



**XV ENCAC** Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído

**XI ELACAC** Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído

JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

## **O CONFORTO TÉRMICO EM SALAS DE AULA DE EDIFÍCIO DE ENSINO SUPERIOR**

**Tatiana Paula Alves (1); Wellington Guilherme Ribeiro de Assis (2); Lucas Teixeira da Silva (3); Aureliana Karen Rodrigues Amancio (4)**

(1) Phd, Arquiteta e Prof. do Dep.de Arquitetura do Centro Universitário UNA, tatiana.alves@prof.una.br, Centro Universitário UNA, Rua da Bahia 1764, Belo Horizonte- MG. 30160-011, Tel.:(31)992010321

(2) Graduando de Arquitetura e Urbanismo do Centro Universitário UNA, wellingtongra@hotmail.com.br

(3) Graduando de Arquitetura e Urbanismo do Centro Universitário UNA, lucas.teixeira72@gmail.com

(4) Graduando de Arquitetura e Urbanismo do Centro Universitário UNA, aurelianaamancio@gmail.com

### **RESUMO**

O conhecimento do comportamento termo-energético dos edifícios é uma importante ferramenta para o desenvolvimento de estratégias eficientes de melhoria do desempenho ambiental dos mesmos. O objetivo principal deste trabalho é analisar o conforto térmico do conjunto de salas de aula do edifício de ensino superior UnaLiberdade. O procedimento metodológico propõe os seguintes passos: levantamento de dados através de visita de campo, simulação termo-energética no software EnergyPlus e modelagem de diferentes cenários de condicionamento ambiental para análise do conforto térmico das salas de aula. Neste estudo foram propostos três cenários. O Cenário 1 simula o uso exclusivo de ventilação natural, o Cenário 2 simula o uso de ventilação natural associada ao uso de ventiladores de teto enquanto o Cenário 3 simula o uso de ventilação natural associada ao uso de ar condicionado. Os resultados das simulações indicam que no Cenário 1 o conforto térmico é atingido em 62% das horas de operação das salas de aula ao longo do ano, enquanto nos Cenários 2 e 3 os percentuais são 74% e 86% respectivamente. Como resultado ainda vemos o consequente crescimento das intensidades energéticas dos cenários à medida que são introduzidas as tecnologias ativas (ventiladores e ar condicionado). Do ponto de vista do desempenho termo-energético observa-se a possibilidade de melhoria dos sistemas prediais (climatização e iluminação artificial) e principalmente do sistema de janelas da edificação estudada. Identificar estas possibilidades abre oportunidade real de ações voltadas para a eficiência energética na edificação e em uma perspectiva mais ampliada o desenvolvimento de políticas internas de eficiência energética para as demais edificações da instituição de ensino superior.

Palavras-chave: conforto térmico, desempenho energético, simulação computacional.

### **ABSTRACT**

Knowing thermal and energy building patterns is an important means of being effective in propose environmental performance improvement. This study develops a framework to analyse the thermal comfort of a set of classrooms in the UnaLiberdade Building. The methodology consists of the following steps: field study data collection, dynamic modelling and simulation using the software EnergyPlus, and the development of building thermal conditioning scenarios. Three building thermal conditioning scenarios were developed. Scenario 1 simulates natural ventilation only. Scenario 2 simulates natural ventilation together with the use of ceiling fans and Scenario 3 simulation combines natural ventilation and split air conditioning. The simulation results indicate that in Scenario 1, 62% of the classroom operational hours lays on acceptable thermal comfort range while in Scenarios 2 and 3 this value increases to 74% and 86% respectively. The results also indicate that the energy use intensity increased as fans and splits were introduced. From the thermal and energy performance perspective, there is room for technological (splits and artificial lighting) and envelope improvement (specially window facades). Identifying these possibilities opens real opportunities for energy consumption reduction and in a broader perspective it could allow the development of internal energy efficiency policies regarding other buildings of the institution.

Keywords: thermal comfort, energy efficiency, dynamic simulation.

## 1. INTRODUÇÃO

Em contextos onde a renovação do estoque de edifícios é pouco representativa o *retrofit* de edificações aparece como um forte indicador de melhoria de performance energética principalmente em cenários urbanos consolidados com um elevado estoque de edifícios tecnologicamente ultrapassados. Assim, é essencial o conhecimento do comportamento energético e do padrão de consumo de energia para que seja desenvolvido estratégias e técnicas para a melhoria do desempenho energético e ambiental do estoque de edifícios existentes (GONÇALVES; BODE, 2015).

De modo geral, os estudos de retrofit de edificações comerciais e de serviço estão ligados a usos tais como o de escritórios sendo pouco explorados os estudos focados em edifícios educacionais, principalmente os voltados ao Ensino Superior. Dentre os estudos existentes podemos citar o de Frandoloso et al. (2010), Amorim et al. (2011), Benavides (2014) e Mendonça, Villa e Da Costa (2018). Frandoloso et al. (2010) avaliou dois edifícios universitários da Universidade de Passo Fundo (UPF) – RS, com a finalidade de identificar fatores que incidem no desempenho térmico e no consumo de energia dos edifícios universitários para a proposição de diretrizes para a otimização energética. As informações das características gerais dos edifícios, dos espaços internos, a caracterização das instalações, os dados dinâmicos para a identificação do padrão de uso e ocupação dos espaços foram analisados com base nos dados obtidos no monitoramento do consumo de energia (sistemas on-line e analógico). Os resultados obtidos foram utilizados para o diagnóstico de pontos positivos e negativos de ambos os edifícios favorecendo a proposição de iniciativas de melhoria do desempenho energético dos mesmos. De modo similar, Mendonça, Villa e Da Costa (2018) realizaram através de monitoramento o levantamento dos perfis de consumo dos sistemas de climatização, iluminação e equipamentos elétricos com o intuito de propor uma otimização dos recursos energéticos da edificação vertical de ensino superior (11 pavimentos) localizado na cidade de Maceió, Alagoas.

