

Análise das condições de conforto térmico dos usuários: avaliação de ambientes naturalmente ventilados em campus universitário

Analysis of the occupants thermal comfort conditions: evaluation of naturally ventilated environments in university campus

Raquel Diniz Oliveira

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG)

Av. Amazonas, 7675. Prédio 12, Campus II, Gabinete 221. Belo Horizonte-MG, 30510-000

raqueldiniz@cefetmg.br

Ludmylla Faria de Freitas

CEFET-MG

Av. Amazonas 7675, Belo Horizonte – MG – BR, 30510-000

ludfreittas@gmail.com

Frederico Romagnoli S. Lima

CEFET-MG

Av. Amazonas, 7675. Prédio 06, Campus II. Belo Horizonte-MG, 30510-000

fredericolima@cefetmg.br

Matheus de Andrade Duarte

CEFET-MG

Av. Amazonas 7675, Belo Horizonte – MG – BR, 30510-000

matheusdeandradeduarte@gmail.com

Murilo Campos Araújo

CEFET-MG

Av. Amazonas 7675, Belo Horizonte – MG – BR, 30510-000

murilo.campos@live.com

Código del manuscrito: 02_002

Fecha de aceptación: 04/10/2019

Resumo

No cenário brasileiro, de modo geral, verifica-se temperaturas internas elevadas, bem como, desconforto térmico dos usuários de espaços com aglomeração de pessoas e fontes significativas de geração de calor. Ambientes confortáveis termicamente tendem a aumentar a produtividade das atividades humanas. Verifica-se que, sob o efeito de temperaturas inadequadas, ruído excessivo e/ou iluminação insatisfatória, os indivíduos tendem a buscar meios para garantir melhores condições para utilização do espaço, especialmente em instituições de ensino, cujo desconforto ambiental pode influenciar negativamente o desempenho dos alunos. Diversos estudos têm sido feitos em prol da melhoria das condições térmicas nos ambientes e diagnósticos do acervo edificado.

Nesse contexto, o objetivo do presente estudo consiste em analisar o conforto térmico dos usuários, por meio de simulação computacional, em ambientes distintos e naturalmente ventilados de permanência prolongada no campus II do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), localizado na cidade de Belo Horizonte, Minas Gerais – BR, conforme parâmetros da ASHRAE 55/2017 e propor modificações que propiciem a melhoria das suas condições de conforto

Palavras chave: Conforto térmico, simulações termo energéticas, ventilação natural, edificação escolar.

Abstract

In Brazil, human thermal discomfort and high indoor temperatures can be observed in crowded spaces characterized by significant sources of heat. The human productivity level related to their activities can be improved in thermally comfortable rooms. People use to seek ways to ensure better environmental conditions, especially in scholar contexts that the compliance of its lighting systems and its building thermal acoustic parameters play an important role for student performances. Several studies related to indoor thermal condition improvements and building stock assessment have been done. In this context, the aim of this work was to analyze the thermal comfort conditions, through computer simulation, of the naturally ventilated environments of prolonged permanence in campus II of the Federal Center of Technological Education of Minas Gerais (CEFET-MG), in Belo Horizonte, Brazil, according to the parameters of ASHRAE 55/2017 and propose modifications that can favor the improvement of the room comfort conditions.

Keywords: Thermal comfort, thermo-energetic simulation, natural ventilation, school building.

Introdução

O conforto térmico pode ser definido como uma condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico ao seu redor. As condições ambientais de conforto variam de acordo com as necessidades de cada indivíduo, devido às divergências físicas e psicológicas entre cada um. Assim, obter a completa satisfação de todos os usuários que ocupam um determinado espaço poderá se mostrar como uma tarefa intangível (ASHRAE, 2010).

O conforto térmico de usuários de um ambiente é um dos fatores essenciais para caracterizar uma condição de aceitabilidade, sendo perceptível seu impacto no seu rendimento. Entretanto, assegurar tais condições, geralmente, ocasiona em um aumento do consumo de energia da edificação, além de impactar na grande utilização de recursos naturais para a produção energética, junto com a alta taxa de emissões de poluentes gerados durante o processo. Nesse sentido, se faz importante o estudo do conforto térmico em edifícios naturalmente ventilados, de forma a conhecer a sensação térmica do ambiente e, a partir disso, estabelecer medidas para a manutenção das condições de conforto com um menor gasto energético possível (ALMEIDA, 2010).

Como forma de avaliar o conforto térmico dos usuários em um determinado ambiente, a *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE) apresenta, como resultado de estudos laboratoriais e dados estatísticos, por meio da norma ASHRAE 55/2017, um método opcional para ambientes naturalmente ventilados a fim de determinar condições térmicas confortáveis para faixas de 80% (normativa) e 90% (informativa) de aceitação dos usuários de um espaço em relação ao conforto térmico (Figura 1) (ASHRAE, 2010).

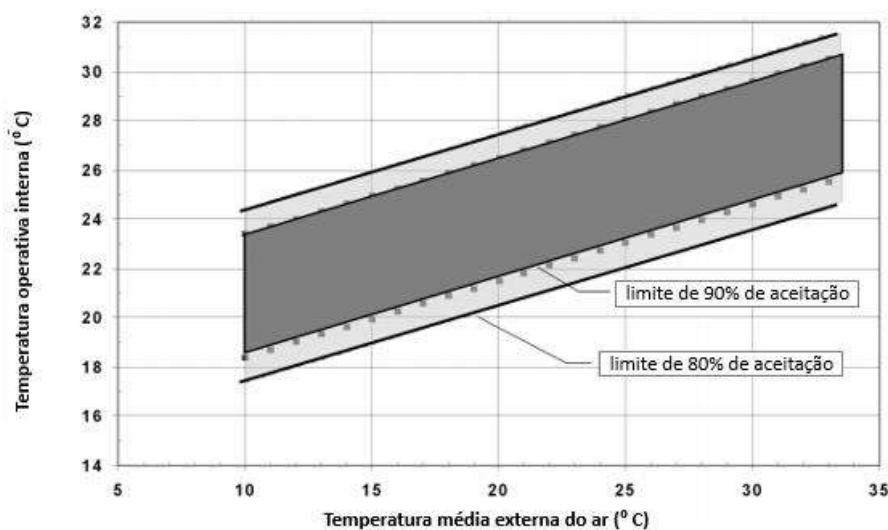


Figura 1 – Faixas de temperatura operativa aceitáveis para espaços naturalmente ventilados. Fonte: ASHRAE 55, 2017 p. 15. Tradução nossa.

Nesse contexto, o objetivo do presente estudo consiste em analisar o conforto térmico dos usuários, por meio de simulação computacional, em ambientes distintos e naturalmente ventilados de permanência prolongada no campus II do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), localizado na cidade de Belo Horizonte, Minas Gerais – BR, conforme parâmetros da ASHRAE 55/2017 e propor modificações que propiciem a melhoria das condições de conforto no espaço.

Estado da arte do problema

Discussões acerca da adoção de ventilação natural como estratégia passiva para a climatização de ambientes têm se tornado cada vez mais recorrente para o cumprimento do objetivo de redução no consumo energético. Para Chow et

al. (2010) a adoção da ventilação natural como estratégia para a climatização, quando projetada adequadamente, conforme as especificidades das condições climáticas locais, pode apresentar resultados tão efetivos quanto o condicionamento artificial na manutenção das condições de conforto térmico dos usuários.

Nakamura *et al.* (2013), avaliaram o impacto da aplicação de medidas de conservação de energia, tais como parede envidraçada com câmara de ar e alvenaria, brises, aberturas zenitais, absorvância das paredes externas, demonstrando que o nível de conforto dos modelos propostos alcançou índices superiores em comparação ao modelo original, sendo a alternativa com parede envidraçada, câmara de ar e alvenaria aquela que apresentou melhores resultados. Bellia *et al.* (2014) realizaram estudos utilizando dispositivos de proteção solar como estratégia passiva de conforto térmico, evitando o aumento da temperatura interna dos ambientes, reduzindo, conseqüentemente, o consumo de energia destinada a condicionamento artificial. Zhao e Yang (2017) ressaltam que, em regiões nas quais o calor predomina, pode-se investir em medidas de sombreamento e isolamento de janelas exteriores.

