAAMAÑO-MARTÍN; SÁNCHEZ, 2012), sendo esse o sistema mais popular no mundo (LI; YANG; LAM, 2013).

Assim, percebe-se a importância de analisar o efeito de diferentes sistemas na envoltória da edificação e da eficiência de equipamentos, afim de reduzir a área de painéis fotovoltaicos na implantação de uma Edificação de Energia Zero.

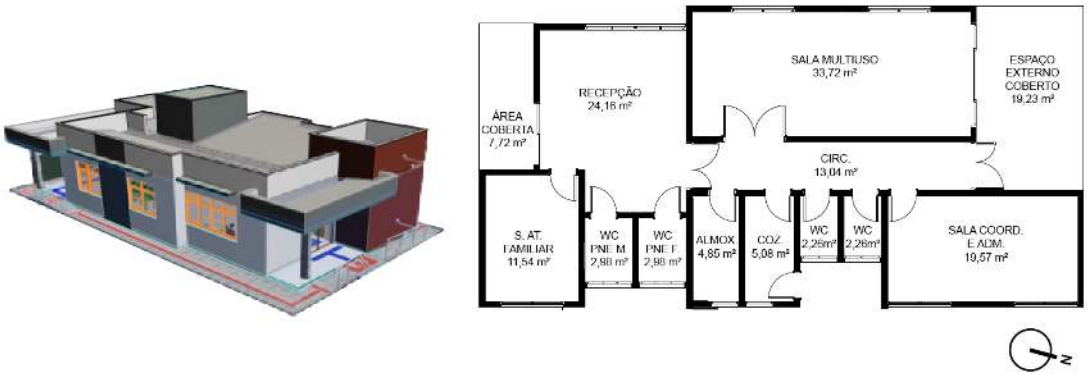
3 METODOLOGIA

3.1 Edificação Estudada

A edificação para realização do estudo foi o CRAS (Centro de Referência de Assistência Social), localizado no município de Biguaçu/SC. O Estado de Santa Catarina possui mais de 365 edificações, com a mesma função e ambientes semelhantes (SDS, 2016).

A edificação foi projetada pelo Laboratório BIM Governo do Estado (LaBIM). Com aproximadamente 171 m² de área construída, é uma edificação térrea composta de uma sala de atendimento familiar, uma sala multiuso, uma recepção, uma sala de coordenação e administração, dois banheiros PCD, 2 banheiros regulares, uma cozinha e um almoxarifado. Os quatro primeiros são considerados Ambientes de Permanência Prolongada (APP). A Figura 01 mostra a planta baixa da edificação.

Figura 01 – 3D e Planta baixa da edificação analisada



Fonte: adaptado de Santa Catarina (2018)

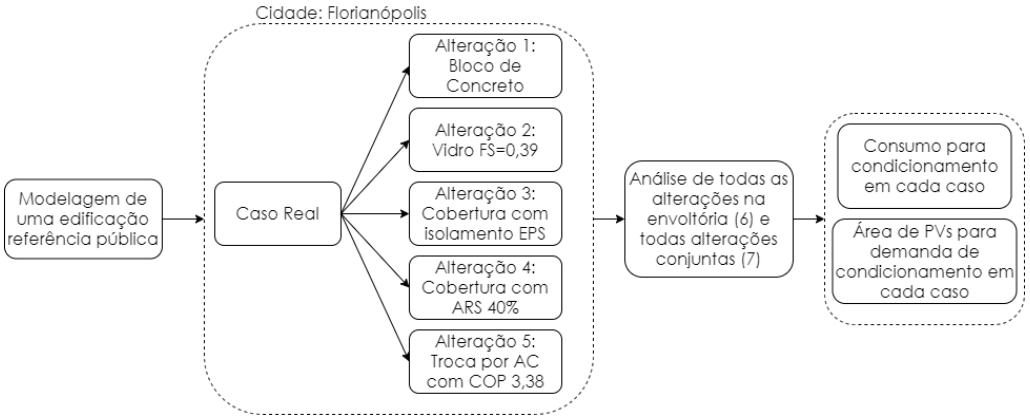
Assim, infere-se que a edificação é interessante para a realização de análises de eficiência energética, por sua aplicação em diversos municípios e sua importância social para o Estado de Santa Catarina.

