

SIMULAÇÃO TERMOENERGÉTICA DE EDIFÍCIO EDUCACIONAL HISTÓRICO NATURALMENTE VENTILADO NA CIDADE DE BRASÍLIA

Lucas Rezende da Costa (1); Camila Joko (2) Caio Frederico e Silva (3)

(1) Arquiteto e Urbanista, arq.lucas.costa@gmail.com, Universidade de Brasília, Centro de Planejamento
Oscar Niemeyer, (61) 3107-1128

(2) Estudante, camilajoko@hotmail.com, FAU UnB

(3) Professor da Pós-Graduação FAU UnB, caiosilva@unb.br

RESUMO

A problemática referente às questões termoenergéticas atinge a construção civil em seus aspectos econômicos e ambientais. As edificações são parte considerável na equação produção-consumo de energia, principalmente as mais antigas, pois elas são em maior quantidade e tendem a ter sistemas defasados e quase sempre menos eficientes. Para este estudo, buscou-se um edifício existente e representativo historicamente no contexto da cidade de Brasília. O objetivo do trabalho é avaliar o desempenho termoenergético do edifício e estudar possibilidades de intervenção arquitetônica, visando avaliar os impactos energéticos no fator mais impactante da equação produção-consumo de energia. O método utilizado baseou-se na simulação computacional, no Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética da Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas - RTQ-C, na Norma Brasileira NBR-15.220 e no conceito de conforto adaptativo. Esta metodologia avalia tanto do estado atual da edificação quanto os cenários com propostas de intervenção. Os resultados mostram que, mesmo que mais de 80% da carga térmica solar atribuída ao edifício esteja concentrada na cobertura, uma simples troca de material nessa superfície gera um incremento de 15 pontos percentuais nas horas ocupadas em conforto. Isto mostra a complexidade de sistemas e fatores a serem considerados ao se conceber uma nova edificação ou reabilitar uma existente. O trabalho desenvolvido mostrou que o aumento do número de horas em conforto através de soluções passivas, exclusivamente, podem nem sempre atender às normas atuais, mas melhoram significativamente o grau de conforto do usuário.

Palavras-chave: Design Builder, Etiquetagem, Conforto Adaptativo, Retrofit, Universidade de Brasília.

ABSTRACT

The problem related to thermos-energetic issues reaches civil construction in its economic and environmental aspects. The buildings are a considerable part of the energy production-consumption equation, especially the older ones, because they are in larger quantity and tend to have lagged systems, therefore, less efficient than most recent buildings. For this study, was searched an existing building that has historical value in the city of Brasilia. The purpose of this study is to evaluate the thermoenergetic performance of the building and to study possibilities of architectural intervention, in order to evaluate the energy impacts in the most impacting element of the buildings energy production-consumption equation. The method used was based on the Technical Quality Regulation for the Energy Efficiency Level of Commercial, Services and Public Buildings - RTQ-C, in the Brazilian Standard NBR-15220 and the concept of adaptive comfort. This methodology evaluates both original and intervention proposals of buildings. The results show that, even if more than 80% of the solar thermal load attributed to the building is concentrated in the roof, a simple material exchange on this surface generates an increment of 15 percentage points in the hours occupied in comfort. This shows the systems complexity and factors to consider when designing a new building or rehabilitating an existing one. This work shows that increasing the number of hours occupied in comfort only through passive solutions may not always meet current standards, but it significantly improve the user comfort.

Keywords: Design Builder, Labeling, Adaptive Comfort, Retrofit, Brasília University.

1. INTRODUÇÃO

Falar em sustentabilidade significa, entre outros conceitos, atender às demandas de desenvolvimento do presente sem penalizar as gerações futuras no quesito manutenção dos recursos naturais (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2013). Ainda segundo esses mesmos autores, é essencial associar a esse tema o conceito de eficiência energética pois isso significa atingir um mesmo resultado com menor custo energético. Pode-se com esses dois conceitos interligados expandir a sustentabilidade em várias vertentes: sustentabilidade econômica, ambiental e social (REZENDE, *et al.*, 2012). A vertente econômica quando se pensa no custo que a extinção de um determinado recurso atualmente explorado pode acarretar, a ambiental quando se busca o maior aproveitamento dos recursos para atingir os níveis de desenvolvimentos almejados e manter o ecossistema com o mínimo de intervenção e a social ao se pensar no bem-estar dos cidadãos.