Para Wang *et al.* (2014), é imprescindível a adoção de medidas mais sustentáveis nas edificações que garantam tanto os níveis de conforto ambiental quanto a redução do consumo energético. Dos Santos *et al.* (2017) em seu estudo de análise de conforto térmico em escolas públicas na cidade de João Pessoa/PB, observou que a orientação, forma e materiais constituintes das salas de aula analisadas contribuíam para a retenção do calor nos ambientes e ressaltou a necessidade de intervenções a serem realizadas nos edifícios escolares que visem à melhoria das condições ambientais para usuários de escolas públicas do país. Para Nico-Rodrigues *et al.* (2015) a utilização de janelas mais eficientes para ventilação natural como condicionamento térmico passivo contribui para melhoria do conforto térmico em ambientes naturalmente ventilados. Cabe ressaltar que cada projeto deve ser combinado às suas próprias circunstâncias e condições específicas do local, por isso cada edifício requer uma análise individualizada levando em consideração suas características específicas (ZHAO; YANG, 2017).

Metodología

A metodologia do presente estudo pode ser dividida em 4 fases principais (Figura 2).

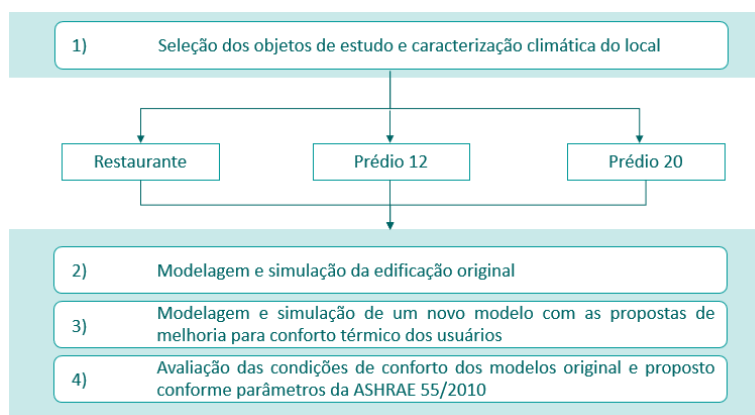


Figura 2 – Diagrama das etapas metodológicas. Fonte: Elaboração própria, 2019.

Seleção dos objetos de estudo e caracterização climática do local

A pesquisa é baseada no estudo de caso do conforto térmico dos usuários em ambientes naturalmente ventilados de permanência prolongada do campus II do CEFET-MG, localizado na cidade de Belo Horizonte, Minas Gerais – BR.

A cidade de Belo Horizonte (Latitude: 19°28' Sul, Longitude: 43°57' Oeste; Altitude: 767 m), localizada em Minas Gerais – Brasil, apresenta clima subtropical úmido, com verões moderadamente quentes e úmidos e invernos secos. A

temperatura é em geral amena, com médias mensais que variam de 19.1°C a 23.8°C, sendo a média anual de 21.8°C (CORREA *et. al*, 2005).

As edificações selecionadas para a avaliação das condições de conforto dos ambientes de permanência prolongada foram: restaurante, prédio 12 e prédio 20 (Figura 3). A seleção dos objetos de estudo iniciou-se devido constatação do desconforto térmico relatado pelos usuários, além de se tratar das edificações do campus que abrigam o maior número de alunos, professores e servidores públicos.

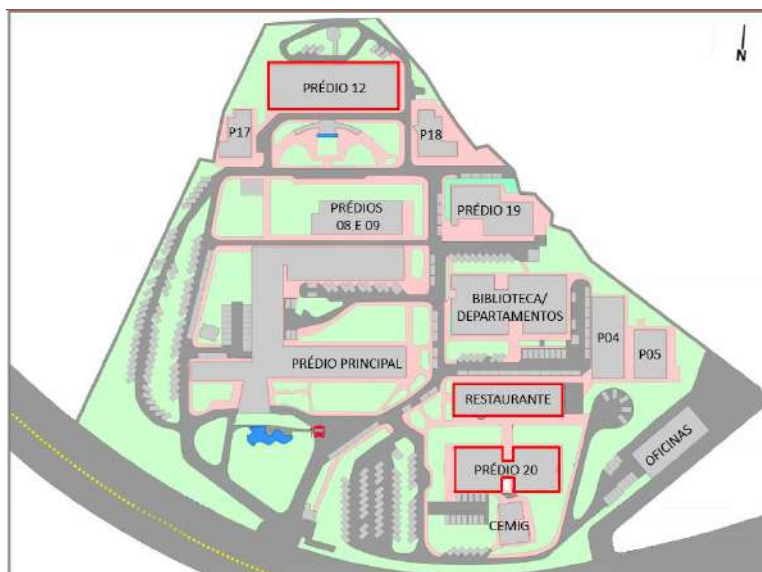


Figura 3 – Mapa CEFET-MG campus II. Fonte: Adaptado de CEFET, 2019.

Modelagem e simulação da edificação original

A modelagem simplificada das geometrias tridimensionais foi realizada por meio do *software* gratuito SketchUp Make versão 2017. Com auxílio do *plug-in* Euclid versão 0.9.3 fez-se a compatibilização do SketchUp com o EnergyPlus versão 8.7.0, programa computacional de simulação termo energética gratuito. Para tais simulações, foi utilizado o arquivo de clima Belo Horizonte-Pampulha 835830 (SWERA), disponível no site oficial do *EnergyPlus*.

Para simulação e análise das edificações no *EnergyPlus*, primeiramente fez-se a construção da geometria de cada um dos modelos selecionado como estudo de caso no *SketchUp*, sendo cada ambiente de uma edificação correspondia a uma zona térmica criada com auxílio do *plug-in* Euclid. Após modelagem da geometria, realizou-se a entrada dos dados específicos de cada edificação no *EnergyPlus*, sendo eles: dados construtivos, arquivo climático correspondente a localização do estudo, período de simulação, rotinas de uso e ocupação, materiais construtivos, cargas térmicas referente aos ocupantes, equipamentos e iluminação. As simulações foram realizadas ao longo de um ano completo, totalizando 8760 horas simuladas.

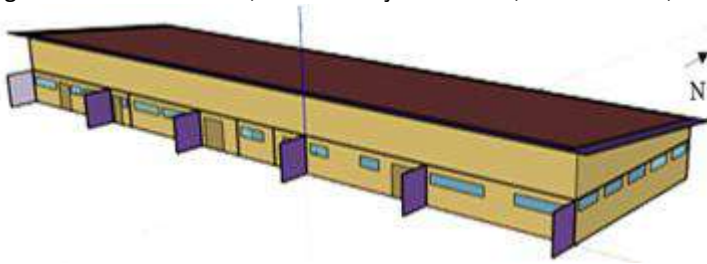
Restaurante

O prédio possui aproximadamente 681m² e é composto por cozinha, sala de nutricionista, sala de lavação, salão de refeições, almoxarifado, recepção, sanitários, além das dependências do Diretório Central dos Estudantes (DCE) (Figura 4). O estudo foi realizado para o salão de alimentação e cozinha e cocção, pois são os cômodos nos quais há maior fluxo pessoas e dissipação de calor.



Figura 4 – Planta baixa do restaurante. Fonte: Adaptado de CEFET-MG, [201-].

O modelo termoenergético para simulação foi definido com características semelhantes a edificação existente no que tange a volumetria, orientação solar, materiais, componentes construtivos e aberturas



(
Figura 5).

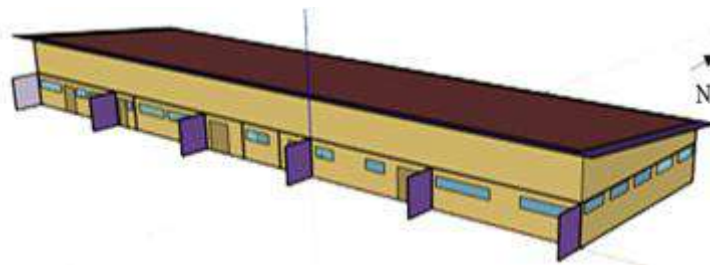
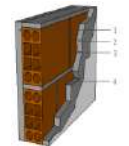
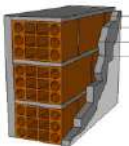


Figura 5 – Geometria restaurante. Fonte: Elaboração Própria, 2019.