Amorim et al. (2011) investigou o Edifício FIOCRUZ, localizado em Brasília/DF, e propôs avaliar o conforto ambiental, o desempenho térmico, a eficiência energética, e as condições de iluminação natural no interior da edificação. O estudo mostrou que o conforto ambiental bem como a redução do consumo de energia, podem ser alcançados com a otimização de aspectos projetuais para uma melhor utilização da luz natural, mantendo satisfatórios os níveis de conforto térmico e luminoso. Benavides (2014) utilizou uma metodologia de auditoria energética para identificar o comportamento energético de três edificações pertencentes a Universidade de São Paulo (USP), sendo um prédio administrativo, um prédio de laboratório e um datacenter. O estudo apurou que as melhores oportunidades de eficiência energética para os prédios administrativo e laboratório estavam relacionadas a iluminação e condicionamento ambiental. No caso da datacenter as melhores oportunidades estão relacionadas a melhoria do sistema de condicionamento ambiental representativo neste contexto de aproximadamente 42% do consumo de energia do edifício.

De modo geral os estudos mencionados apontam para um futuro promissor na melhoria do desempenho energético dos edifícios de Ensino Superior ao mesmo tempo que registram os desafios no desenvolvimento de metodologias capazes de identificar o comportamento energético dos mesmos, visto a existência de uma estreita relação entre as atividades internas dos edifícios educacionais e a distribuição energéticas dos seus usos finais de energia. Dentro deste contexto, estudos de análise do comportamento térmico e energético voltados para as instituições de ensino superior representam uma importante ferramenta para geração de dados e informações capazes de subsidiar proposições eficientes de economia de energia no setor.

## 2. OBJETIVO

O objetivo geral deste trabalho é avaliar o conforto térmico do conjunto de salas de aula do edifício de ensino superior UnaLiberdade, pertencente ao Centro Universitário UNA em Belo Horizonte, a partir da análise de três cenários que exploram a multiplicidade de arranjos de condicionamento ambiental presentes nas salas de aula do edifício.

## 3. MÉTODO

O procedimento metodológico proposto apresenta três passos principais: (1) levantamento de dados através de visita de campo, (2) modelagem do edifício para a simulação e (3) modelagem de diferentes cenários de condicionamento ambiental para análise do conforto térmico e desempenho energético das salas de aula.

### 3.1. Levantamento dos dados do edifício

Para a compreensão primeira do edifício, principalmente das salas de aula que é o objeto principal deste estudo, foi realizada uma leitura dos desenhos técnicos fornecidos pela instituição de ensino. A Figura 1 apresenta a síntese das informações dos desenhos técnicos utilizados.

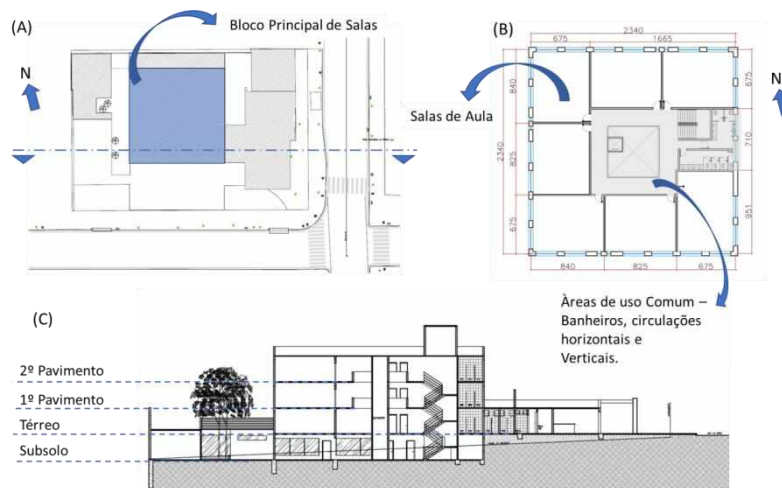


Figura 1 - Síntese do projeto do edifício de ensino superior UnaLiberdade . (A) Planta de Situação, (B) Pavimento tipo bloco principal (térreo, 1º Pavimento e 2ºPavimento), (C) Corte do edifício.

A Figura 1B apresenta a configuração interna do bloco principal de salas de aula. Esta mesma configuração acontece nos pavimentos térreo e superiores. Estes pavimentos contam com um total de 16 salas de aula que são o foco principal deste estudo. A Figura 2 apresenta as nomenclaturas das salas de aula e suas respectivas localizações nos pavimentos. Neste estudo cada sala de aula foi considerada como uma zona térmica.

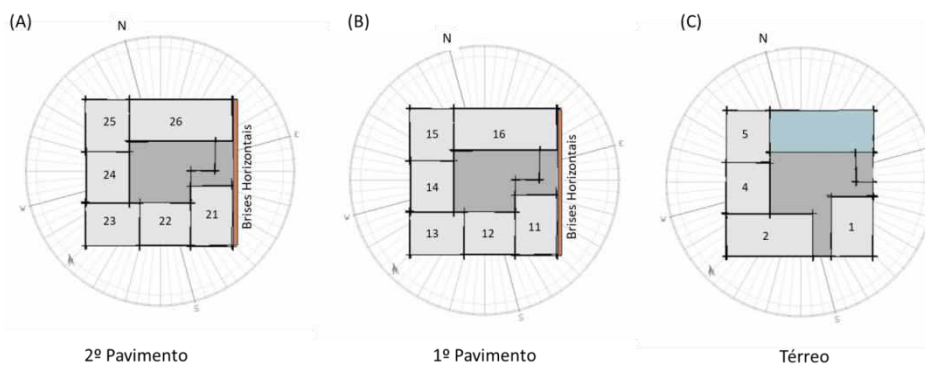


Figura 2 – Identificação das Salas que serão objeto de estudo - (A) Nomenclatura das salas do 2º Pavimento, (B) Nomenclatura das salas do 1º Pavimento, (C) Nomenclatura das salas Pavimento Térreo.

