VII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
A inovação e o desafio do projeto na sociedade: A qualidade como alvo
Londrina, 17 a 19 de Novembro de 2021

SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL ENERGÉTICA DE SOLUÇÕES PASSIVAS EM RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR-CLIMA SUBTROPICAL[1]

ENERGY COMPUTER SIMULATION WITH PASSIVE SOLUTIONS ON UNIFAMILIAR RESIDENCE-SUBTROPICAL CLIMATE

FERNANDES, Tatiane Ballerini (1); BARBOSA, Lucas Sampaio (2); LEITE, Brenda Chaves Coelho (3)

(1) Universidade de São Paulo, tatiane.ballerini@usp.br

(2) Universidade de São Paulo, lucas.s.barbosa@usp.br

(3) Universidade de São Paulo, bcleite@usp.br

RESUMO

Diante do alto consumo de energia para os sistemas de condicionamento de ar, mostra-se de extrema importância o estudo de alterações passivas nos edifícios a fim de propiciar uma redução desta demanda. Utilizando-se de ferramentas de simulação computacional (SketchUp, OpenStudio e Energy Plus), este trabalho analisa a implementação de alterações passivas em uma casa de veraneio em clima subtropical, considerando a aplicação de envidraçamentos com propriedades distintas termofísicas e a instalação de brises em diferentes distanciamentos e fachadas. Estas alterações podem ser propostas e executadas mesmo em um edifício já em operação. Verificou-se também os impactos da utilização de ventilação natural durante uso e schedule estipulado. Ao analisar sete zonas térmicas da edificação e os resultados obtidos em um dia típico de verão com as diferentes configurações do edifício nas simulações, observou-se que o modelo apresentou melhor desempenho com o uso de brises nas fachadas leste e oeste, afastados 5 cm das mesmas e uso de HVAC. Foi possível verificar uma economia de até 20% no consumo de energia com o funcionamento do ar-condicionado dependendo do ambiente analisado. Esta economia pode chegar ao total de 600kWh mensais, mostrando a importância da utilização de alterações passivas para economia de energia.

Palavras-chave: *Análise energética. Soluções passivas. Simulação computacional. Conforto térmico.*

ABSTRACT

The high energy consumption by air conditioning systems, shows that the study of passive changes in buildings is extremely important in order to provide a reduction in this demand. Using computer simulation tools (SketchUp, OpenStudio and Energy Plus), this work analyzes the implementation of passive alterations in a high standard summer house considering the

[1] FERNANDES, Tatiane Ballerini; BARBOSA, Lucas Sampaio; LEITE, Brenda Chaves Coelho. Simulação computacional energética de soluções passivas em residência unifamiliar-clima subtropical. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO, 7., 2021, Londrina. **Anais...** Londrina: PPU/UEL/UEM, 2021. p. 1-10. DOI https://doi.org/10.29327/sbqp2021.438087

application of different thermophysical glass properties and the installation of brise-soleils on different facades and distance between them. These proposed changes can be implemented even in a building that is already operating. It was also verified the impacts of the use of natural ventilation during the use and schedule stipulated for the residence. Analyzing seven thermal zones of building on a typical summer day the simulations results analysis from the different configurations of the building, showed that the model which obtained better performance was the brise-soleils on the east and west facades, apart 5 cm between them) and use of HVAC. It was possible to verify savings with air conditioning operation consumption of up to 20%, varying each room. This savings can reach a total of 600kWh monthly. The results obtained show the importance of using passive changes to save energy.

***Keywords**: Energetic analysis. Passive solutions. Computer simulation. Thermal comfort.*

1 INTRODUÇÃO

Nos países desenvolvidos, o consumo de energia dos edifícios representa cerca de 20 a 40% do consumo total de energia (PÉREZ-LOMBARD *et al*., 2007). No Brasil, este consumo representa 51%, sendo que mais da metade desta participação vem dos edifícios residenciais. Estima-se que entre 2005 e 2017 o consumo de energia elétrica de condicionadores de ar teve um aumento de cerca de 217% no período (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2018). Levando estes números em consideração, esforços para reduzir o consumo de energia relacionado à climatização mostram-se bastante relevantes. Deve-se então, buscar alternativas que propiciem esta economia, como sistemas passivos, os quais são sistemas construtivos integrados ao edifício que favorecem o aproveitamento das fontes de calor ou frio do ambiente e entorno para o condicionamento do ar de forma natural (GONÇALVES; GRAÇA, 2004).