A envoltória da edificação é caracterizada por diferentes tipos de vedação vertical e uma opção de vedação horizontal. Com base nas transmitâncias da cobertura e paredes da edificação (Tabela 1), calculou-se a média das transmitâncias de cada parcela das paredes e cobertura ponderadas pela área que ocupam, resultando na transmitância média total com valor de $1.24 \text{ W/m}^2\text{K}$. A absorptância à radiação solar das superfícies externas foi de 0,7, para a parede e 0,4, para a cobertura. As portas do tipo veneziana e esquadrias são de alumínio com acabamento na cor preta e janelas são do tipo máximo ar, com vidros simples de 4mm.

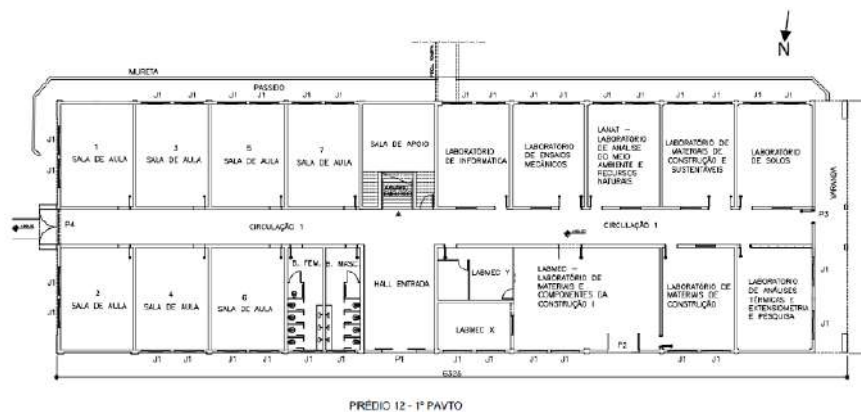
Tabela 1 – Tipologia e transmitância térmica restaurante. Fonte: Adaptado de ABNT, 2005.

Tipologia	Vedação	Composição	U (W/m ² K)
Parede (15cm)		1) Revestimento cerâmico (8mm) 2) Argamassa interna (3,0cm) 3) Bloco cerâmico (9,0 x 14,0 x 29,0cm) 4) Argamassa externa (3,0cm) 5) Revestimento cerâmica (8mm)	2,28
Parede (20cm)		1) Argamassa interna (2,5cm) 2) Bloco cerâmico (9,0 x 14,0 x 29,0cm) 3) Argamassa externa (2,5cm) 4) Revestimento cerâmica (8mm)	2,00
Parede (25cm)		1) Revestimento cerâmica (8mm) 2) Argamassa interna (2,5cm) 3) Bloco cerâmico (9,0 x 14,0 x 29,0cm) 4) Argamassa externa (2,5cm) 5) Revestimento cerâmica (8mm) 6) Pedra (1,5cm)	1,49
Cobertura		1) Telha metálica 0,43mm 2) Poliestireno Expandido (30mm) 3) Telha metálica 0,5mm 4) Câmara de Ar (> 5 cm) 5) Forro de madeira (1,5 cm)	0,85

Em relação ao número de pessoas considerou-se 120 no salão de refeições, 10 na cozinha e 15 na recepção. Atribuiu-se para o salão a taxa metabólica de 120 W por pessoa, para a atividade de repouso e sentada e, 175 W por pessoa, para a atividade de cozinhar, na cozinha (ASHRAE, 2010).

Prédio 12

O prédio 12 é uma edificação, construída em 2005, composta por dois pavimentos, que reúnem salas de aula, laboratórios, auditório e banheiros destinados aos alunos dos cursos Técnico em Edificações e Engenharia de Produção Civil, além de instalações administrativas do Departamento de Engenharia Civil (DEC) como, sala dos professores e gabinetes dos coordenadores e docentes (Figura 6 e Figura 7).


Figura 6 – Planta baixa 1º pavimento prédio 12. Fonte: Adaptado de CEFET-MG, [201-].

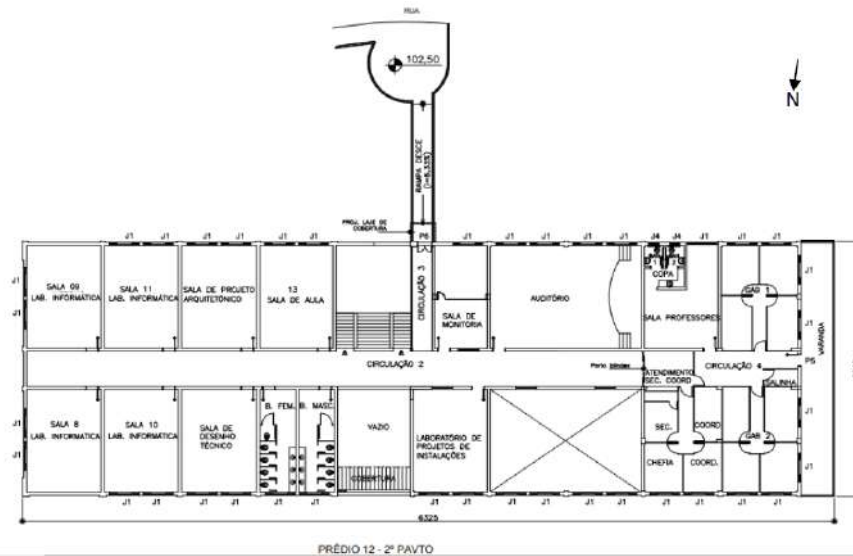


Figura 7 – Planta baixa 2º pavimento prédio 12. Fonte: Adaptado de CEFET-MG, [201-].

A geometria tridimensional do Prédio 12 foi desenvolvida conforme as características reais da edificação (Figura 8).

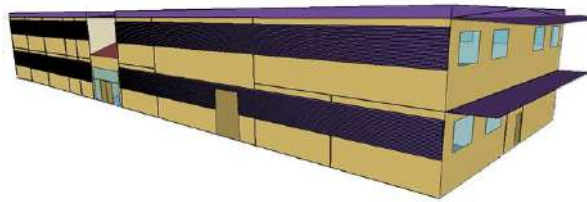
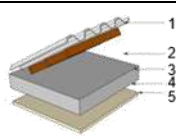
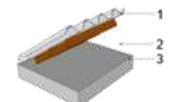
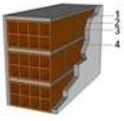


Figura 8 - Geometria prédio 12. Fonte: Elaboração própria, 2019.

O Prédio 12 apresenta paredes de alvenaria de vedação de blocos cerâmicos de 30x20x10 cm e 2,0 cm de argamassa interna e externa. As paredes são pintadas na cor amarelo ocre com textura grafiato (externamente) e tons pasteis (internamente). Sua cobertura é composta por três águas e apresenta dois tipos composição, com e sem a presença de forro de gesso. Com base nas transmitâncias das coberturas e paredes da edificação (Tabela 2), foi calculada a transmitância média total da edificação, que apresentou valor de 1.78 W/m²K.

Tabela 2 - Tipologia e transmitância térmica prédio 12. Fonte: Adaptado de ABNT, 2005.

Tipologia	Vedação	Composição	U (W/m ² K)
Cobertura (Tipo 1)		1. Telha metálica (6,5 mm) 2. Câmara de ar (> 5 cm) 3. Laje maciça de concreto (8,0 cm) 4. Câmara de Ar (> 5 cm) 5. Forro de gesso (2 cm)	1,36
Cobertura (Tipo 2)		1. Telha metálica (6,5 mm) 2. Câmara de ar (> 5 cm) 3. Laje maciça de concreto (8,0 cm)	2,15

Parede		<ol style="list-style-type: none"> 1. Argamassa interna (2,0 cm) 2. Bloco cerâmico (30 x 20 x 10 cm) 3. Argamassa externa (2,0cm) 4. Argamassa de assentamento (2,0cm) 	1,94
--------	---	--	------

A absorvância à radiação solar da parede foi 0,76 e a da cobertura foi 0,96. O vidro utilizado é de 4 mm com Fator Solar (FS) igual a 0,83. A Porcentagem de Abertura na Fachada total é 14%, sendo a área total de abertura igual a 199,68 m².