Para levantamento das informações físicas, de equipamentos e dos sistemas prediais (iluminação e condicionamento ambiental) foram realizadas visitas *in loco* durante o mês de junho de 2018. As rotinas de uso e funcionamento foram levantadas junto ao gestor de manutenção do edifício.

Os dados observados foram subdivididos em duas categorias: (1) informações físicas (dimensão dos ambientes e esquadrias, acabamentos internos e externos das superfícies, propriedades construtivas das paredes, pisos, tetos, cobertura e esquadrias), (2) caracterização técnica e de uso dos equipamentos e dos sistemas de iluminação e condicionamento térmico. Para aferição do conforto térmico foi necessário ainda a medição da velocidade do ar no interior das salas. Para a medição foi utilizado um anemômetro digital (MDA-01-Minipa) posicionado no centro do ambiente e na altura de 0.75m. Sobre a medição, observa-se que o mês do levantamento não exercerá influência sobre os dados obtidos uma vez que a cidade de Belo Horizonte apresenta direção e velocidade predominante bastante uniforme ao longo de todo o ano.

### 3.1.1 Caracterização do objeto de estudo

O edifício em estudo foi originalmente construído no ano de 1997 com a finalidade de abrigar uma escola particular de ensino fundamental e médio cuja atividade principal era diurna. O edifício ocupa um terreno da ordem de 2.442m<sup>2</sup>, e possui área construída estimada em aproximadamente 3.350m<sup>2</sup>. No ano de 2005, o edifício foi incorporado ao complexo de edifícios de ensino superior denominado de Campus Urbano pelo Centro Universitário UNA. Atualmente, as atividades educacionais do Edifício UnaLiberdade se concentram no turno da manhã e no turno da noite. A Figura 3 apresenta o edifício em seu contexto urbano atual.

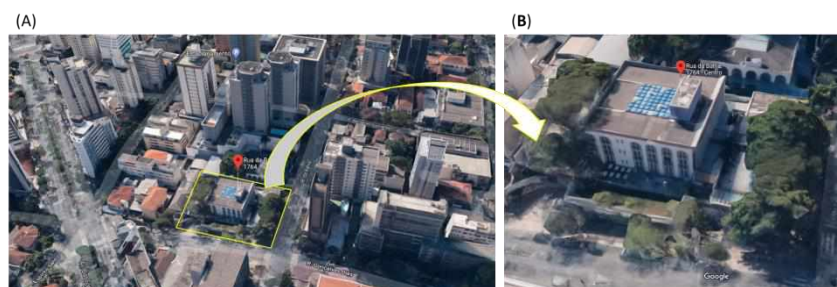


Figura 3 - (A) Vista aérea do contexto urbano atual, (B) Vista aérea ampliada do Edifício UnaLiberdade.

Fonte: Google Earth

Dentre as principais características construtivas do bloco de salas principal está a de possuir estrutura em concreto armado e paredes externas e internas de alvenaria de tijolo furado. A cobertura da edificação é laje de concreto com telha metálica. Tanto as paredes externas como a cobertura são brancas, mas devido a ação do tempo encontram-se sujas e desgastadas. O percentual de aberturas nas fachadas da edificação é da ordem de 38,5%. Uma das principais características das aberturas é a de possuir filme opaco preto (salas 1, 2, 4,5,12,13,14,15,16, 21, 24, 25), o que elimina a entrada de luz natural nas salas durante o dia, sempre que as esquadrias estão fechadas. Outra característica importante é a da área de ventilação da esquadria. A esquadria padrão do prédio apresenta dimensão de 2,30 x 2.45m, no entanto sua área de ventilação se reduz a 1/3 desta extensão. Internamente, as salas apresentam piso vinílico cinza, paredes e tetos (laje) pintados de branco.

Quanto ao sistema de iluminação artificial das salas de aula observa-se a predominância de luminárias de sobrepor, sem aletas, para 2 lâmpadas. As lâmpadas utilizadas são predominantemente LEDs tubulares de 18W que correspondem a aproximadamente 58%, seguidas por fluorescentes tubulares de 32W que correspondem aos 42% restante. Quanto ao sistema de condicionamento ambiental das salas, observa-se que o edifício possibilita uma multiplicidade de arranjos, uma vez que as salas, na sua maioria, apresentam a possibilidade de ventilação natural, ventilação mecânica (ventiladores) e ar condicionado (Splits de teto). De modo geral os sistemas são acionados e regulados pelo próprio usuário do espaço. Quanto a densidade de potência instalada (DPI) dos ventiladores, observa-se uma grande variação principalmente associada a quantidade de ventiladores disponíveis nas salas (o número de ventiladores varia de 5 a 2 por sala, com exceção das salas 2, 16 e 25 que não apresentam ventiladores). Os ventiladores instalados apresentam potência de 200W e eficiência Classe A. Quanto aos equipamentos de ar condicionado, eles estão presentes em todas as salas com exceção das salas 11, 13,14 e 15. Os equipamentos predominantes nas salas apresentam capacidade de 48.000 BTU/h e eficiência Classe B. De modo geral, as salas apresentam um equipamento por sala, com exceção das salas de grande porte (2, 16, 26) que recebem dois equipamentos.

### 3.2. Caracterização do modelo para simulação computacional

As informações necessárias a caracterização térmica e energética do edifício foram subdivididas em três categorias: envoltórias, sistemas prediais e padrões de uso e ocupação. O Quadro 1 apresenta os parâmetros e os valores utilizados na construção do modelo termo-energético para a simulação das salas de aula. As informações de densidade de potência instalada (DPI) para o sistema de iluminação artificial e para os ventiladores de teto de cada sala estudada estão apresentadas na Tabela 1. Ambas as informações foram originadas a partir dos dados coletados no levantamento de campo da edificação em estudo. Na coluna de DPI – Ventiladores de Teto, onde os valores forem ausentes significa a não existência dos equipamentos neste ambiente.