Uma dessas alternativas é a utilização de dispositivos de sombreamento como alteração passiva. Alguns destes dispositivos, como brises, por exemplo, são elementos que propiciam o controle seletivo de ganhos térmicos e podem ser instalados após o edifício estar em operação (CUNHA, 2011).

Devido às preocupações ambientais, a ventilação natural também se mostra como uma alternativa para remover o calor do interior de um edifício e estabelecer melhores condições de conforto térmico (GONÇALVES; GRAÇA, 2004) e, por conseguinte, o impacto ambiental gerado pelo uso indiscriminado dos sistemas de ar condicionado. Entretanto, a ventilação natural baseada em aberturas nas fachadas tem sua aplicabilidade limitada pelas características bioclimáticas locais e do tipo de edificação (LAMBERTS *et al., 2013)*.

Malkawi *et al.* (2016) afirmam que a utilização de simulação computacional como ferramenta para estimar a redução no consumo de energia quando se aplica ventilação natural, por exemplo, é indispensável e que o programa *Energy Plus* é um programa amplamente utilizado para tal. Neste contexto, a utilização de simulação computacional mostra-se como uma possibilidade bastante positiva, já que existe a possibilidade de testar várias combinações diferentes entre alterações passivas, ventilação natural e sistemas de condicionamento de ar paralelamente. Um estudo utilizando simulação computacional para analisar o uso de alterações passivas em um edifício em clima mediterrâneo verificou, por exemplo, que a substituição da envoltória transparente do edifício de janelas com vidros simples para vidros insulados possibilita uma redução de 10,4% no consumo de energia para condicionamento de ar no período do verão. Associando essa alteração às intervenções relacionadas ao isolamento térmico do envelope, o mesmo estudo

apontou uma economia de 20,3% e incluindo a instalação de brises, esta economia foi de 35,6% (LOMBARDO; CICERO, 2014). Estes resultados são fortes indicadores da aplicabilidade em edificações no Brasil em regiões com climas semelhantes ao do referido estudo.

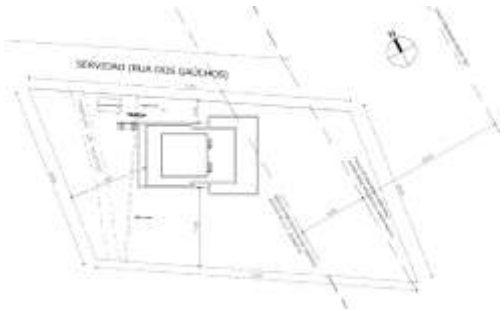
Bre (2017) estudou uma residência unifamiliar no litoral argentino, utilizando *software* de simulação *Energy Plus* e o *Non-dominated Sorting Genetic Algorithm-II* (NSGA-II) com análise de múltiplas combinações de estratégias passivas visando o melhor desempenho energético da edificação. Os resultados indicaram economia de até 82% comparada à configuração original do edifício, que carecia de climatização artificial.

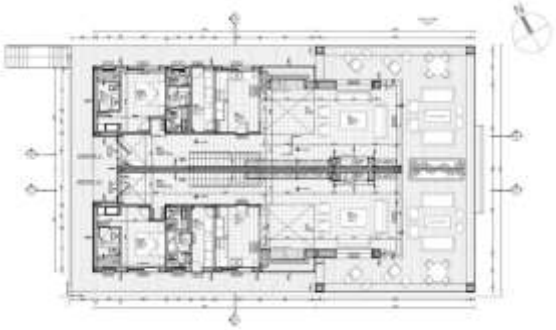
Neste sentido, o presente trabalho objetiva avaliar, por meio de simulação computacional (*software EnergyPlus)*, o potencial de redução do consumo de energia para condicionamento de ar em uma edificação residencial de alto padrão dotada de soluções passivas, localizada em Garopaba-SC, cujo clima é subtropical. Como soluções passivas, foram utilizados brises e a substituição dos vidros por outros tipos mais eficientes, além de considerar a ventilação natural.

2 MÉTODO DE TRABALHO

A proposta do trabalho foi desenvolver simulações computacionais com o *software EnergyPlus* a fim de obter a avaliação de desempenho da edificação. Primeiramente foi feito o modelo base, ou seja, uma residência de três pavimentos. O projeto utilizado das duas casas geminadas em Santa Catarina foi cedido por um escritório de arquitetura (arquivos de plantas baixas, cortes, fachadas e soluções construtivas em formato DWG e PDF). A residência escolhida foi a com fachada voltada ao Norte, devido à maior incidência solar (Figuras 1 e 2). A modelagem da Edificação foi realizada no software *Sketch Up Make* 2017, configurado no *plug-in Legacy Open Studio* versão 2.6 e depois no software *Energy Plus* Versão 8.9 com a inserção dos dados de entrada e simulação. Foram realizadas as simulações para o dia típico de verão de Garopaba-SC (21 de fevereiro).