Atribuiu-se a taxa metabólica 120 W por pessoa, para a atividade moderada em trabalhos de escritório (ASHRAE, 2010). Cada ambiente apresentava um padrão específico quanto à quantidade de pessoas, horários de funcionamento, uso de equipamentos, uso de iluminação e periodicidade de aberturas de portas e janelas, lançados conforme informações obtidas no DEC.

Prédio 20

O prédio 20 foi construído no ano de 2017 e possui, aproximadamente, 5000m². A edificação conta com a utilização de uma estrutura metálica, sistema de piso flutuante e forros minerais para minimizar a propagação de ruídos e um sistema de brises e fachadas ventiladas em placas de cimento com membranas refratárias. O pavilhão de aulas é dividido em salas distribuídas em quatro andares, um auditório, salas de monitoria, secretaria e apoio.

Para esse trabalho, adotou-se como referência de estudo as salas de aula dos terceiro e quarto pavimentos (Figura 9 e Figura 10), por serem as mais críticas do ponto de vista térmico, uma vez que concentram a maior parte da ocupação nos períodos mais quentes do dia. Os ambientes do primeiro e segundo pavimentos foram desconsiderados mediante características de permanência transitória ou com rotinas de uso e ocupação não definidas.

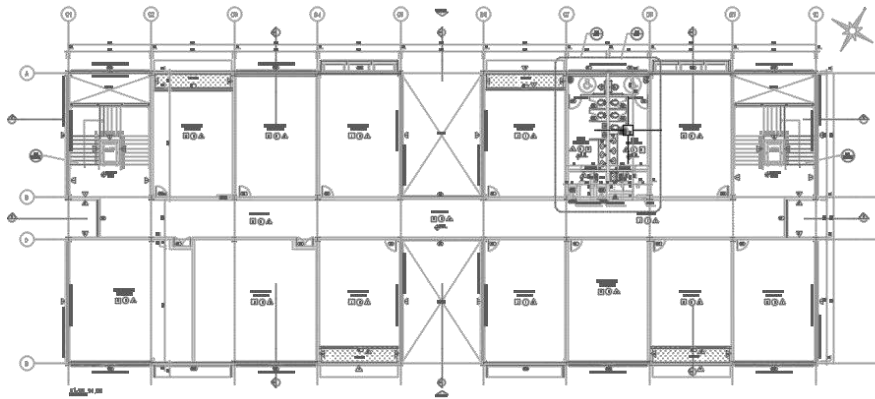


Figura 9 – Planta baixa 3º pavimento prédio 20. Fonte: Adaptado de CEFET-MG, [201-].

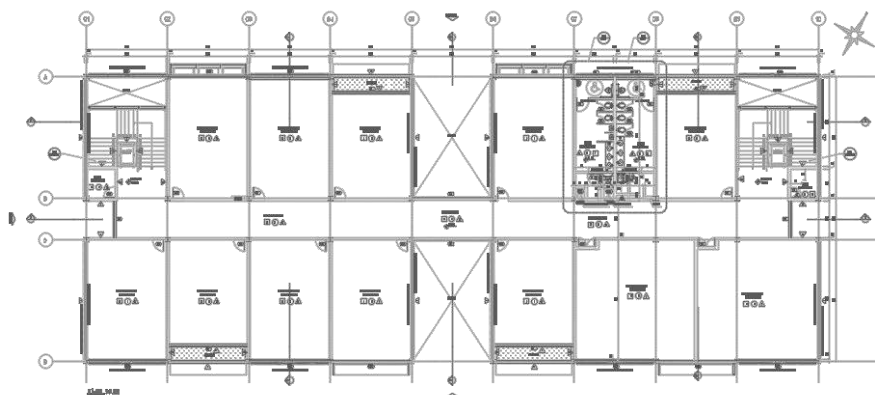


Figura 10 – Planta baixa 4º pavimento prédio 20. Fonte: Adaptado de CEFET-MG, [201-].

O modelo computacional foi definido com características semelhantes a edificação existente no que tange a volumetria, orientação solar, materiais, componentes construtivos e aberturas (Figura 11).

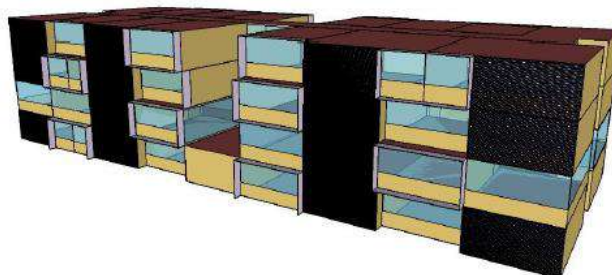
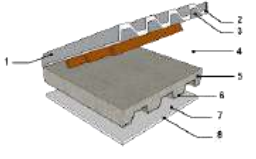
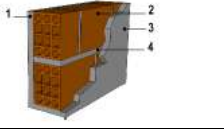
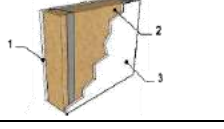


Figura 11 – Geometria prédio 20. Fonte: Elaboração Própria, 2019.

A edificação apresenta cobertura tipo sanduíche, formada por duas telhas metálicas de aço galvanizado de perfil trapezoidal e uma camada isolante térmica em lã de vidro. As paredes externas das fachadas frontal e posterior são compostas por alvenaria de vedação de blocos cerâmicos de 19 cm revestidas interna e externamente por reboco em argamassa. As fachadas laterais são constituídas por cortina aerada em placas de fibrocimento sobre parede interna de *drywall* composta por placas duplas de gesso acartonado internas e externas, com isolamento térmico em manta de lã mineral. Com base na transmitâncias da cobertura e paredes da edificação (Tabela 3), foi calculada a transmitância média total da edificação, que apresentou valor de 1.08 W/m²K.

Tabela 3 - Tipologia e transmitância térmica prédio 20. Fonte: Adaptado de ABNT, 2005.

Tipologia	Vedação	Composição	U (W/m ² K)
Cobertura		<ol style="list-style-type: none"> 1. Telha metálica superior (0,5 mm) 2. Lã de vidro (50,0 mm) 3. Telha metálica inferior (0,5 mm) 4. Câmara de ar (>5 cm) 5. Laje maciça de concreto (7,42 cm e 15,0 cm) 6. Forma metálica Steel Deck (1,25 mm) 7. Câmara de ar (>5 cm) 8. Forro termoacústico (16,0 mm) 	0,34

Parede (fachadas Norte/Sul)		<ol style="list-style-type: none"> 1. Argamassa interna (2,5 cm) 2. Bloco cerâmico (29 x 19 x 14 cm) 3. Argamassa externa (2,5 cm) 4. Argamassa de assentamento (2,0 cm) 	1,94
Parede (fachada Leste/Oeste)		<ol style="list-style-type: none"> 1. Placas duplas de gesso (2,5 cm) 2. Lã mineral (7,5 cm) 3. Placas duplas de gesso (2,5 cm) 	0,51

Foi considerado uma média aritmética simples entre os valores para as atividades de “leitura, sentado” e “escrita”, utilizando o valor de 104W para a taxa metabólica por pessoa (ASHRAE, 2010). Em relação ao número de ocupantes, tipo de atividade realizada, equipamentos elétricos e lâmpadas foram específicos para cada ambiente em particular.

Modelagem e simulação de um novo modelo com as propostas de melhoria para conforto térmico dos usuários

A proposição de um novo modelo dar-se-á mediante resultados obtidos por meio das simulações realizadas no modelo original, caso seja observado ambientes com elevado percentual de horas em desconforto térmico. Assim, caso aplicável o novo modelo composto irá contemplar estratégias que buscassem reduzir as condições de desconforto térmico no ambiente, resultando na melhoria do conforto térmico dos usuários.