Quadro 1 - Parâmetros de Desempenho e referências utilizadas no desenvolvimento do modelo para simulação

Envoltórias		
Parâmetros	Valores de referência	Fonte
Cor do vidro	(1) Transparente com filme refletor prata (Salas 11,22,23,26). (2) Transparente com filme opaco cor preta (Demais salas);	Levantamento de Campo
Espessura do vidro	(1) 6mm; (2) 6mm	Levantamento de Campo
Percentual de Abertura nas fachadas (WWR)	38,5%	Levantamento de Campo
Transmitância Vidro (W/m <sup>2</sup> .k), SHGC, FS	(1) 5.02, 0.402, 0.395 (2) 5.80, 0.466, 0.001	Simulação das informações de Campo no Window7.7
Transmitância térmica paredes externas (W/m <sup>2</sup> .k)	1.85	(INMETRO, 2013)
Transmitância térmica paredes internas (W/m <sup>2</sup> .k)	2.39	
Transmitância térmica cobertura (W/m <sup>2</sup> .k)	2.06	
Absortância paredes ( $\alpha$ )	0.4	(INMETRO, 2013)

Absortância cobertura ( $\alpha$ )	0.4	
<b>Sistemas Prediais</b>		
DPI iluminação (W/ m <sup>2</sup> )	Variável de acordo com cada sala – Tabela 1	Levantamento de Campo
DPI equipamentos de apoio (W/m <sup>2</sup> )	1 computador desktop (350w) e 1 projetor (215w) por sala de aula.	Levantamento de Campo
Tipo de condicionamento	Ventilação natural, Ventilação Mecânica (Ventiladores de teto) e Ar Condicionado (Split)	Levantamento de Campo
DPI Ventiladores de teto	Variável de acordo com cada sala – Tabela 1	Levantamento de Campo
Áreas Condicionadas	Sala 1, 2, 4, 5, 12, 16, 21, 22, 23, 24, 25, 26	Levantamento de Campo
Coefficiente de performance Ar condicionado Split (COP), (W/W)	3.05	Levantamento de Campo
<b>Padrões de Uso e Ocupação</b>		
Ocupação (área/pessoa)	1.5	Levantamento de Campo
Horas de Ocupação	7h as 12h e 18h as 22h	Levantamento de Campo
Horas de uso Iluminação	7h as 12h e 18h as 22h	Levantamento de Campo
Horas de uso equipamentos de apoio	7h as 12h e 18h as 22h	Levantamento de Campo
Horas de uso ventiladores de teto	Nas horas de ocupação onde o conforto térmico não é atendido – Desconforto por calor.	Levantamento de Campo
Horas de uso Sistema de Ar condicionado	Nas horas de ocupação onde o conforto térmico não é atendido - Desconforto por calor.	Levantamento de Campo

Tabela 1 – Valores de DPI do Sistema de Iluminação Artificial e Ventiladores de Teto das Salas de Aula

Local	DPI - Iluminação Artificial (W/ m <sup>2</sup> )	DPI - Ventiladores de Teto (W/ m <sup>2</sup> )	Local	DPI - Iluminação Artificial (W/ m <sup>2</sup> )	DPI - Ventiladores de Teto (W/ m <sup>2</sup> )
Sala 01	5.12	6.15	Sala 15	2.78	13.39
Sala 02	3.92	-	Sala 16	2.78	-
Sala 04	3.08	6.90	Sala 21	7.96	14.15
Sala 05	4.69	6.78	Sala 22	6.17	14.11
Sala 11	3.04	14.15	Sala 23	9.3	13.17
Sala 12	2.77	9.46	Sala 24	9.39	15.86
Sala 13	2.77	13.17	Sala 25	2.65	-
Sala 14	4.15	15.86	Sala 26	7.13	3.57

O programa utilizado para as simulações do conforto térmico e desempenho energético das salas de aula foi o EnergyPlus 9.1 (DOE, 2019). As simulações foram realizadas em base anual (8.760 horas) utilizando o arquivo climático TRY (Test Reference Year) para a cidade de Belo Horizonte disponível no site do Laboratório Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina (LABEEE, 2016). A Figura 4 apresenta a perspectiva do modelo de simulação.

Dentre as características determinantes do edifício está a da ventilação natural. A simulação da ventilação natural foi realizada no EnergyPlus através do *Airflow Network*, multi-zona, sendo os coeficientes de pressão do vento calculados pelo próprio software. As aberturas das janelas são controladas pela temperatura, ou seja, quando a temperatura do ar do ambiente é igual ou superior a temperatura do termostato e quando a temperatura do ar do ambiente é superior a temperatura externa as janelas são acionadas. A temperatura de termostato utilizada foi de 20°C, valor referenciado no RTQ-R (INMETRO, 2012). Os coeficientes e expoentes de fluxo de ar para as aberturas são mostrados no Quadro 2

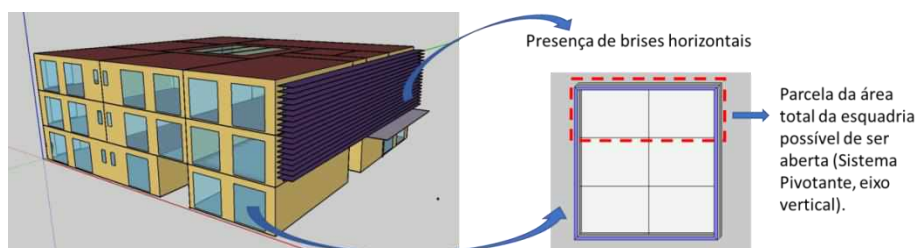


Figura 4 – Modelo do Edifício UnaLiberdade desenvolvido no software OpenStudio 2.7 e caracterização do sistema da esquadria das salas de aula no software Window7.7.