Figura 1 – Situação Residências
Figura 2 – Pav. Térreo Residências





Fonte: Plantas Baixas cedidas pelo Escritório de Arquitetura.

A determinação dos *schedules* de ocupação, equipamentos e iluminação foi feita para seis usuários. Foi simulado e analisado o modelo base com e sem ventilação natural. Após, foram escolhidas as alterações passivas, as quais foram simuladas e os resultados analisados. Na simulação das alterações passivas com ventilação natural, todas as zonas térmicas ficaram com as temperaturas iguais à externa não sendo possível avaliar o impacto termoenergético, portanto, optou-se por simular as

alterações passivas com o modelo sem ventilação natural, a fim de avaliar a variação do conforto na solução escolhida. Em seguida, o modelo base foi simulado com sistema HVAC no Energy Plus e por fim a alteração passiva considerada mais vantajosa com sistema HVAC.

Pretendeu-se através desse estudo, comparar as soluções construtivas dentro do projeto original e as configurações passivas dentro das possibilidades da tecnologia do ambiente construído, além da análise da ventilação natural e artificial, priorizando o conforto do usuário e a economia de energia. Deste modo, com o modelo comparativo, obtém-se base para a proposta de outras alterações em diferentes regiões e edifícios. O conjunto das análises de simulação permite o desenvolvimento das conclusões para chegar a melhor resolução e adaptação do Projeto original.

Durante os trabalhos foram feitas as seguintes alterações no modelo base:

- Alteração I – Inclusão de brises com distanciamento de 27cm da parede ao redor de todo o 3º pavimento e na fachada norte do 2º pavimento;
- Alteração II – Redução do distanciamento dos brises para 5cm;
- Alteração III – Inclusão de brises com distanciamento de 5cm da parede nas fachadas leste e oeste do 2º pavimento;
- Alteração IV – Retirada dos brises e substituição dos vidros originais do modelo base por vidro comum com 8mm de espessura;
- Alteração V – Substituição dos vidros comuns 8mm por vidros reflecta insulado com 8mm de espessura (Propriedades térmicas do fornecedor Cebrace)
- Alteração VI – Reinclusão dos brises da alteração III e simulação com HVAC

3 CARACTERIZAÇÃO DO MODELO

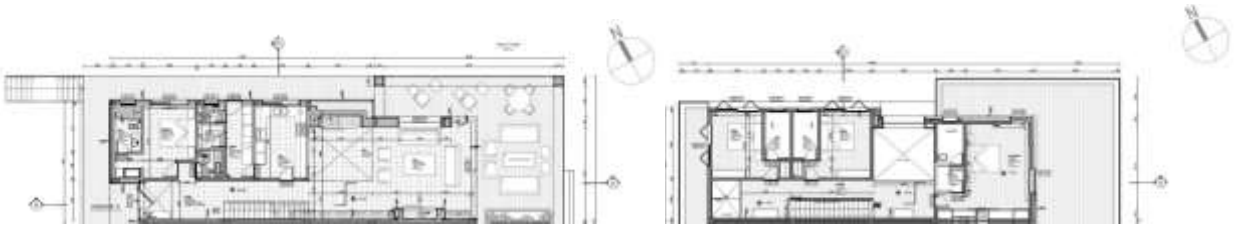
A residência em estudo é uma casa na Praia da Barra em Garopaba, Santa Catarina (Coordenadas Geográficas: -28.0861046, -48.6323052) situada na Zona Bioclimática Brasileira 3 (NBR 15220-3:2005). O clima local é o subtropical e utilizou-se o arquivo EPW de Florianópolis (aproximadamente 90 km de distância da residência), pois é o arquivo base disponível mais próximo da região, com características climáticas parecidas e estando ambas ao nível do mar. A temperatura máxima de bulbo seco utilizada é de 32,2 °C, com amplitude térmica de 6,8°C. Segundo *Climate-Data*, com dados coletados entre 1999 e 2019, Garopaba e Florianópolis possuem variação anual de temperatura de 8,5 °C sendo que 24.9 °C é a temperatura média do mês de Fevereiro em Florianópolis e 24,3 °C em Garopaba. (o mês mais quente nas duas cidades)