No âmbito legal, vale salientar que desde quatro de junho de 2014, com a Instrução Normativa 02 do Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão – MPOG -, toda edificação pública federal a ser construída ou reformada, exceto obras com menos de 500m² ou cujo valor seja inferior ao equivalente do Custo Unitário Básico – CUB - aplicado a uma construção de 500m², devem possuir a etiqueta A do PBE-Edifica. Essa normativa reflete a nova e crescente preocupação com a sustentabilidade e com a eficiência energética sobretudo dos edifícios públicos.

Um aspecto essencial para atingir um bom nível de eficiência é a boa qualidade da arquitetura proposta. O projeto que possui diretrizes de sustentabilidade desde sua concepção tem mais chance de se tornar um edifício eficiente. Entretanto, a preocupação com a sustentabilidade e com a eficiência são recentes. Conclui-se com isso que existem muitos edifícios que não adotaram tais diretrizes, o que aumenta as chances de os mesmos não serem sustentáveis nos moldes atuais.

A matriz energética brasileira é maciçamente dependente da geração a partir das hidrelétricas. A eletricidade total ofertada em 2015 foi de 615,9TWh. Desses, 394,2TWh foram provenientes de hidrelétricas, o que equivale a 64% do total gerado (MME, 2016). Portanto quando se fala em economia de energia no Brasil, busca-se a economia tanto da energia em si quanto da água, que é o recurso natural mais utilizado para a produção da mesma.

Com tantas edificações possivelmente ineficientes existentes, não se pode ater apenas pela busca de métodos de projeto e construção de novas edificações eficientes. A revitalização é fator essencial para buscar a eficiência energética das cidades, uma vez que hoje o uso público, que já é legalmente obrigado a ser eficiente, é responsável por apenas 8% do consumo de toda energia elétrica nacional (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2013). Entretanto os usos residencial e comercial (responsáveis por, respectivamente, 23,3% e 15,4% do consumo energético nacional) deverão ser, em um futuro próximo, obrigados a seguirem normativas de eficiência nos moldes do uso público.

Para comprovar a referida economia existem diversas formas de se avaliar uma edificação existente: vistorias técnicas; avaliações de pós ocupação; simulação computacional; dentre outras. Neste sentido, este estudo foca no uso de simulação computacional que, segundo Hensen e Lamberts (2011), é extremamente poderosa para avaliar possíveis alterações arquitetônicas individualmente bem como subsidiar a criação de políticas públicas no âmbito da promoção de edificações mais eficientes.

Sabe-se, entretanto, que nem sempre apenas soluções passivas são suficientes para garantir o conforto interno dos usuários (MAHDAVI e ALEKSANDROWICZ, 2015). Não obstante, as soluções passivas são fundamentais para que o conforto seja atingido com o mínimo de gasto energético por parte dos sistemas artificiais.

2. OBJETIVO

Analisar o desempenho termoenergético do estado original do prédio da Faculdade de Educação FE1 bem como o de 5 possíveis cenários de alterações de materiais elaborados considerando os aspectos patrimoniais.

3. MÉTODO

O método do estudo apoia-se na simulação computacional como método de análise. Para isto, foi utilizada a plataforma *Design Builder* (versão 2.2), que utiliza o algoritmo de simulação *EnergyPlus* (versão 4.0) desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos.

De acordo com a Instrução Normativa 02 de 2014 do MPOG, todas as obras que possuam recursos públicos equivalentes ou superiores ao CUB de uma obra de 500m² ou que tenham área de intervenção de 500m² ou mais devem possuir a etiqueta “A” do PBE-Edifica.

Portanto, a estratégia de intervenção de uma edificação institucional, que possui Ato da Reitoria que a situa no sítio histórico do *Campus* Darcy Ribeiro que por sua vez está inserido no contexto de Brasília, patrimônio arquitetônico e urbanístico nacional, exige que se concilie a obtenção da etiqueta A do PBE-Edifica com manutenção de suas características arquitetônicas originais. Para essa conciliação, foram avaliadas principalmente alterações de materiais para a cobertura e alterações de tipos de vidro.

A metodologia do presente trabalho se baseou em alguns aspectos do RTQ-C, por sua obrigatoriedade legal em edifícios públicos, na NBR 15220/2003 para o cálculo das transmitâncias dos materiais e na teoria de Aluciems (1981) sobre o conceito de conforto adaptativo. A essas referências soma-se a aplicação de diferentes materiais no modelo real para a simulação, resultando na análise da influência da troca de materiais na etiquetagem da edificação, conforme apresentado na Figura 1.