Avaliação das condições de conforto dos modelos original e proposto conforme parâmetros da ASHRAE 55/2017

Por meio dos resultados obtidos a partir da simulação dos modelos original e proposto, obteve-se os dados de saída referentes às temperaturas operativas das edificações. Tais resultados foram utilizados na avaliação das condições de conforto térmico dos usuários por meio do percentual de horas ocupadas em conforto (POC) e percentual de horas ocupadas em desconforto (POD), conforme limites da faixa aceitável de conforto térmico estabelecidos na norma ASHRAE 55/2017.

Para avaliação do conforto pelo modelo presente na ASHRAE 55/2017, utilizou-se as temperaturas predominante externas (T_{pe}), contidas no arquivo climático TRY de Belo Horizonte. Com posse das T_{pe} s, calculou-se a temperatura neutra (T_n), bem como os limites superior e inferior de conforto térmico para 80% de usuários satisfeitos (Figura 12).

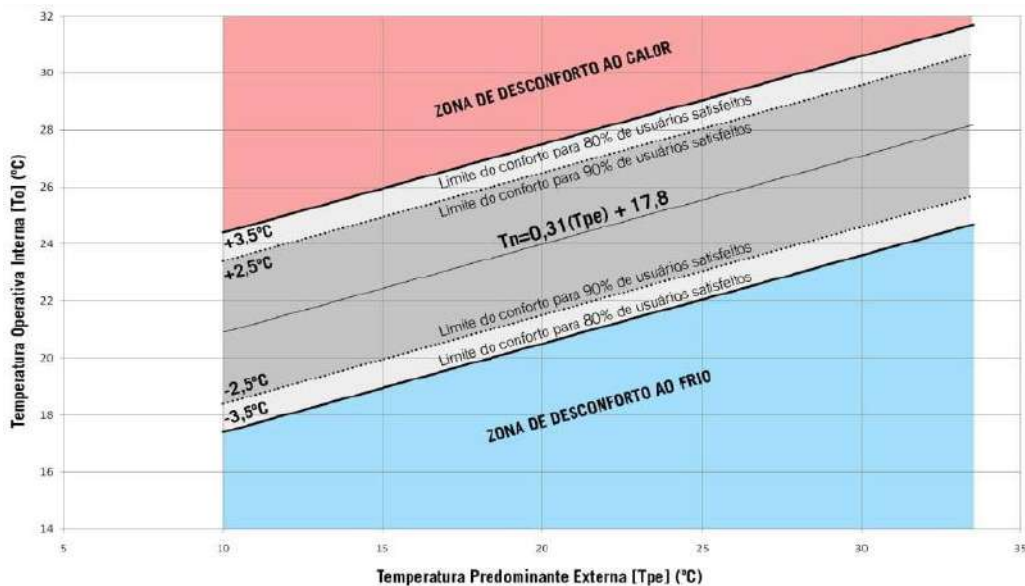


Figura 12 – Relação entre temperatura operativa interna e temperatura média mensal externa. Fonte: Silveira, 2014 p.27.

Com posse dos resultados de temperatura operativa interna dos ambientes e dos dados de temperatura limite superior e inferior de conforto térmico da ASHRAE 55/2017. Para cada objeto de estudo selecionado, com base nas horas de conforto e desconforto contabilizadas, foram calculados o POC e POD para cada ambiente e realizou-se uma análise comparativa entre as condições de conforto dos modelos original e proposto.

Resultados

As edificações foram avaliadas por meio de simulação computacional conforme parâmetros de conforto térmico estabelecidos pela ASHRAE 55/2017. Foram analisados os modelos original e proposto. Os resultados obtidos em cada prédio analisado são apresentados abaixo.

Restaurante

Modelo original

No modelo termoenergético do restaurante, os ambientes foram divididos em 07 zonas térmicas, das quais 05 apresentam permanência de caráter transitória, que não compreende o objetivo do estudo, sendo analisados os ambientes: salão de refeição e cozinha e cocção, cômodos de permanência prolongada, maior fluxo pessoas e dissipação de calor (Figura 13).

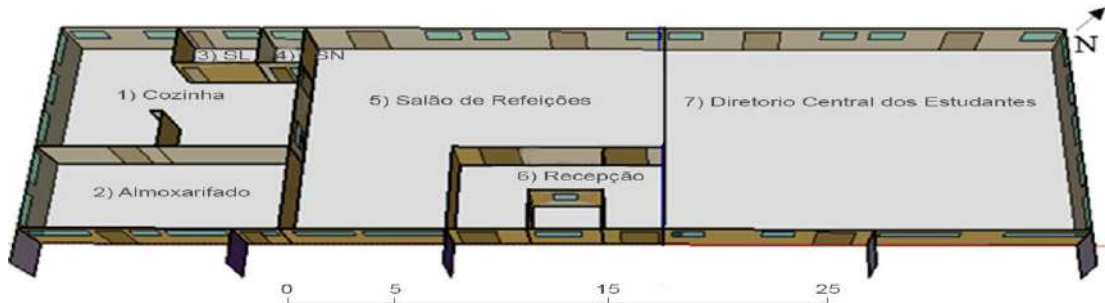


Figura 13 – ZT restaurante. Fonte: Elaboração própria, 2019.

Com base nos resultados obtidos por meio da simulação computacional para o modelo original do prédio 20, foi possível obter o POC para cada ambiente analisado (Tabela 4).

Tabela 4 – POC por ZT para o modelo original restaurante. Fonte: Elaboração Própria, 2019

ZT	Ambiente	POC (%)
Z1	Cozinha e cocção	26,8
Z5	Salão de refeição	73,8

Conforme esperado, na área de cozinha e cocção foi registrado um alto índice de desconforto térmico, por diversos fatores como, atividade realizada com uma maior taxa metabólica, grande dissipação de calor devido aos diversos equipamentos elétricos utilizados na cozinha, além de aparelhos caloríficos como fornos e fogões, para preparação dos alimentos, que aumentam a temperatura do ambiente. Em relação ao salão de refeições, o percentual de conforto é 73.8%, entretanto, cabe ressaltar que todas as horas de desconforto registradas foram desconforto para o calor.

Modelo proposto

Foi feita a proposição de um modelo para comparação com o modelo original do restaurante (Figura 14). O modelo proposto contou com a utilizando um sistema de ventilação mecânica. Para o sistema de exaustão foi escolhido um exaustor eólico.

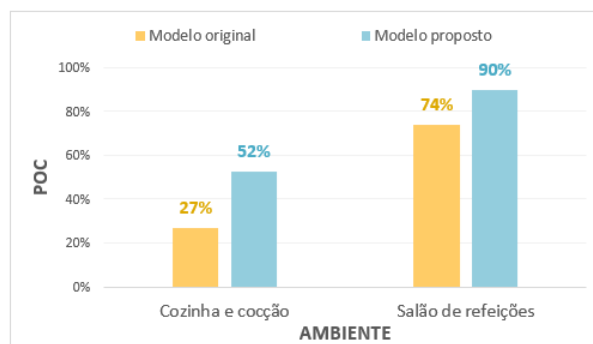


Figura 14 - Comparação POC modelos original e propostos restaurante. Fonte: Elaboração Própria, 2019.

Por meio da comparação entre o POC do modelo original com o modelo proposto, após instalação exaustor eólico, foi possível um aumento no POC de ambos os ambientes analisados. Apesar da cozinha e cocção apresentar um aumento de 25% do percentual de conforto, resultando em um POC quase o dobro do valor em relação ao modelo original, o valor ainda não é suficiente para atender aos parâmetros da ASHRAE 55/2017. Desse modo, a fim de atingir os 80% de conforto exigidos na norma para cozinha e cocção, é aconselhável a instalação de ar condicionado, com

funcionamento compatível aos horários de uso e ocupação do ambiente, para garantir um percentual de conforto térmico mais adequado aos usuários.

Prédio 12

Modelo original

Na modelagem computacional do prédio 12, os ambientes foram divididos em 37 zonas térmicas (Figura 15 e Figura 16) das quais 26 foram analisadas, que compreendem os ambientes naturalmente ventilados de ocupação prolongada sendo eles: 12 salas de aula, 11 laboratórios, 2 salas de projeto e 1 sala de monitoria.