3.2 Método

O caso base é o edifício existente, considerando paredes de tijolo cerâmico, cobertura com telha de fibrocimento sem isolante, piso cerâmico com contrapiso de 2cm e laje de concreto de 10cm, vidro com FS 87% e ar condicionado com COP de 3,24. A partir desse caso, foram simuladas 7 modificações: (1) paredes com bloco de concreto; (2) vidro com FS 39%; (3) cobertura de fibrocimento e laje pré-moldada de EPS; (4) cobertura de fibrocimento e ARS 0,4; (5) ar condicionado com COP 3,38 e (6) todas as modificações na envoltória e (7)todas as modificações. Essas alterações foram propostas por serem comuns no Brasil, de acesso facilitado e disponíveis na maioria das regiões.

O consumo para condicionamento dos APPs foi avaliado em cada situação, assim como a área de painéis fotovoltaicos necessária para suprir essa demanda energética, visando a obtenção de uma EEZ. O painel fotovoltaico considerado possuía uma eficiência de 15% e produção de 168,50 kWh/m²/ano em Florianópolis. A Figura 02 ilustra a metodologia adotada.

Figura 02 - Método adotado



Fonte: os autores

O Quadro 01apresenta as características térmicas dos sistemas estudados.

Quadro 01 – Características térmicas dos sistemas estudados

Sistema	Tipo	Transmitância [W/(m².K)]	Capacidade térmica [kJ/(m².K)]	Atraso térmico (h)	Absor-tância
Envoltória: Vedação vertical	Argamassa interna (2,5cm)+Bloco cerâmico (14x19x29cm)+Argamassa externa (2,5cm)	1,83	161	4,3	0,35
	Argamassa interna (2,5cm)+Bloco de concreto (9x19x39cm)+Argamassa externa (2,5cm)	2,68	245	4,2	0,35
Envol-tória: Vidro	Vidro temperado verde e = 8 mm, FS 0,39	5,7	-	-	-
	Vidro incolor e = 3 mm, FS 0,87	5,7	-	-	-
Envoltória: Cobertura	Telha de fibrocimento (0,8cm)+Câmara de ar (>5cm)+Concreto laje maciça (10cm)	2,06	233	5,1	0,7
	Telha de fibrocimento (0,8cm)+Câmara de ar (>5cm)+Laje pré-moldada EPS+Argamassa (1cm)	1,40	213,2	6,6	0,7
	Telha de fibrocimento (0,8cm)+Câmara de ar (>5cm)+Concreto laje maciça (10cm)	2,06	233	5,1	0,4

Fonte: Adaptado de LabEEE (2020) e Westphal (2016)

3.2.1 Simulação

A simulação energética ocorreu no *software* EnergyPlus, com dados climáticos de Florianópolis (ZB3), cidade vizinha à Biguaçu. Foi considerado um sistema de climatização híbrido com o objeto *Energy Management System* (EMS), onde o seu comportamento é alternado para a ventilação natural e o condicionamento artificial, por se tratar de uma edificação térrea com fácil operação de janelas. Foi considerado o uso da ventilação natural quando a temperatura externa fosse maior que 19°C e menor que a temperatura interna do ambiente. O período de operação considerado foi em dias úteis, das 8h às 18h.

As temperaturas para acionamento do condicionamento artificial, o padrão de iluminação e a carga interna dos equipamentos seguiram o preconizado pela Proposta de Instrução Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviço e Públicas (INMETRO, 2017). Os padrões de ocupação dos ambientes de permanência prolongada adotados foram os reais.

Para o sistema de aquecimento, o termostato foi ajustado em 18°C, com acionamento quando a temperatura operativa fosse menor que 16°C. Já para o sistema de refrigeração, o termostato foi regulado em 24°C, com acionamento quando a temperatura operativa for superior a 26°C.

4 RESULTADOS

4.1. Análise da redução do consumo de eletricidade para condicionamento

Todas as alternativas testadas resultaram em redução do consumo por condicionamento. No Quadro 02, podemos observar quais delas tiveram maior influência no consumo e, consequentemente, na área de painéis fotovoltaicos para cobrir a demanda por condicionamento. O caso base possui consumo para condicionamento de 4.757,17 kWh/ano, enquanto quando aplicadas todas as alterações, a demanda cai para 3.093,70 kWh/ano. A maior redução percentual é de 18%, quando o valor da ARS da cobertura é alterado para 40%. É importante salientar que a diminuição do ARS favorece a redução do consumo pela maior demanda por resfriamento da cidade analisada, também por se tratar de uma edificação térrea com grande área de cobertura exposta.