Quadro 2-Parâmetros utilizados na simulação da ventilação natural

Componente	Janela pivotante de metal, eixo vertical, sem vedação.
Coefficiente Fluxo de ar quando as aberturas estão fechadas. (kg/sm)	0.00030
Expoente de fluxo de ar quando aberturas estão fechadas. (adimensional)	0.66
Coefficiente de Descarga para fator de abertura 2 (adimensional)	0.6
Fator de altura para fator de abertura 2 (adimensional)	0.33

Fator de largura para fator de abertura 2 (adimensional)	1
--	---

Fonte: (LIDDAMENT, 1986)

### 3.3 Modelagem dos cenários de condicionamento ambiental

Neste estudo foram considerados três cenários base para análise do conforto térmico dos usuários e do desempenho energético das salas de aula. Para a análise do desempenho térmico dos cenários foi utilizado o indicador de intensidade de consumo de energia (EUI) expresso em função de quilowatt-hora por metro quadrado por ano [kWh/m<sup>2</sup>/ano]. O valor de EUI do cenário foi adquirido como sendo a média aritmética obtida dividindo a soma dos valores de EUI das salas pela quantidade de salas.

Para o Cenário 1, o conforto térmico foi simulado considerando o uso exclusivo da ventilação natural em todas as salas. O índice utilizado para aferição do conforto térmico foi o modelo adaptativo de conforto térmico ASHRAE Standard 55 (ASHRAE, 2004). Para as horas de operação das salas de aula estudadas foram estabelecidos os limites de aceitabilidade de 90%. A velocidade do vento adotada para a simulação do conforto térmico foi de 0.2m/s (velocidade média obtida no levantamento *in loco*). A taxa metabólica da atividade utilizada foi de 70W/m<sup>2</sup>. Os valores do índice de resistência térmica das vestimentas foram 0.5clo para os meses de primavera e verão, e 1clo para os meses outono e inverno.

Para o Cenário 2 a simulação considerou o uso da ventilação natural em todas as salas e o uso dos ventiladores de teto nas salas que apresentam este recurso (exceção são as salas 2, 16 e 25 que continuaram apenas com ventilação natural pois não apresentam ventiladores de teto). Para estabelecer uma rotina de utilização dos ventiladores, foi estabelecido que para as horas de operação das salas em que os valores provenientes da simulação do cenário 1 se encontravam dentro dos limites de aceitabilidade de 90% ocorreria o uso exclusivo da ventilação natural, caso contrário os ventiladores seriam acionados simultaneamente ao uso da ventilação natural. Nos meses frios de junho, julho e agosto não foram considerados acionamento dos ventiladores. A partir destas informações foram montados os *schedules* de acionamento dos ventiladores para registro do consumo de energia dos mesmos. Foram adotados *schedules* em base horária para as 8760 horas do ano. Os *schedules* de acionamento dos ventiladores indicam em cada hora, o valor correspondente a 0 (zero) ou 1 (um), que significa quando 0 (zero) que não há uso dos ventiladores e quando 1 (um) que os ventiladores estão acionados. Para que o acionamento dos ventiladores fosse capaz de influenciar o conforto térmico foram desenvolvidos os *schedules* de alteração da velocidade do ar durante a simulação. Os *schedules* de alteração da velocidade dos ventiladores são espelhos dos *schedules* de acionamento e indicam em cada hora, o valor correspondente a 0.2 ou 1, que significa quando 0.2 (velocidade de 0.2m/s) e quando 1 (velocidade de 1m/s – velocidade média obtida com os ventiladores ligados no levantamento *in loco*). A velocidade 0.2m/s é utilizada durante o uso exclusivo de ventilação natural (similar ao Cenário1) e a velocidade 1m/s é utilizada durante o período de acionamento dos ventiladores.

Para o Cenário 3 a simulação considerou o uso de ventilação natural em todas as salas e o uso do ar condicionado nas salas que apresentam este recurso. A exceção são as salas 11,13,14 e 15 que não apresentam ar condicionado, sendo mantido o acionamento dos ventiladores conforme rotina descrita no cenário 2. Para as salas com sistema de condicionamento de ar, foram considerados os acionamentos do ar condicionado nos períodos em que o conforto térmico não foi atingido exclusivamente com a ventilação natural. Os equipamentos splits foram considerados apenas para o resfriamento dos ambientes. Nos meses frios de junho, julho e agosto não foram considerados os acionamentos dos splits. A temperatura de *setpoint* foi considerada 25°C (valor referenciado na NBR 16401). A partir destas informações foram montados os *schedules* de funcionamento dos splits. Foram adotados *schedules* em base horária para as 8760 horas do ano. Os *schedules* de acionamento dos splits indicam em cada hora, o valor correspondente a 0 (zero) ou 1 (um), que significa quando 0 (zero) que não há uso dos splits e quando 1 (um) que os splits estão acionados. Os *schedules* da ventilação natural apresentam rotinas opostas as rotinas dos splits.

## 4. RESULTADOS

No contexto deste estudo, foram analisados o conforto térmico das 16 salas de aula considerando 3 cenários de condicionamento ambiental. A Figura 5 apresenta as horas de atendimento (A) e não atendimento (NA) ao conforto térmico para os três cenários base estudados.