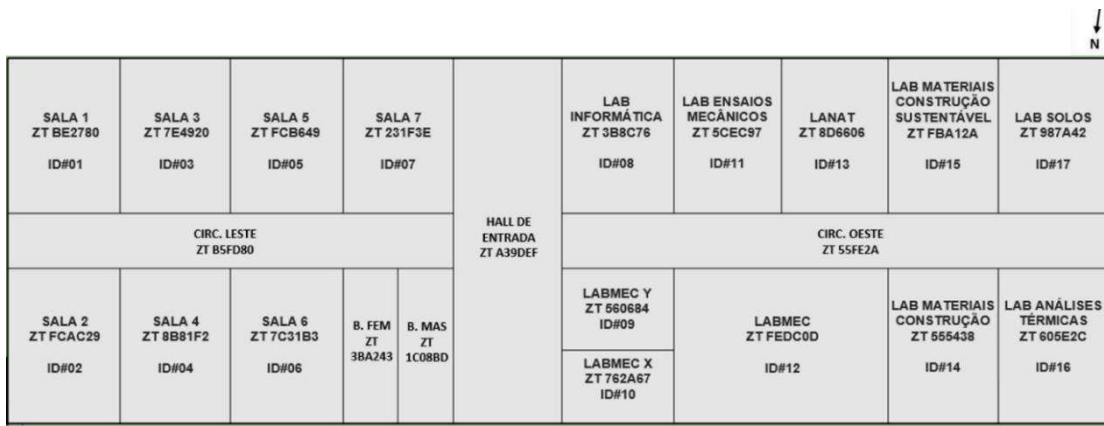


Figura 15 – ZT 1º pavimento prédio 12. Fonte: Elaboração própria, 2019.

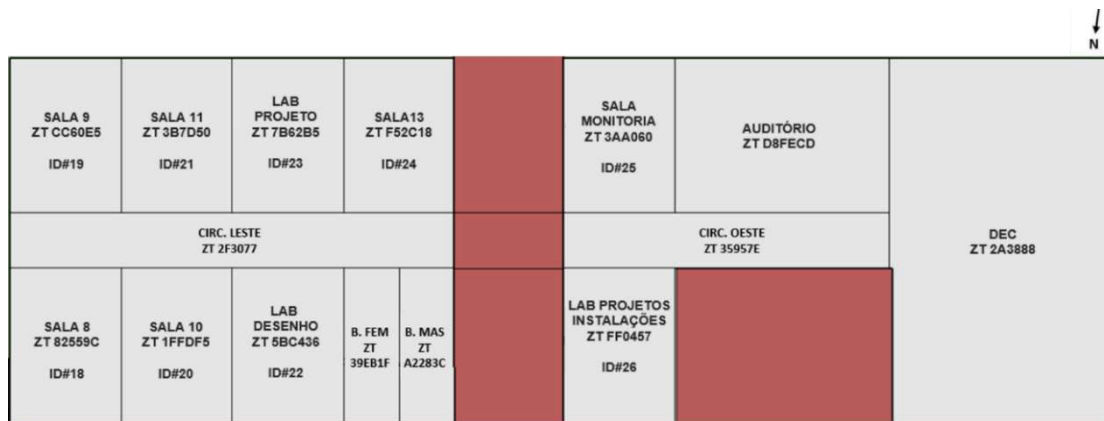


Figura 16 – ZT 2º pavimento prédio 12. Fonte: Elaboração própria, 2019.

Com base nos resultados obtidos por meio da simulação computacional para o modelo original do prédio 12, foi possível obter o POC para cada zona térmica do modelo original (Figura 17).

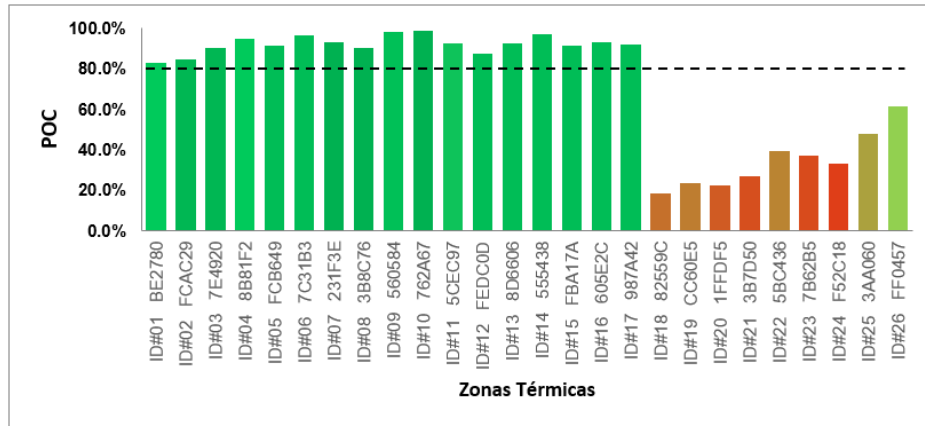


Figura 17 – POC por ZT modelo original prédio 12. Fonte: Elaboração Própria, 2019.

Percebe-se que alguns ambientes, sobretudo os localizados no 2º pavimento do prédio, apresentam nível baixo POC. Portanto, para melhoria das condições de conforto térmico do Prédio 12 faz-se necessário a adoção de novas estratégias que reduzam o desconforto térmico.

Modelo proposto

Para elaboração do modelo proposto, foram adotados vidro simples de 3mm com fator solar igual a 0,87, telha sanduíche com poliestireno expandido (EPS) que, apesar do memorial descritivo da edificação apontar a utilização da mesma, por meio de visitas de campo ao prédio em questão notou-se que tal tipo de cobertura não foi adotada na construção do edifício como especificado nos projetos. Ademais, como os dispositivos de proteção solar utilizados na edificação encontram-se danificados, o que pode influenciar negativamente seu desempenho, propôs-se a implantação de novos brises (Figura 18).

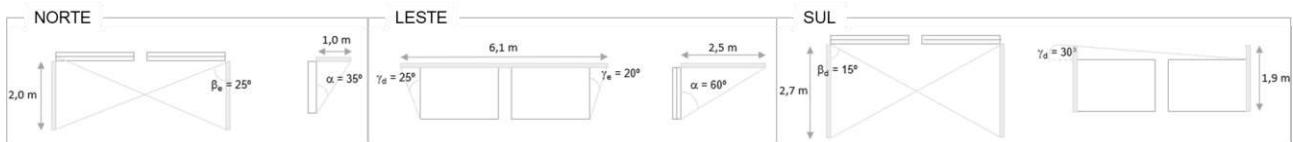


Figura 18 – Dimensionamento de brises de projeto para fachadas Norte, Sul e Leste. Fonte: Elaboração Própria, 2019.

Com base nos resultados obtidos por meio da simulação computacional para o modelo proposto para o prédio 12, foi possível obter o POC (Figura 19) para cada zona térmica (ZT).

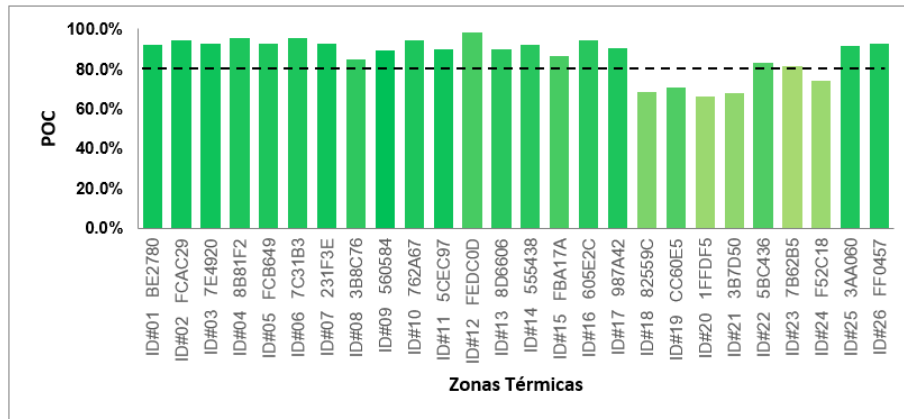


Figura 19 – POC por ZT modelo proposto prédio 12. Fonte: Elaboração Própria, 2019.