Para a configuração dos *schedules*, foi considerado como referência o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais (RTQ-R). As simulações foram feitas para um dia típico de verão considerando a rotina diária de férias de uma família de seis pessoas. O *schedule* de ocupação contemplou o uso dos dormitórios, sala, cozinha e banho, sendo que das 10h às 12h e das 16h às 19h, a casa está totalmente desocupada. Nos demais horários foi feito um *schedule* de ocupação dos dormitórios das 21h às 10h, conforme padrão do RTQ-R aos fins de semana. A densidade de potência de iluminação (DPI) foi de 5 W/m² e 6W/m² para dormitórios e sala, respectivamente, e cargas internas de equipamentos de 1,5 W/m², segundo o mesmo regulamento. A temperatura do solo considerada foi de 18°C, padrão do *Energy Plus*.

A planta baixa geral abrange duas casas geminadas que formam uma única edificação, porém, foi modelada apenas metade da construção que caracteriza o uso de uma residência completa por uma família. (Figuras 3 e 4). Para a composição dos fechamentos da edificação, as soluções construtivas para paredes internas entre duas áreas secas (dormitórios, sala de estar, corredores e depósitos) de 16cm de espessura, possuem reboco de 1cm das duas faces e alvenaria de 14cm. As paredes que fazem divisa entre as duas residências foram consideradas como adiabáticas.

Figura 3- Casa geminada modelada- Pav. Térreo

Figura 4- Casa geminada modelada- Pav. Superior



Fonte: Plantas Baixas cedidas pelo escritório de Arquitetura

Para as paredes externas de áreas secas com 33cm de espessura foram utilizados madeira com 2cm, camada de ar de 5cm, argamassa de gesso de 1cm, alvenaria 24cm e reboco de 1cm. Verificar propriedades térmicas dos materiais na Tabela 1 com propriedades adaptadas de fabricantes e de Lamberts *et. al.* (2013).

As paredes internas entre uma área seca e uma molhada (cozinha e banheiros) de 16cm foram configuradas com reboco 1cm, alvenaria 14cm, argamassa 0,5cm e revestimento cerâmico 0,5cm. As paredes internas entre duas áreas molhadas possuem 0,5cm de revestimento cerâmico, 0,5cm de argamassa, 14cm de alvenaria, 0,5cm argamassa e 0,5cm de revestimento cerâmico. As paredes externas de áreas molhadas de 33cm são compostas por madeira 2cm, camada de ar 5cm, argamassa de gesso 1cm, alvenaria 24cm, argamassa de 0,5cm e revestimento cerâmico 0,5cm.

Com relação aos pisos, o piso interno de madeira do 2° pav. com 45cm de espessura total foi composto por madeira 2cm espessura, camada de ar de 5cm, 20cm de material isolante térmico e 18cm de laje de concreto. O piso de madeira da varanda no térreo, de 17cm de espessura total é composto por 2cm de madeira, 5cm de camada de ar e mais 10cm de laje. O piso cerâmico do térreo, de 41cm é composto por 0,5cm cerâmica, 0,5cm de argamassa, 20cm de material isolante térmico e 20cm de laje. A laje do deck do 2° pav., com 17cm de espessura, com 2cm de madeira, 5cm de ar, 23cm de material isolante térmico, 10cm de laje. O piso da varanda é de vidro de 20mm. A laje do 3° pav. tem 10cm de espessura. O isolante térmico utilizado foi a espuma rígida de poliuretano.

Tabela 1 – Propriedades térmicas dos materias da simulação

Material	Espessura	Calor específico	Absortância Solar	Condutividade	Densidade
Argamassa Cola	0,5cm	1000 J/Kg.K	0,70	1,15 W/m.K	2000 Kg/m³
Bloco Cerâmico	14/24cm	1920 J/Kg.K	0,70	0,9 W/m.K	1500 Kg/m³
Isolante Poliuretano	20/23cm	1670 J/Kg.K	0,50	0,03 W/m.K	35 Kg/m³
Laje	10/15/18/20cm	1000 J/Kg.K	0,70	1,75 W/m.K	2300 Kg/m³
Madeira	2cm	1340 J/Kg.K	0,90	0,15 W/m²K	500 Kg/m³
Reboco-Argamassa	1cm	840 J/Kg.K	0,70	0,70 W/m²K	1200 Kg/m³
Revestimento Cerâmico	0,5cm	920 J/Kg.K	0,20	0,90 W/m²K	1500 Kg/m³