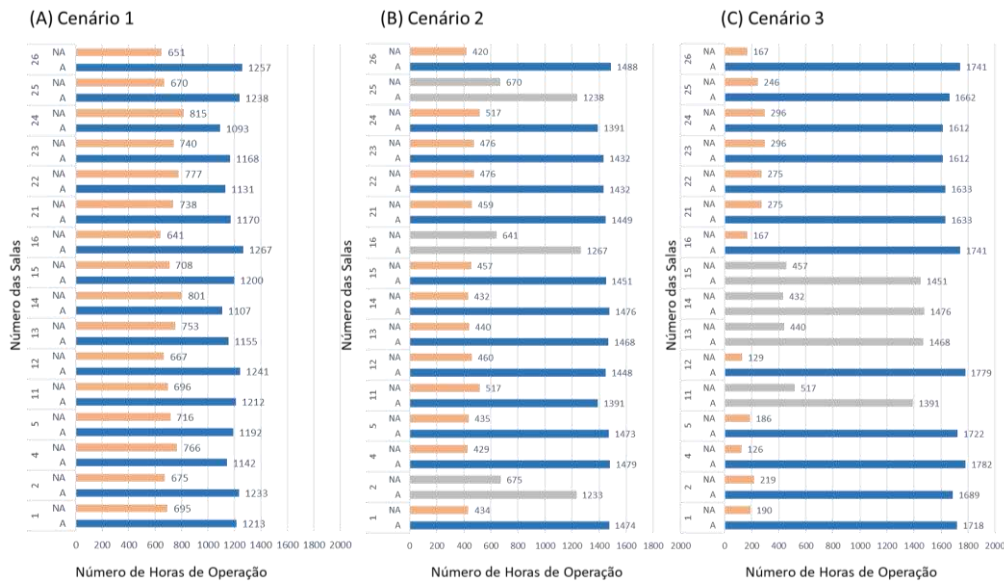


Figura 5 Distribuição por salas do número de horas de operação cujo conforto térmico é atendido (A) ou não atendido (NA) durante o período de operação do ambiente. (A) Cenário 1, (B) Cenário 2, (C) Cenário 3.

No Cenário 1 em 62% das horas de operação das salas de aula ao longo do ano o conforto térmico é atingido com uso exclusivo de ventilação natural. As salas que apresentam maior quantidade e horas de não atendimento ao conforto térmico são as salas 4, 14 e 24. Uma análise mais próxima da arquitetura destes espaços, permite identificar que estas salas têm em comum a não possibilidade de ventilação cruzada permanente e orientação oeste. As salas com menor número de horas de não atendimento ao conforto térmico apresentam faces direcionadas para leste e sul, explicitando o papel determinante da orientação solar neste cenário. No Cenário 2 as salas 2, 16 e 25 não apresentam modificações em relação ao Cenário 1, visto não possuem ventiladores de teto, sendo neste cenário contabilizado para estas salas apenas o uso exclusivo da ventilação natural (estas salas aparecem em tons de cinza na Figura 5B). Nas demais salas observa-se que o uso dos ventiladores de teto permitiu a diminuição do número de horas de não atendimento ao conforto térmico. De modo geral, em termos percentuais, o número de horas de atendimento ao conforto térmico subiu de 62% (Cenário 1) para 74%. No Cenário 3 as salas 11, 13, 14 e 15 não apresentam modificações em relação ao Cenário 2 por não possuem equipamentos de ar condicionado instalados (estas salas aparecem em tons de cinza na Figura 5C). Nos demais ambientes observa-se que o percentual do número de horas de atendimento do conforto térmico subiu. De modo geral o percentual de horas de atendimento ao conforto térmico subiu de 74% (Cenário 2) para 86%.

A Figura 6 apresenta a distribuição mensal das horas de atendimento (A) e não atendimento (NA) para a Sala 24 ao longo dos três cenários. A Sala 24 foi selecionada para ilustrar esta análise por ter apresentado no Cenário 1 o maior número de horas de não atendimento ao conforto térmico. Uma análise mais próxima desta sala permite visualizar que no Cenário 1 os meses de fevereiro e março apresentam os maiores percentuais de não atendimento (superiores a 65%), enquanto os meses de maio, junho, julho e agosto apresentam os menores percentuais de não atendimento (inferiores a 25%). Uma análise do Cenário 2 permite visualizar um aumento expressivo do número de horas de atendimento nos meses de fevereiro e março. Nestes meses os percentuais de atendimento subiram na média de 30% (Cenário 1) para aproximadamente 55%. Nos meses de setembro, outubro, novembro e dezembro estes aumentos percentuais são também expressivos subindo de aproximadamente 50% (Cenário 1) para 70%. O Cenário 3 permite visualizar que para todos os meses do ano os percentuais de atendimento passam a ser superiores a 80%, sendo os meses mais frios (junho, julho e agosto) os que passam a ter a maior contribuição nos percentuais de horas de não atendimento ao conforto térmico.

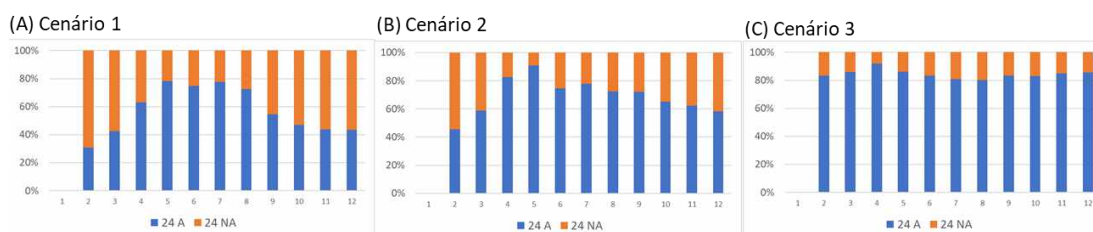


Figura 6 –Distribuição mensal das horas de atendimento ou não atendimento do conforto térmico para a Sala 24. (A) Cenário 1, (B) Cenário 2, (C) Cenário 3.

A Figura 7 apresenta a intensidade de consumo de energia (EUI) dos três cenários estudados. Uma progressão na intensidade do consumo de energia é observada à medida que os equipamentos de condicionamento ambiental são incorporados aos cenários analisados. No Cenário 1, o EUI é da ordem de 19 kWh/m<sup>2</sup>/ano. Neste cenário apenas os sistemas de iluminação e equipamentos de apoio a sala de aula são contabilizados na intensidade energética. O Cenário 2 apresenta EUI da ordem de 25 kWh/m<sup>2</sup>/ano. Neste cenário as rotinas de uso dos ventiladores de teto passam a ser contabilizadas na intensidade energética e representam em termos percentuais um valor de aproximadamente 25% do EUI total. O Cenário 3 apresenta EUI da ordem de 36 kWh/m<sup>2</sup>/ano. Neste cenário, o EUI do ar condicionado é responsável por aproximadamente 40% do valor do EUI total, enquanto os ventiladores representam aproximadamente 7% do EUI total. Do ponto de vista da performance energética observa-se oportunidade de melhoria da eficiência dos equipamentos de ar condicionado visto serem atualmente todos Classe B. Análise similar pode ser feita em relação ao sistemas de iluminação artificial do ambiente, visto ainda existir espaço para substituição de lâmpadas fluorescentes por lâmpadas Leds.