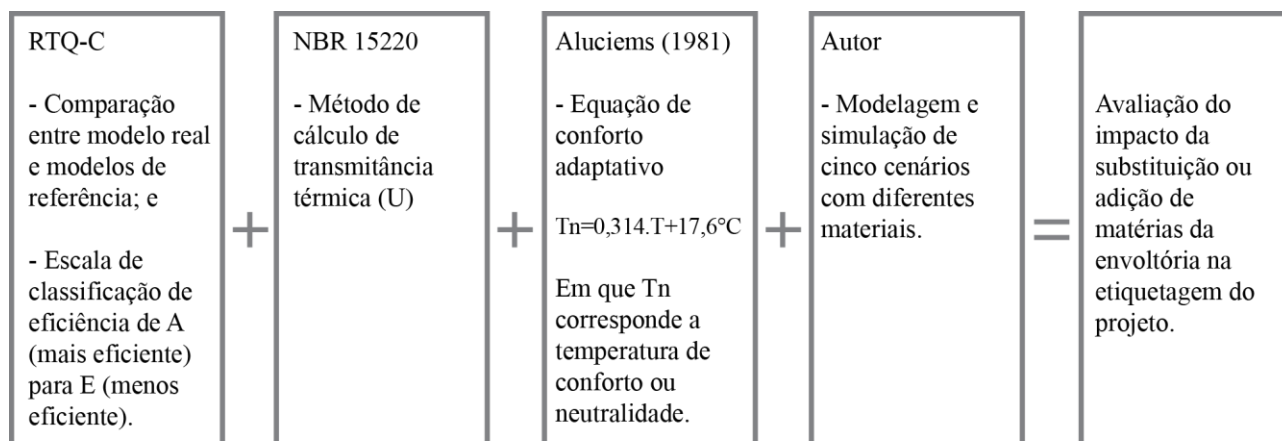


Figura 1 - Diagrama de construção da metodologia

A avaliação do desempenho termoenergético realizada na FE 1 foi baseada na metodologia proposta no RTQ-C, que foi instituída pela Portaria nº 372 de 17 de setembro de 2010 do Inmetro.

O RTQ-C especifica uma escala de eficiência semelhante ao já utilizado pelo Inmetro na etiqueta do PBE. Essa escala é aplicada em três sistemas individualmente (envoltória, iluminação e condicionamento de ar) e, após a análise desses, é calculada a etiqueta geral do projeto ou do edifício. A partir da análise e da nota obtida em cada sistema, é possível a emissão de uma Etiqueta Nacional de Conservação de Energia – ENCE - geral (ENCE=30% envoltória+30% sistema de iluminação+40% condicionamento de ar) e parcial para cada sistema.

A etiquetagem de eficiência energética proposta pelo RTQ-C pode ser realizada a partir de duas metodologias: prescritiva; ou por simulação. O método prescritivo é baseado na análise de um número limitado de casos através de regressão e não é aplicável em ambientes que sejam ventilados naturalmente (RTQ-C, 2014). Já o método de simulação, para ser válido, utiliza dados climáticos (temperatura, umidade, direção e velocidade do vento e radiação solar) da zona bioclimática em estudo que sejam aprovados pelo laboratório de referência. Além dos dados bioclimáticos, o software também deve ser validado pela American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers - ASHRAE - Standard 140 (RTQ-C, 2014). Tal nível de exigência proporciona um resultado confiável e que considera mais variáveis do que o método prescritivo.

Ademais, para complementação do RTQ-C, utilizou-se a abordagem de conforto adaptativo. Segundo Pereira (2010), o conforto adaptativo se baseia em resultados de medições de condições ambientais e conjectura seus efeitos na sensação de conforto térmico dos indivíduos. Portanto, através de equações de temperatura neutra como a de Aluciems (1981), considera-se o indivíduo como agente térmico do ambiente e desenvolve-se índices adaptativos que pretendem mimetizar as condições reais do espaço construído.

Com isso, para o presente estudo, faz-se necessário utilizar o método de simulação para a sua análise completa, visto que, o edifício da FE 1 (bem como a maioria das edificações existentes) foi pensado para funcionar apenas a partir da ventilação natural para seu condicionamento térmico e considera a troca de calor entre o meio e o usuário.

3.1. A Faculdade de Educação - FE1

O edifício de estudo faz parte do primeiro conjunto de edificações do *campus* da Universidade de Brasília – FE 1, FE 3 e FE 5. A FE 1 foi projetada por Alcides Águila da Rocha Miranda, José Manoel Kluff Lopes da Silva e Luís Humberto Miranda Pereira em 1961, construída em 1962 e possui aproximadamente 2.666m² de

área construída (SCHLEE, GARCIA, *et al.*, 2014). O edifício possui uma projeção de, aproximadamente, 80m de comprimento por 40m de largura e 5m de altura. Possui um pátio, no centro do edifício, de 8m de largura por 8m de comprimento com pérgulas e uma varanda que circunda todo o prédio de aproximadamente, 6m de largura. Sua implantação segue a orientação Norte-Sul paralela ao seu eixo longitudinal (inclinada levemente – 35° - a Oeste) como mostra a Figura 2.