Após elaboração do modelo proposto com adoção das medidas sugeridas para melhorar o POC da edificação, foi possível perceber que, a maioria dos ambientes do Prédio 12 apresentaram POC superior a 80%, inclusive ambientes do 2º pavimento que apresentaram desempenho insatisfatório. Apesar de alguns ambientes do 2º pavimento ainda apresentarem POC inferior a 80%, verificou-se uma melhoria significativa nas horas de conforto dos mesmos.

Prédio 20

Modelo original

O modelo tridimensional do prédio 20 foi desenvolvido conforme as características reais da edificação, com cada ambiente caracterizado como uma zona térmica. Ao todo, foram modeladas 46 ZT, sendo 12 no primeiro pavimento, 6 no segundo pavimento, 14 no terceiro pavimento e 14 no quarto pavimento (Figura 20 e Figura 21).

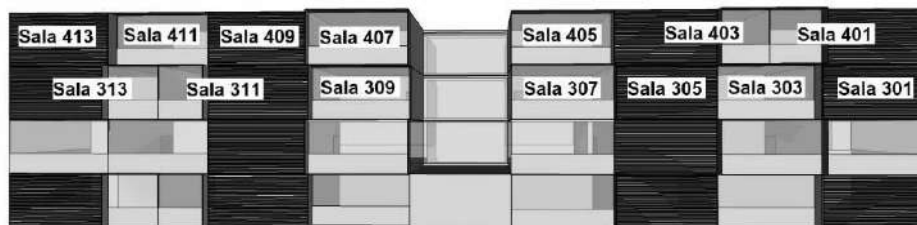


Figura 20 – Salas 3º e 4º pavimentos fachada sudeste prédio 20. Fonte: Elaboração Própria, 2019.



Figura 21 – Salas 3º e 4º pavimentos fachada noroeste prédio 20. Fonte: Elaboração Própria, 2019.

Com base nos resultados obtidos por meio da simulação computacional para o modelo original do prédio 20, foi possível obter o POC para cada zona térmica (Figura 22).

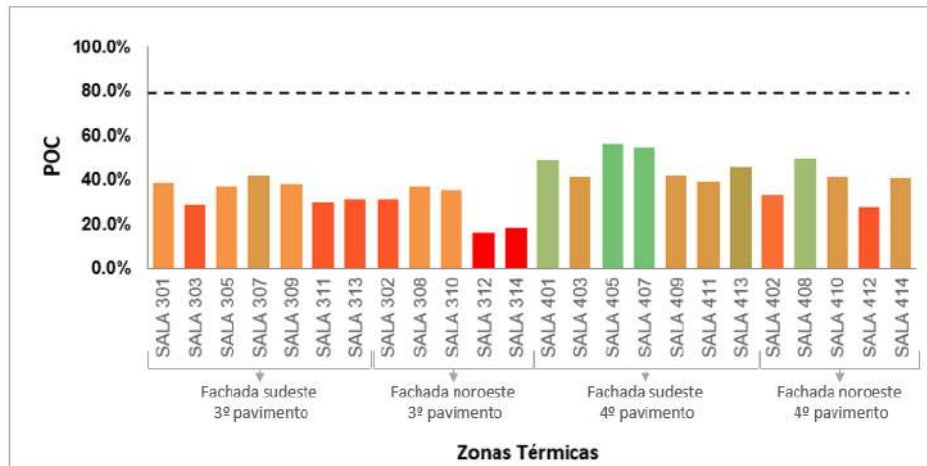


Figura 22 – POC por ZT modelo original prédio 20. Fonte: Elaboração Própria, 2019.

Observa-se que as salas da fachada sudeste de ambos pavimentos apresentam POC maiores que as salas com fachada voltada para o noroeste. Do mesmo modo, as salas do terceiro pavimento apresentam uma POC menor que as salas do quarto pavimento. Essa diferença acontece devido às trocas de calor do quarto andar com o ambiente externo. Por mais que a radiação solar incida diretamente, como esperado, a cobertura utilizada no prédio demonstrou oferecer amortecimento térmico significativo.

Modelo proposto

Foi feita a proposição de dois novos modelos. O primeiro, devido à influência direta das temperaturas do corredor do segundo pavimento nas temperaturas das salas de aula do terceiro e quarto pavimentos, propôs-se a adição de brises na fachada noroeste do corredor do segundo andar, a fim de avaliar comparativamente a melhoria do POC após implementação de tal proposta (Figura 23).

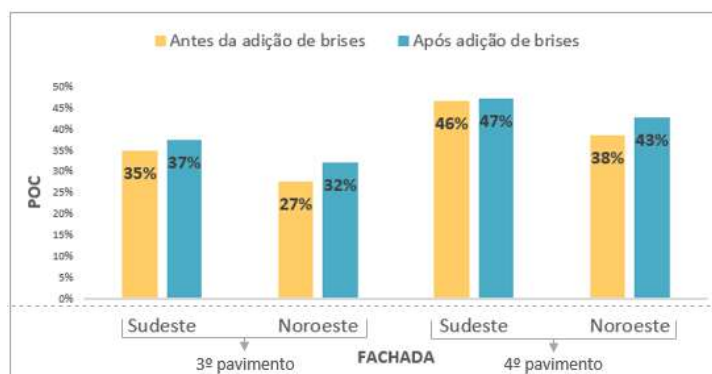


Figura 23 – Comparação POC modelos original e proposto I prédio 20. Fonte: Elaboração Própria, 2019.

Apesar dos aumentos na porcentagem de conforto não serem suficientes para uma condição adequada de conforto térmico das salas, eles apresentam uma melhora na aceitabilidade de seus ocupantes, principalmente ao considerarmos a simplicidade da solução avaliada.

A instalação de sistemas de condicionamento de ar foi uma segunda proposta de melhoria para o conforto térmico da edificação. Para essa simulação, considerou-se a instalação de aparelhos de ar-condicionado do tipo *split* inverter com renovação de ar em duas salas, cada uma em um dos dois pavimentos estudados.

Os dados obtidos apresentaram resultados muito satisfatórios quanto ao conforto térmico dos usuários, indicando uma redução significativa das temperaturas operativas nas duas salas analisadas (Figura 24).

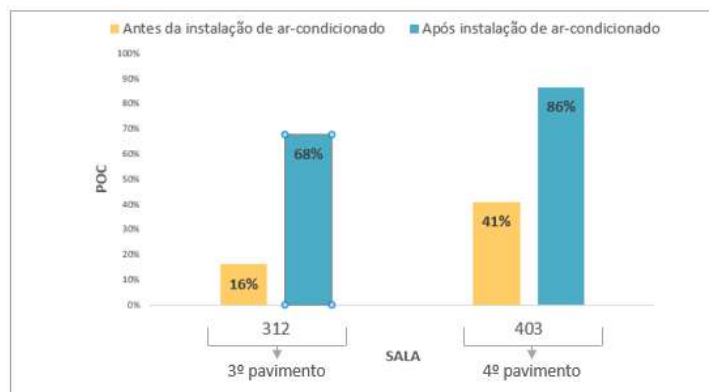


Figura 24 – Comparação POC modelos original e proposto II prédio 20. Fonte: Elaboração Própria, 2019.

Por meio da comparação entre o POC do modelo original com o modelo proposto após instalação do ar-condicionado, foi possível observar que, o POC na sala 312 aumentou 51,6%, efeito que também se repetiu na sala 403, que apresentou uma variação de 45,4% de horas de conforto a mais após a instalação dos aparelhos.

Discussões e Conclusões

Os resultados do presente estudo revelam um alto percentual de desconforto térmico dos usuários relatado nos ambientes naturalmente ventilados de permanência prolongada em todos as edificações analisadas do campus II do CEFET-MG. Tal resultado mostra-se preocupante, uma vez que, ambientes desconfortáveis termicamente tendem a reduzir a produtividade dos usuários, especialmente em instituições de ensino, onde desconforto ambiental pode influenciar negativamente no desempenho escolar dos alunos.