Fonte: Os autores (2020)

Todas as portas foram configuradas com madeira de 2cm de espessura, as janelas com vidro 0,6cm, a laje do 3° Pavimento com 10cm de espessura. A cobertura do vidro da varanda foi configurada com 20mm. A laje da cobertura é vegetada, e é composta por plantas de 20cm de altura, substrato de 15cm e a laje de 15cm. Para os vidros de 6mm as propriedades inseridas foram de U= 3,13 W/m²K e Fator solar= 0,29. Os vidros de 8mm com U= 5,7 W/m²K e Fator solar= 0,43, já o vidro de 8mm insulado verde com U= 2,80 W/m²K e Fator solar= 0,27. O vidro de 20mm da cobertura da varanda foi de U=1,60Wm²K e fator solar= 0,35.

As zonas térmicas analisadas no estudo (Figura 5) são aquelas que correspondem aos ambientes de longa permanência, sendo eles: sala, cozinha, quatro dormitórios e academia. Para a correção da posição do Norte do modelo, editou-se no *Energy Plus* a aba *Building*, com a configuração de *North Axis* a 70°. O *constant heating setpoint* do ar condicionado foi configurado em 21°C e o *cooling setpoint a 24°C*. Para os dados de saída da simulação foram configuradas a temperatura externa de bulbo seco e a temperatura média de cada zona, fornecidas de hora em hora.

Figura 5 – Zonas térmicas analisadas

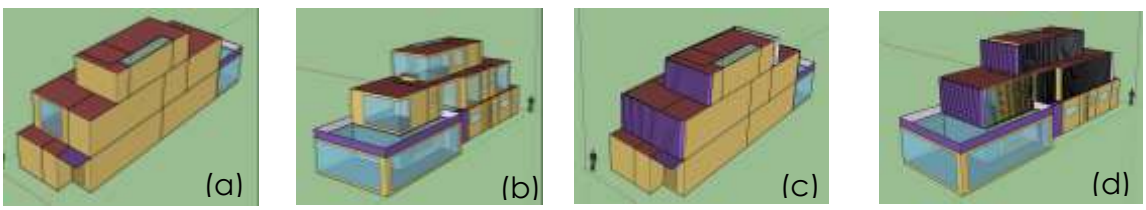


Fonte: Os autores (2020)

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Após o desenvolvimento da geometria do projeto original, observando os arquivos disponíveis de plantas baixas, cortes e fachadas arquitetônicas, foi obtido o Modelo Base no Software Sketch Up ilustrado na Figura 6(a) e 6(b).

Figura 6 – Modelo Base (a)(b) e Modelo com Adição de Brises em 3 fachadas (c)(d)



Fonte: Os autores (2020)

Foram comparadas e analisadas sete zonas térmicas da edificação, sendo elas: sala, cozinha, academia, dormitório 1, dormitório 2, dormitório 3, dormitório 4 e seu comportamento em um dia típico de verão. Observou-se que a temperatura da varanda acompanha a temperatura externa, pois esta área é aberta. Sendo assim, foi modelada com fechamento para que fosse considerada como uma zona

térmica e configurada para estar com os fechamentos sempre abertos. Como a temperatura desta área mostrou-se sempre similar à temperatura externa, a sua análise neste trabalho se fez desnecessária.

A Tabela 2 apresenta um compilado dos resultados da simulação dos modelos propostos, com as temperaturas de ambiente máximas, mínimas e média obtidas em cada simulação e um mapa de cores onde a cor vermelha representa as maiores temperaturas e a verde as menores temperaturas. Considerando temperatura de conforto entre 22,5ºC e 25,5ºC segundo a NBR 16401-2 (ABNT, 2008). As subseções a seguir apresentam uma análise destes resultados obtidos.

Modelo base sem ventilação natural - A análise da simulação permitiu observar que a simulação do modelo sem ventilação natural com a casa fechada, apresenta a maior temperatura no dia típico de verão às 16:00h, na academia, sendo ela 42,82ºC. Verificou-se que devido à orientação das fachadas (Ver figuras 5 e 6), os ambientes que estão voltados para leste apresentam os picos de carga térmica no período da manhã e ambientes voltados para oeste apresentam os picos de carga térmica no período da tarde. A menor temperatura foi observada às 6h da manhã na academia, com valor de 30,86 °C. A média da temperatura obtida entre todos os cômodos analisados foi de 36,53°C.

Tabela 2 – Temperaturas ambiente máximas, mínimas e médias dos modelos propostos.