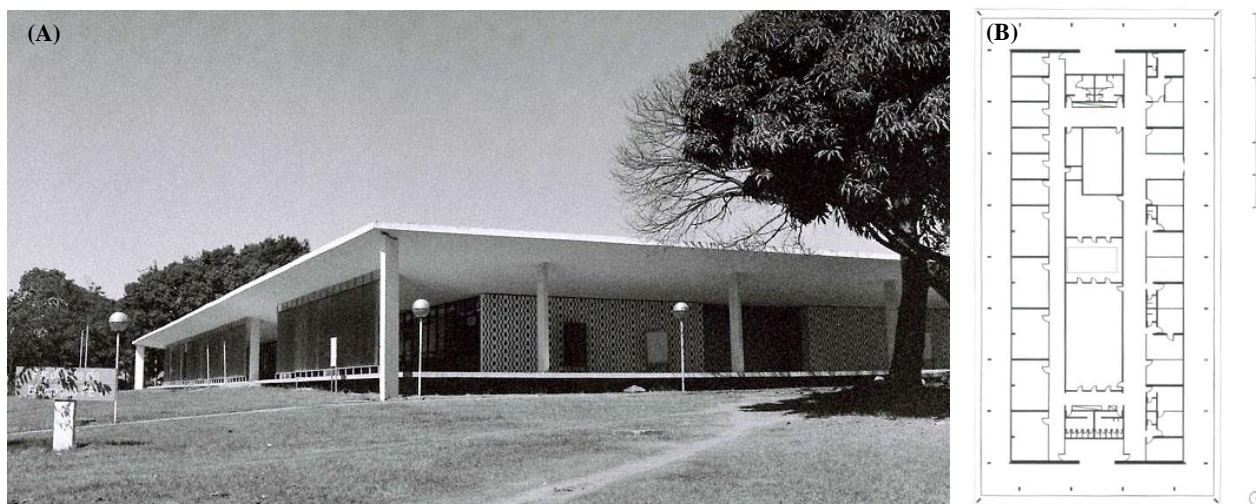


Figura 2 - FE 1 - (A) Vista e (B) planta baixa.

As fachadas Norte e Sul são cegas e revestidas por azulejos desenhados pelo projetista Luís Humberto Miranda Pereira. As fachadas Leste e Oeste são totalmente envidraçadas e protegidas por um conjunto de brise-soleil verticais móveis que possibilitam o fechamento completo da radiação solar. A cobertura possui duas tipologias: sobre a varanda, uma laje de concreto armado com, aproximadamente, 7cm de espessura que recebeu uma manta asfáltica de impermeabilização; e, sobre o restante do edifício, uma telha de zinco em duas águas com um entreferro de, aproximadamente, 50cm e placas de gesso internamente.

O edifício se desenvolve em apenas um pavimento. As áreas de permanência se localizam, em sua maior parte, nas fachadas Leste e Oeste. Na porção central do edifício estão situados um auditório e algumas das salas administrativas. Os acessos se dão pelas fachadas Norte e Sul.

3.2. Construção dos modelos virtuais - *Design Builder*

Para a simulação da edificação em questão foi escolhido o software *Design Builder* por utilizar o algoritmo de cálculo *EnergyPlus* e aceitar segundo os protocolos da ASHRAE.

Inicialmente são inseridas informações referentes à ficha de identificação do modelo. Logo após identificá-lo, são inseridos os dados bioclimáticos, parâmetros de ocupação, de uso de equipamentos e de sistema de iluminação de acordo com o uso real da edificação, como listados abaixo:

- Arquivo climático: BRASILIA (CIV/MIL) ano de 2002.
- Categoria: universidade educacional.
- Meses de ocupação: março a junho e de agosto a novembro.
- Horas de ocupação: segunda-feira a sexta-feira das 8 as 21 horas e sábado das 8 ao meio dia.
- Tipo de atividade: sala de aula, circulação e banheiro.
- Densidade de ocupação: 0,2 pessoas por metro quadrado.
- Fator clo: 0,5 para o verão e 1,0 para o inverno.
- Atividade (metabolismo): parado ou andando.
- Taxa de renovação de ar: 5 litros por segundo por pessoa.
- Uso de equipamentos: 5 Watts por metro quadrado.
- Sistemas de iluminação: foram levantadas as luminárias existentes e aplicadas o valor de Watts para cada ambiente.