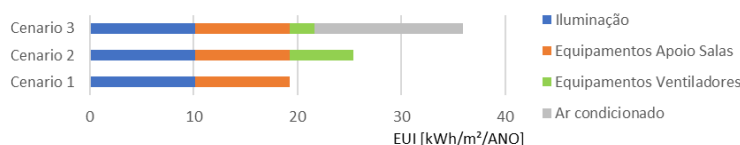


Figura 7 – Intensidade do Uso da Energia (EUI) para os Cenários 1, 2 e 3.

Para melhor compreender a contribuição dos componentes físicos, equipamentos e quantidade de pessoas na caracterização térmica do ambiente foi analisado o ganho de calor do ambiente. A Figura 8 ilustra a contribuição destes itens no ganho de calor da Sala 25. A Sala 25 foi selecionada para ilustrar esta análise pela sua localização no contexto do edifício. Na Figura 8A observa-se o peso das janelas no ganho de calor da sala, principalmente no período da tarde. Este fato deve-se principalmente a posição da sala no pavimento (fachada noroeste) e alto percentual de área envidraçada do ambiente. A Figura 8B mostra a expressiva contribuição do componente pessoas no ganho de calor do ambiente. Esta alta parcela se relaciona principalmente a alta densidade populacional do ambiente bastante característico do uso educacional de ensino superior. Do ponto de vista da performance térmica das salas de aula, observa-se a possibilidade de melhorias principalmente do sistema de janelas. Na edificação as janelas têm tamanhos significativos, pouca área de ventilação e com exceção das janelas da fachada leste não apresentam nenhum elemento de sombreamento, revelando assim grandes possibilidades de melhoria.

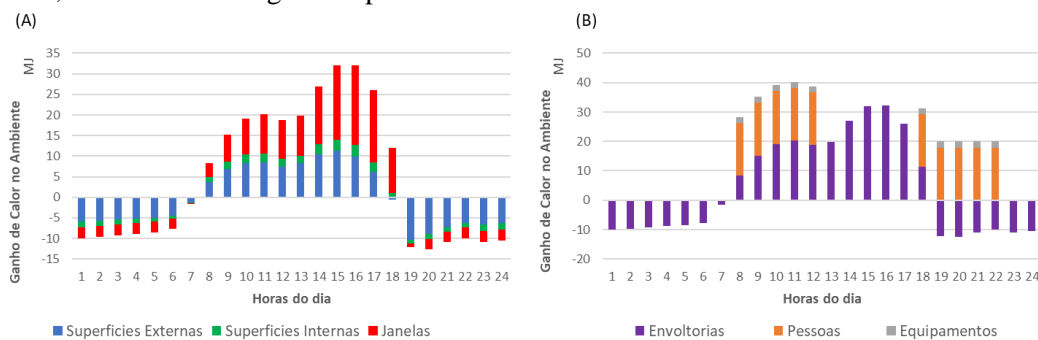


Figura 8 - (A) Ganho de calor das envoltórias do ambiente – Sala 25, para o dia típico de verão. (B) Ganho de calor das envoltórias, pessoas e equipamentos – Sala 25, para o dia típico de verão.

Tendo em vista este contexto, foi estudado o impacto do *retrofit* das esquadrias sobre o número de horas de atendimento ao conforto térmico. Foi simulado neste estudo a ampliação da área de ventilação das esquadrias atuais de 1/3 para 2/3 do área do vão da esquadria. A Figura 9 ilustra para o Cenário 1 a modificação proposta bem como as alterações no número de horas de atendimento ao conforto térmico. Observa-se de um modo geral um aumento percentual da ordem de 8% no número de horas de atendimento ao conforto térmico ao longo do ano, passando de 62% (Cenário 1) para 70% (Cenário 1 – Retrofit Janelas).



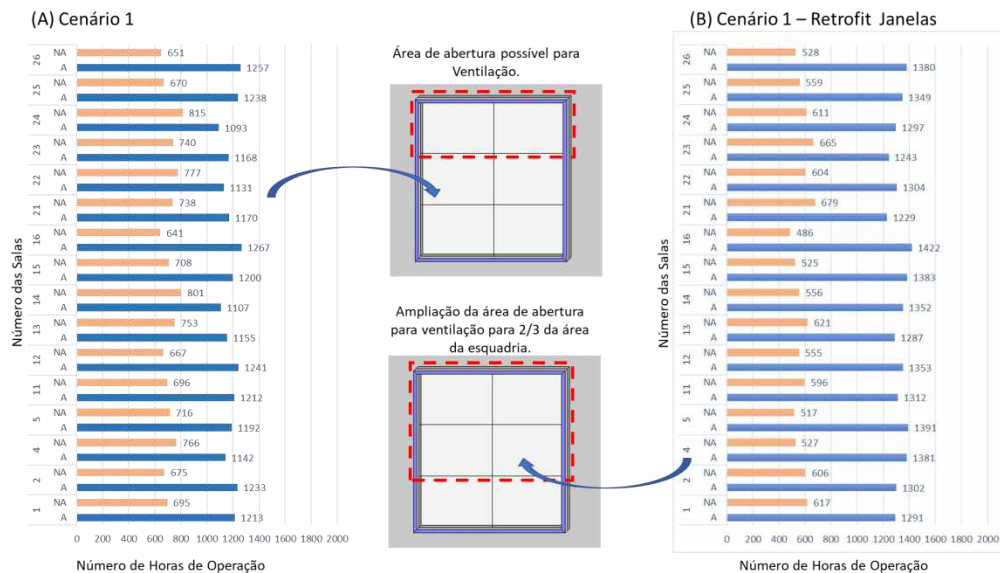


Figura 9 - Distribuição por salas do número de horas de operação cujo conforto térmico é atendido (A) ou não atendido (NA) durante o período de operação do ambiente. (A) Cenário 1, (B) Cenário 1 Retrofit área de ventilação janelas.