O prédio 20, construído em 2017, é o prédio mais recente do campus II do CEFET-MG. Entretanto, apesar de utilizar técnicas construtivas atuais, a edificação não foi capaz de propiciar condições adequadas para o conforto térmico de seus ocupantes. Com isso, propor-se inicialmente, como medida passiva, a instalação de brises no corredor do segundo andar, que acarretou em um aumento de até 4,7% nas horas de conforto. Entretanto, esse resultado não foi suficiente para atendimento aos índices de conforto propostos pela ASHRAE 55/2017. Desse modo, foi proposta a instalação de aparelhos de ar-condicionado, que resultou em uma redução de até 49% no número de ocupantes insatisfeitos em um dos espaços, demonstrando ser uma solução eficaz para a melhoria das condições das salas analisadas.

Para aumento do percentual de conforto térmico do prédio que abriga o restaurante estudantil, foi proposta a implantação de exaustores eólicos, como opção mais economicamente viável em comparação à condicionadores de ar. Verificou-se que a utilização de exaustores não proporcionou resultados significativos na sensação de conforto térmico. Entretanto, mediante ao não atendimento dos 80% de POC, exigidos na ASHRAE 55/2017, na área de cozinha e cocção faz-se necessário, complementarmente, a instalação de condicionadores de ar nesse ambiente para garantir uma melhoria no conforto térmico dos usuários.

Cabe ressaltar que, ainda que os condicionadores artificiais de ar apresentem um melhor desempenho nas condições de conforto térmico dos usuários do prédio 20 e do prédio principal, tal medida pode influenciar negativamente na eficiência energética das edificações, uma vez que tais aparelhos tendem a elevar significativamente o consumo energético de um edifício.

O prédio 12, apesar de apresentar um nível de conforto superior às demais edificações analisadas, ainda apresentava resultados insatisfatórios para o conforto térmico dos usuários em muitos ambientes, desse modo, foi proposto um modelo com alteração do tipo de vidro, cobertura e brises da edificação, verificando uma melhoria significativa do conforto em todos os ambientes do prédio. Assim, foi possível aumentar o POC por meio de estratégias passivas aliadas a modificações construtivas, descartando a utilização de aparelhos de condicionamento artificial que poderiam aumentar o consumo elétrico do edifício.

Diversos estudos, como Medeiros *et. al* (2012); Chvatal (2014); Silva *et. al* (2014), destacam que melhores níveis de conforto térmico estão associados a valores mais baixos de transmitância térmica da envoltória. Entretanto, o Prédio 12 foi a edificação que apresentou melhores níveis de conforto térmico para os usuários foi o Prédio 12 e a maior transmitância média total, de 1.78 W/m²K. O Prédio 20, que possui o menor valor de transmitância média total, 1.08 W/m²K, apresentou um alto percentual de desconforto térmico, assim como a área de cozinha e cocção do restaurante estudantil, com um valor intermediário de transmitância média total, igual a 1.24 W/m²K, mas níveis inferiores a 30% de conforto.

Cabe destacar que, o alto percentual de desconforto da cozinha e cocção no restaurante estudantil pode ter sido influenciado pela atividade desempenhada no ambiente, com taxa metabólica superior às apresentadas pelos demais ambientes, além das altas cargas térmicas devido aos equipamentos de cozinha utilizados no ambiente. Desse modo, o presente estudo ressalta que, valores inferiores de transmitâncias térmicas analisados isoladamente não garantem influência positiva no conforto térmico dos usuários, devendo associar os valores de transmitância às especificidades do objeto de estudo analisado: clima, fontes internas de calor, atividade realizada no ambiente e demais variáveis construtivas.

Este trabalho proporciona diferentes possibilidades para trabalhos futuros. A verificação do POC das demais edificações do campus II do CEFET-MG, realizando uma análise completa acerca do conforto térmico dos usuários e propostas de melhoria para todo o campus. Ademais, a consideração do entorno das edificações analisadas nas simulações seria uma análise complementar com menor frequência em estudos semelhantes, devido à complexidade na modelagem do mesmo, entretanto, resultaria em resultados mais fidedignos à realidade. Por fim, o estudo abre a possibilidade de replicação da pesquisa em diferente campus universitários, desde que consideradas as características específicas da edificação e do local a ser analisado.

Referencias

- Almeida, Hélder Silva. (2010). Análise do conforto térmico de edifícios utilizando as abordagens analítica e adaptativa. Instituto Superior Técnico.
- ASHRAE – American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2017). ANSI/ASHRAE “Standard 55-2017”. Thermal environmental conditions for human occupancy. ASHRAE: Atlanta, 2017.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (2005). NBR 15220-1: Desempenho térmico de edificações Desempenho térmico de edificações - Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro.
- Bellia, Laura; Marino, Concetta; Minichiello, Francesco; Pedace, Alessia. (2014). An Overview on Solar Shading Systems for Buildings. Energy Procedia, v. 62, p. 309-317.
- CEFET-MG – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. (2019). Mapa do Campus 2. Belo Horizonte.
- _____. (200-). Divisão de Projetos. Projeto Arquitetônico. Plantas diversas. Arquivo DWG.
- Chow, Tin Tai; Fong, Kwong Fai Square; Givoni, Baruch; Lin, Zhang; Chan, A.L.S. (2010). Thermal sensation of Hong Kong people with increased air speed, temperature and humidity in air-conditioned environment. Building and Environment, v. 45, n. 10, p. 2177-2183.
- Chvatal, Karin Maria Soares. (2014). Avaliação do procedimento simplificado da NBR 15575 para determinação do nível de desempenho térmico de habitações. Ambiente Construído, v. 14, n. 4, p. 119-134.

- Corrêa, Paulo Roberto Lopes; França, Elisabeth; Bogutchi, Tânia Fernandes. (2005). Aedes aegypti infestation and occurrence of dengue in the city of Belo Horizonte, Brazil. *Revista de saúde pública*, v. 39, n. 1, p. 33-40.
- Dos Santos Oliveira, Lacyane Kryсна; Rego, Rejane de Moraes; Frutuoso, Maria Núbia Medeiros de Araújo; RODRIGUES, Sofia Suely Ferreira Brandão. (2016). Simulação computacional da eficiência energética para uma arquitetura sustentável. *HOLOS*, v. 4, p. 217-230.
- Medeiros, Deisyannne; Nome, Carlos; Elali, Gleice. (2012). Construindo no clima quente e seco do Brasil: conforto térmico e eficiência energética para a Zona Bioclimática 7. *Seminário Internacional NUTAU2012*, p. 1-17.
- Nakamura, Natália Kokumai; Maciel, Liliane Fernandes; Carlo, Joyce Correna. (2013). Impactos de medidas de conservação de energia propostas no PBE Edifica para o nível de eficiência energética de envoltórias de um edifício naturalmente condicionado. *Ambiente Construído*, v. 13, n. 4, p. 105-119.
- Nico-Rodrigues, Edna Aparecida; Alvarez, Cristina Engel de; Santo, Amábeli Dell; Piderit, Maria Beatriz. (2015). Quando a janela define a condição de desempenho térmico em ambientes ventilados naturalmente: caso específico das edificações multifamiliares em Vitória, ES. *Ambiente Construído*, v. 15, n. 2, p. 7-23.
- Silva, Arthur Santos, Sorgato, Marcio José, Mazzaferro, Leonardo, Melo, Ana Paula, & Ghisi, EneDir (2014). Incerteza do método de simulação da NBR 15575-1 para a avaliação do desempenho térmico de habitações. *Ambiente Construído*, 14(4), 103-117.
- Silveira, Francisco Massucci. (2014). Análise do desempenho térmico de edificações residenciais ventiladas naturalmente: NBR 15.575 e ASHRAE 55. Universidade Estadual de Campinas.
- Wang, Zhaojun; Li, Aixue; Ren, Jing; He, Yanan. (2014). Thermal adaptation and thermal environment in university classrooms and offices in Harbin. *Energy and Buildings*, v. 77, p. 192-196.
- Zhao, Bingwen; Qi, Lijuan; Yang, Ting. (2017). Simulation and Analysis of the Energy Consumption for Public Buildings in Different Climate Regions of China. *Procedia Engineering*, v. 205, p. 2940-2947.