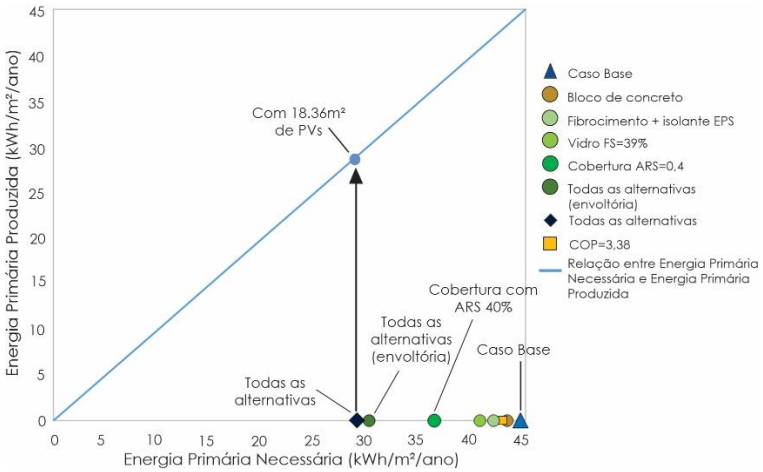
Quadro 02 – Comparativo dos consumos e áreas de painéis fotovoltaicos para Florianópolis

Medida	Caso Base	Bloco de concreto	AC COP= 3.38	Cob. Fibro-cimento +isolante	Vidro FS=39 %	Cobertura Fibrocime-nto ARS=0.4	Todas as alternativas (envoltória)	Todas as alternativas
Consumo (kWh/ano)	4757,17	4621,39	4578,77	4483,61	4342,52	3879,81	3213,46	3093,67
Redução % de consumo	0%	3%	4%	6%	9%	18%	32%	35%
Área de PV (m²)	28.23	27.42	27.17	26.61	25.77	23.02	19.07	18.36
Redução da área de PV (m²)	0,00	0,81	1,06	1,62	2,46	5,21	9,16	9,87

Fonte: os autores

Pelo Gráfico 01, percebe-se a redução progressiva do uso de painéis fotovoltaicos, conforme são aplicadas as alterações na envoltória e nos equipamentos, em termos de energia primária. Esta foi obtida pela conversão da energia elétrica ao multiplicar o valor pelo fator de 1,6 (INMETRO, 2017). Com a aplicação de todas as estratégias sugeridas, é necessária uma área de painéis 9,87 m² menor.

Gráfico 01 – Energia primária necessária para os cenários simulados



Fonte: os autores

5 CONCLUSÕES

No âmbito das Edificações de Energia Zero (EEZ), antes da inclusão da geração de energia local e do uso de estratégias ativas de eficiência, é necessário reduzir o consumo energético, através de estratégias passivas. No caso apresentado, modificaram a resposta térmica dos ambientes e reduzem a demanda de energia.

Na edificação analisada, apenas a mudança da ARS da cobertura de 70% para 40% proporcionou economia de 18% na demanda por condicionamento, no geral para resfriamento. Quando todas as modificações são aplicadas na envoltória, há uma economia de 32% na demanda de condicionamento. Por fim, quando aplicadas todas as modificações da envoltória, e ainda a troca para o aparelho de ar condicionado mais eficiente, há uma economia de 35% dessa demanda de condicionamento e redução da área de painéis fotovoltaicos de 9,87m². Ressalta-se que a redução da quantidade de painéis fotovoltaicos foi considerada em área para efeitos comparativos do potencial de economia que cada solução poderia prover. Em trabalhos futuros, uma análise de custos seria interessante, para um comparativo com a significância de algumas medidas estudadas.

Assim, para cada projeto e clima, é interessante o estudo das alternativas que reduzam a demanda da edificação para condicionamento, favorecendo o conforto dos ocupantes com menor uso energético. Consequentemente, há a facilitação da concretização das EEZ, uma vez que a área de painéis fotovoltaicos necessária para suprir a demanda energética será reduzida.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 e da Eletrobrás (Centrais Elétricas Brasileiras).

REFERÊNCIAS

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-1**: Desempenho térmico de edificações Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005a.

____. ABNT **NBR 15220-3:** Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005b.

BELUSSI, L.; BAROZZI, B.; BELLAZZI, A.; DANZA, L.; DEVITOFRANCESCO, A.; FANCIULLI, C.; GHELLERE, M.; GUAZZI, G.; MERONI, I.; SALAMONE, F.; SCAMONI, F.; SCROSATI, C.; et al. A review of performance of zero energy buildings and energy efficiency solutions. Journal of Building Engineering, [s. l.], v. 25, n. December 2018, p. 100772, 2019.