A ampliação do número de horas de atendimento ao conforto térmico tem repercussão direta na diminuição do acionamento do ar condicionado e ventiladores, com conseqüente diminuição dos valores de EUI nos Cenários 2 e 3. A Figura 10 ilustra o impacto do retrofit das esquadrias sobre os valores de EUI para os Cenários 2 e 3. A diminuição dos valores totais de EUI é da ordem 8% para o Cenário 2 Retrofit e da ordem de 11% para o Cenário 3 Retrofit.

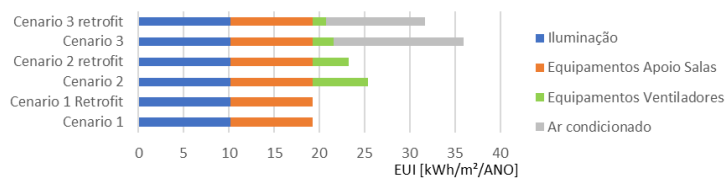


Figura 10 - Intensidade do Uso da Energia (EUI) para os Cenários 2 e 3 Retrofit Janelas

## 5. CONCLUSÕES

Este estudo analisou o conforto ambiental e desempenho energético de 16 salas de aula em três cenários: (1) uso exclusivo de ventilação natural, (2) uso da ventilação natural associada ao uso dos ventiladores e (3) uso de ventilação natural associada ao uso de ar condicionado. Os resultados das simulações indicam que o conforto térmico é atingido em 62% das horas de operação das salas de aula para o Cenário 1, e o percentual aumenta à medida que são introduzidas ações de melhoria do conforto térmico. No Cenário 2 a introdução dos ventiladores permite subir para 74% este percentual enquanto no Cenário 3 com a introdução do ar condicionado este percentual sobe para 86%. A introdução destas tecnologias ativas melhora o conforto térmico, mas conseqüentemente aumenta a intensidade de consumo energético das salas. O EUI do Cenário 3 chega a ser 85% superior ao do Cenário 1.

Uma análise mais próxima dos ganhos de calor nos ambientes indica que as envoltórias, e no contexto destas principalmente as janelas, representam um parcela significativa do ganho de calor nas salas de aula. No contexto das salas de aula a contribuição do componente pessoas no ganho de calor também é bastante relevante visto ter um associação direta com o tipo de uso do espaço.

Do ponto de vista do desempenho energético observa-se a possibilidade de melhoria da eficiência dos sistemas de ar condicionado e iluminação artificial. Do ponto de vista da performance térmica, observa-se a possibilidade de melhoria principalmente do sistema de janelas, onde foi identificado o potencial de aumento das horas de atendimento ao conforto térmico com conseqüente diminuição dos valores de intensidade do uso de energia. Conhecer estas potenciais melhorias abre oportunidade real de ações voltadas para eficiência energética da edificação e em uma visão mais ampliada abre caminho para o estudo termo-energético de outros prédios da instituição de ensino superior, o que permitirá no futuro o desenvolvimento de políticas internas de eficiência energética na instituição.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT, N. **NBR 16401**. Instalações de ar condicionado—sistemas centrais e unitários. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2008.
- AMORIM, C. N. et al. Avaliação do módulo educacional edifício Fiocruz—Brasília: uso da luz natural e eficiência energética. **XI Encontro Nacional e VII Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído**. Búzios, RJ, 2011.
- ASHRAE, A. Standard 55-2004, Thermal environmental conditions for human occupancy. **American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineering**, Atlanta, GA, 2004.
- BENAVIDES, J. R. R. **A auditoria energética como ferramenta para o aproveitamento do potencial de conservação da energia: o caso das edificações do setor educacional**. PhD Thesis—[s.l.] Universidade de São Paulo, 2014.
- DE MENDONÇA LEITE, L.; VILLA, A. A. O.; DA COSTA, J. Â. P. Estudo do Consumo Energético de um edifício de Ensino Superior em Alagoas-Brasil. **CIENTEC-Revista de Ciência, Tecnologia e Humanidades do IFPE**, v. 9, n. 3, 2018.
- DOE. **EnergyPlus Engineering Reference**. USA: Department of Energy, mar. 2019.
- FRANDOLOSO, M. A. L. et al. Avaliação do desempenho térmico e da eficiência energética no parque construído da universidade de Passo Fundo-RS. **ENTAC 2010**, v. 13, p. 2010, 2010.
- GONÇALVES, J. C. S. (ORG); BODE, K. (ORG). **Edifício Ambiental (Environmental Building)**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.
- INMETRO. **Anexo geral V da Portaria INMETRO N° 50/2013- Catálogo de propriedades térmicas de paredes, cobertura e vidros**, 2013. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtosPBE/regulamentos/AnexoV.pdf>>. Acesso em: 29 jul. 2016
- INMETRO. **RTQ-R - Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais**. Disponível em: <<http://www.pbeedifica.com.br/etiquetagem/residencial/regulamentos>>. Acesso em: 21 jun. 2019.
- LABEEE. **Arquivos climáticos em formato TRY, SWERA, CSV e BIN (TRY, CSV and BIN Weather files)**. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-try-swera-csv-bin>>. Acesso em: 15 jan. 2016.
- LIDDAMENT, M. W. **Air infiltration calculation techniques: An applications guide**. [s.l.] Air Infiltration and Ventilation Centre, 1986.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Centro Universitário Una pelo fornecimento dos dados do edifício e pelo financiamento do Projeto de Iniciação Científica do qual este estudo foi parte integrante.