		Temperatura Externa	Base (Com Ventilação Natural)	Base (Sem Ventilação natural)	Brise 27cm - Alteração I	Brise 05cm - Alteração II	Brise 05cm (Fachadas Laterais) - Alteração III	Vidro Comum 8mm - Alteração IV	Vidro Reflecta - Alteração V	Brise + Vidros Reflecta - Alteração VI
Academia	Maior	32,20	32,30	42,82	41,55	41,58	41,54	44,92	43,03	41,70
	Menor	25,46	25,57	30,86	30,36	30,51	30,47	30,55	31,02	30,59
	Média	28,55	28,70	36,53	35,48	35,68	35,64	37,33	36,68	35,77
Cozinha	Maior	32,20	31,54	36,01	35,42	35,45	35,19	36,70	36,08	35,23
	Menor	25,46	25,83	34,58	33,97	34,01	33,72	34,98	34,67	33,78
	Média	28,55	28,61	35,24	34,64	34,68	34,41	35,95	35,31	34,45
Dormitório 01	Maior	32,20	30,53	35,41	34,62	35,00	34,89	36,34	35,46	34,93
	Menor	25,46	26,65	34,41	33,68	34,05	33,93	34,84	34,47	33,97
	Média	28,55	28,55	34,74	34,01	34,35	34,23	35,43	34,79	34,27
Dormitório 02	Maior	32,20	32,22	41,04	40,23	40,20	37,03	43,35	41,10	37,20
	Menor	25,46	25,62	36,79	35,90	35,96	34,93	36,48	37,05	35,12
	Média	28,55	28,67	38,80	37,83	37,91	36,00	39,70	39,00	36,15
Dormitório 03	Maior	32,20	31,93	37,71	36,41	36,32	36,03	40,16	37,90	36,13
	Menor	25,46	25,96	35,84	34,98	34,98	34,69	36,13	36,04	34,83
	Média	28,55	28,75	36,69	35,67	35,62	35,33	37,66	36,88	35,45
Dormitório 04	Maior	32,20	32,17	41,06	40,08	39,88	37,34	44,40	41,07	37,42
	Menor	25,46	25,96	35,61	34,73	34,97	34,40	35,46	35,86	34,58
	Média	28,55	28,86	37,41	36,49	36,57	35,60	38,40	37,62	35,76
Sala	Maior	32,20	31,75	35,65	35,13	35,07	34,80	36,77	35,71	34,83
	Menor	25,46	25,56	34,35	33,85	33,75	33,45	34,72	34,44	33,52
	Média	28,55	28,51	35,06	34,57	34,48	34,20	35,77	35,14	34,23
Geral	Maior	32,20	32,30	42,82	41,55	41,58	41,54	44,92	43,03	41,70
	Menor	25,46	25,56	30,86	30,36	30,51	30,47	30,55	31,02	30,59
	Média	28,55	28,66	36,35	35,53	35,61	35,06	37,18	36,49	35,16

Fonte: Os autores (2020)

Modelo base com ventilação natural - Em comparação com o modelo sem ventilação natural, observou-se uma redução de 7,69ºC na temperatura média geral. Devido ao alto percentual de abertura de fechamento transparente, é possível verificar uma tendência de equilíbrio entre a temperatura externa e a temperatura interna quando considerada a abertura das janelas. Esse padrão se repetiu inclusive com as alterações propostas. Mesmo com temperaturas mais amenas do modelo com ventilação natural, não foi possível atingir a faixa das

temperaturas de conforto, sendo necessárias adaptações no projeto ou uso de ar condicionado. Por este motivo, a análise das propostas de intervenção a seguir foi feita apenas levando em consideração os resultados obtidos sem ventilação natural.

Modelo com adição de brises a 27 cm da fachada no 2º Pav. (fachada norte) e 3º Pav. inteiro - Como primeira alteração proposta foi feita a adição de brises no segundo e terceiro pavimento da edificação, afastados 27cm das fachadas, com exceção das fachadas oeste e leste do segundo pavimento. As temperaturas das zonas térmicas apresentam tendências similares às dos modelos base, sendo a sala e a academia as zonas com as maiores amplitudes térmicas da residência. No entanto, verificou-se uma redução destes valores. No Dormitório 03, por exemplo, a redução da amplitude foi da ordem 1,3ºC. A comparação entre as temperaturas obtidas no dormitório 03 durante as simulações do modelo base sem ventilação natural, com ventilação e a alteração proposta.