BP. **Energy Outlook - 2040 Brazil Fact Sheet**. 2019.

CABEZA, L. F.; CHÀFER, M. Technological options and strategies towards zero energy buildings contributing to climate change mitigation: A systematic review. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 219, p. 110009, 2020.

CAO, X.; DAI, X.; LIU, J. Building energy-consumption status worldwide and the state-of-the-art technologies for zero-energy buildings during the past decade. **Energy and Buildings**, v. 128, p. 198–213, 2016.

D'AGOSTINO, D.; MAZZARELLA, L. What is a Nearly zero energy building? Overview, implementation and comparison of definitions. **Journal of Building Engineering**, [s. l.], v. 21, n. October 2018, p. 200–212, 2019.

EPE [Empresa de Pesquisa Energética]. **Balanço energético nacional (BEN) 2019.** 2019.

JEREMIAS, T.; GIANESINI, M. A.; GARCIA, A. G. P. Consideração dos efeitos interativos no processo de M&V. **Revista de Eficiência Energética**, p. 49–51, 2017.

CRONEMBERGER, J.; CAAMAÑO-MARTÍN, E.; SÁNCHEZ, S. V. Assessing the solar irradiation potential for solar photovoltaic applications in buildings at low latitudes - Making the case for Brazil. **Energy and Buildings**, v. 55, p. 264–272, 2012.

EUROPEAN UNION. DIRECTIVE 2010/31/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 19 May 2010.**Official Journal of the European Union**. 2010.

IEA, International Energy Agency. **25 Energy efficiency policy recommendations**; 2011. Disponível em: https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/25recom_2011.pdf Acesso em 12 setembro 2019.

INMETRO. **Proposta de método para a avaliação da eficiência energética com base em energia primária de edificações comerciais, de serviços e públicas**. p. 151, 2017.

SANTA CATARINA. **Caderno de Projetos BIM do Governo de Santa Catarina.** Florianópolis: Governo do Estado de Santa Catarina, 2018.

LABEEE. **COMPONENTES CONSTRUTIVOS**. 2020. Disponível em: http://projeteee.mma.gov.br/componentes-construtivos/. Acesso em: 11 maio 2020.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3ed. Rio de Janeiro.

LI, D. H. W.; YANG, L.; LAM, J. C. Zero energy buildings and sustainable development implications - A review. **Energy**, v. 54, p. 1–10, 2013.

MELO, A. P. **Análise da Influência da Transmitância Térmica no Consumo de Energia de Edificações Comerciais**. 2007. Universidade Federal de Santa Catarina, [s. l.], 2007.

MUNIZ-GÄAL, L. P.; PEZZUTO, C. C.; CARVALHO, M. F. H.; MOTA, L. T. M. Eficiência térmica de materiais de cobertura. **Ambiente Construído**, v. 18, n. 1, p. 503–518, 2018.

NEOSOLAR. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/>. Acesso em: 04 de maio de 2020.

ROSSI, M.; ROCCO, V. M. External walls design: The role of periodic thermal transmittance and internal areal heat capacity. **Energy and Buildings**, v. 68, n. PART C, p. 732–740, 2014.

SANTA CATARINA. **Edital de Concorrência N° 0042/2017**. Brasil, 2017.

SANTAMOURIS, M.; SYNNEFA, A.; KARLESSI, T. Using advanced cool materials in the urban built environment to mitigate heat islands and improve thermal comfort conditions. **Solar Energy**, v. 85, n. 12, p. 3085–3102, 2011.

SANTOS, M. B.; GOUVEIA, F. P. Análise do desempenho térmico de habitações de interesse social construídas em paredes de concreto: Um estudo de caso em Tucuruí-PA. **Revista de Engenharia Civil**, n. 55, p. 5–18, 2018.

SCHIAVONI, S.; D'ALESSANDRO, F.; BIANCHI, F.; ASDRUBALI, F. Insulation materials for the building sector: A review and comparative analysis. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 62, p. 988–1011, 2016.

SDS. **Relação de CRAS em SC**. 2016. Disponível em: <http://www.sds.sc.gov.br>.

TORCELLINI, P.; PLESS, S.; DERU, M.; CRAWLEY, D. Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition. **ACEEE Summer Study Pacific Grove**, November 2014, p. 15, 2006.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **Energy Independence and Security Act Public Law**. 2007.

WESTPHAL, F. S. **Manual Técnico do Vidro Plano para Edificações**. São Paulo: Abividro, 2016