Modelo com adição de Brises afastado a 5cm da fachada no 2° Pav. (Fachada Norte) e 3° Pavimento Inteiro - Foi diminuída a distância entre a parede e os brises de 27cm para 5cm. Ao analisar os resultados, é possível afirmar que esta alteração resultou em diferenças de no máximo 0,38ºC, em comparação com o modelo apresentado anteriormente. Sendo que a maior variação, detectada no Dormitório 01, foi da ordem de 1,1%.

Modelo com adição de Brises 5cm afastados da fachada em 3 fachadas do 3° nível (cobertura), + Brises nas Fachadas leste e oeste do 2° Pavimento - Na alteração III, os brises foram afastados 5cm da fachada, implantados nas três fachadas do 3º Pavimento e foram adicionados brises nas fachadas Leste e Oeste do 2º pavimento, conforme Figuras 6(c) e 6(d). Com esta alteração, observou-se uma atenuação da elevação de carga nas fachadas leste e oeste nos períodos da manhã e da tarde, respectivamente, devido à incidência solar direta ser barrada pelos brises propostos. No dormitório 02, às 10h a temperatura ambiente do modelo da alteração II era de 40,2ºC. Já com a alteração III, a temperatura ambiente no mesmo horário foi de 35,75ºC, o que representa uma redução de aproximadamente 4,5ºC. A análise dos dados da Tabela 2 permite perceber que a alteração III obteve melhores resultados em termos de conforto térmico, quando levados em consideração apenas os modelos sem ventilação natural.

Modelo com mudança nas características do vidro de 6mm para 8mm - Neste modelo, foi considerada a substituição do vidro de 6mm com características de U=3,139 W/m²K e FS= 0, 29, por um vidro de 8mm com U=5,70 W/m²K e FS= 0, 43. Nesta simulação observa-se uma elevação da carga térmica em todos os ambientes analisados devido ao aumento do fator solar com a troca do vidro de 6mm para 8mm, não sendo considerada uma boa solução. Este aumento foi de até 18,9%, no Dormitório 04, passando de 41,06°C para 44,40°C.

Modelo com mudança da característica do vidro 8mm - Reflecta Verde Insulado - Nesta alteração proposta, o vidro de 8mm comum foi substituído por um vidro reflecta verde insulado de 8mm com propriedades U=2,80 W/m²K e FS= 0,27. A alteração por vidro insulado permitiu perceber a diminuição do valor da transmitância térmica numa ordem de 0,3 W/m²K e do fator solar em 0,2. Com esta alteração, detectou-se um leve aumento na temperatura de até 0,75% em relação aos vidros originais do projeto com as mesmas condições de sombreamento. No Dormitório 02 subiu de 36,79°C para 37,05°C. Torna-se, portanto inviável a aplicação

dele, devido ao seu alto custo e não obtenção de resultados positivos no conforto térmico da edificação.

Modelo com mudança da característica do vidro para 8mm - Reflecta com brises - Nesta alteração foi considerada a combinação das aterações III e V. De forma análoga à comparação anterior, percebeu-se um leve aumento de até 0,55% na temperatura do Dormitório 02, de 34,93°C para 35,12°C, concluindo a inviabilidade da sua implantação devido ao custo e sem resultados suficientemente positivos.

Análise do Modelo original sem ventilação + HVAC e Modelo com alterações + HVAC - Em um dia típico de verão, nem a ventilação natural e nem as alterações passivas foram capazes de atender às condições de conforto térmico necessárias. Tal fato ocorre devido às altas temperaturas da região durante um dia típico de verão. Faz-se necessária, portanto, a utilização de condicionamento de ar.

Após a conclusão de que o modelo da alteração III apresentou os melhores resultados, foram feitos modelos incluindo condicionamento de ar por expansão direta utilizando o modelo base sem ventilação natural e o modelo da alteração III.

A Tabela 2 apresenta as cargas máximas em BTU/h por ambiente nas duas condições analisadas. Apenas em um ambiente (sala) houve um aumento da carga térmica máxima no modelo com alterações passivas. No entanto, ao analisar o consumo diário de cada ambiente é possível verificar que em todos os ambientes a carga diária consumida é menor em todos os ambientes, podendo chegar em até 20% de economia no Dormitório 2 e 8,47% no total.

Tabela 2 - Carga Máxima em BTU/h e consumo em KWh/dia do modelo base sem ventilação natural + HVAC (*) e com alteração III sem ventilação+ HVAC (**)

Ambiente	Academia	Sala	Dorm 01	Dorm 02	Dorm 03	Dorm 04
Carga Máxima*	11805.16	18300.52	1920.878	7980.627	3098.938	5846.586
Carga Máxima**	10871.79	18834.43	1898.699	5499.563	2584.282	4115.203
Consumo *	44.95868	97.10784	11.16224	42.29239	16.22466	25.81438
Consumo **	41.74743	94.8317	11.0079	33.83131	14.30154	21.71647
Diferença	**7.14%**	**2.34%**	**1.38%**	**20.01%**	**11.85%**	**15.87%**

Fonte: Os autores (2020)

5 CONCLUSÕES

Após todas as análises das simulações, a solução mais vantajosa dentre as alterações passivas utilizadas, foi a alteração III: modelo com três fachadas do 3º pavimento utilizando brises afastados 5 cm da fachada + brises na fachada leste e oeste do 2º pavimento (Verificar orientação solar nas figuras 5 e 6).

Para a análise do uso do sistema HVAC, utilizaram-se os modelos sem alterações e com a melhor alteração passiva (III). Para a aquisição das máquinas de ar condicionado, com o dimensionamento baseado na carga para cada ambiente, foi realizada a escolha das capacidades de 18.000 BTU para a sala e 12.000 BTU para a academia. Embora, a solução com ventilação natural do modelo original tenha apresentado melhor desempenho térmico do que com as alterações propostas, essa solução não conseguiu eliminar o uso de um sistema de ar condicionado. Portanto, as alterações passivas propostas são uma boa alternativa

apenas para reduzir a carga térmica, reduzindo o consumo do sistema de ar condicionado.

Com o uso do Sistema HVAC no modelo original, foi possível identificar no verão uma economia no consumo diário de 20 kWh. Conclui-se, finalmente, que das soluções passivas propostas, a alteração III, que possui brises em todas as fachadas do 2º e 3º pavimentos com distanciamento de 5cm da parede e os vidros originais do projeto se mostrou ser mais eficiente e o projeto arquitetônico original não exclui o uso de ar condicionado para se obter condições de conforto térmico no seu interior.

REFERÊNCIAS

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. NBR 6023**: Informação e documentação - Referências - Elaboração. Rio de Janeiro, 2002a.

_____. **NBR 16401-2: Instalações de ar-condicionado- Sistemas centrais e unitários. Parte 2**: Parâmetros de conforto térmico. Rio de Janeiro: ABNT, 2008. 11 p.

_____. **NBR 16401-2: Desempenho térmico de edificações – Parte 3**: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro: ABNT, 2008. p. 11-22.

BRE, Facundo; FACHINOTTI, Victor D. **A computational multi-objective optimization method to improve energy efficiency and thermal comfort in dwellings. Energy and Buildings,** v. 154, n. 1, p. 283-294, 2017

CLIMATE-DATA. **Clima Garopaba e Florianópolis**. Disponível em: https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/santa-catarina/garopaba-43893/. Acesso em 05 de set. 2021.

CUNHA, Eduardo Grala da. **Mitos e verdades sobre o brise-soleil: da estética à eficiência energética**. Arquiteturarevista, Rio Grande do Sul, v. 7, ed. 1, p. 73-80, 30 jun. 2011.

GONÇALVES, Helder; GRAÇA, João Mariz. **Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal**. Lisboa, Portugal: Ineti, 2004. 52 p. ISBN 972-8268-34-3.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando. **Eficiência Energética na Arquitetura**. São Paulo, 3º edição, 2013

LOMBARDO, Grazia; CICERO, Chiara. *Simulation analysis of improved envelope measures for modern buildings in the Mediterranean climate*. ***International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development***, [S. l.], p. 53-60, 10 mar. 2014.

MALKAWI, Ali *et al*. ***Predicting thermal and energy performance of mixed-mode ventilation using an integrated simulation approach***. *Building Simulating*, [*S. l.*], v. 9, p. 335-346, 7 jan. 2016.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (Brasil). Empresa de Pesquisa Energética - EPE. Nota Técnica EPE 030/2018. **Uso de Ar Condicionado no Setor Residencial Brasileiro**: Perspectivas e contribuições para o avanço em eficiência energética, [*S. l.*], 13 dez. 2018.

PÉREZ-LOMBARD, Luis *et al*. ***A review on buildings energy consumption information.*** *Energy and* Buildins, [*S. l.*], v. 40, n. 3, p. 394-398, 15 mar. 2007.

REGULAMENTO TÉCNICO DA QUALIDADE DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS (RTQ-R). Tabela 3.39. Página 106.