No caso em questão, foram desabilitados os sistemas de resfriamento, aquecimento, aquecimento de água e ventilação mecânica pela inexistência dos mesmos no edifício real.

Em um segundo momento, foi realizado o processo de modelagem do edifício. Utilizando *Building Block* para criação da envoltória do edifício e *Component Block* para a criação dos elementos de proteção solar como a cobertura e o piso do avarandado, os brises verticais recuados da fachada e os horizontais do

pátio. Com a geometria modelada, são aplicados os usos previamente configurados a cada zona criada (circulação, sanitários e salas) conforme apresenta a Figura 3.

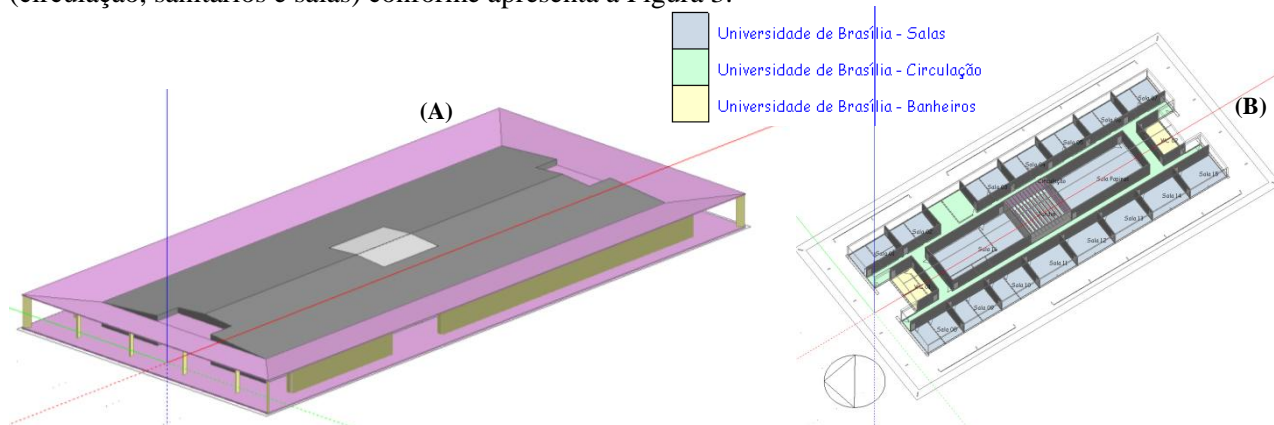


Figura 3 - Modelo Virtual da FE 1- (A) vista do sítio e (B) vista do bloco.

Após a modelagem de todos os elementos, inicia-se o processo de configuração dos materiais de cada elemento. Visando minimizar tarefas repetidas e, conseqüentemente, possíveis erros de *input*, os materiais foram configurados na hierarquia da construção (no modelo indicado por "Faculdade de Educação 1"). Dessa forma, as tipologias configuradas de paredes externas e internas, coberturas inclinadas e horizontais, pisos internos e externos e tipo de vidro são aplicadas a todas as entidades nas hierarquias subsequentes conforme sintetizado na Tabela 1. Uma vez que o edifício possui uma linguagem homogênea no que tange a materiais, os ajustes foram mínimos.

Tabela 1 - Resumo de materiais do Modelo Real

Material	Camadas (externa para interna)	C [KJ/m ² K]	U [W/m ² K]	R [m ² K/W]	α
Divisória interna em madeira	MDF (25mm) Ar (100mm) MDF (25mm)	25,500	1,304	0,767	0,60
Laje inclinada em concreto impermeabilizado do avarandado	Capa em alumínio (2mm) Manta asfáltica (5mm) Cimento (25mm) Concreto armado (60mm)	95,000	4,427	0,226	0,30
Parede de alvenaria 40cm	Cerâmica (20mm) Cimento (20mm) Bloco cerâmico (150mm) Ar (150mm) Bloco cerâmico (150mm) Cimento (20mm) Pintura (1mm)	155,376	1,291	0,775	0,40
Piso com acabamento em mármore	Mármore (30mm) Cimento (50mm) Concreto armado (100mm)	244,440	2,748	0,364	0,58
Cobertura com telha de zinco das áreas de permanência	Zinco (2,5mm) Ar (500mm) Placa de gesso (20mm)	18,000	2,222	0,450	0,30

Após a modelagem do modelo real, foi feita a dos modelos de referência (A, B, C e D) conforme indica o regulamento. Seguem relacionadas na Tabela 2 as principais características (densidade de carga interna – DCI -, densidade de potência instalada – DPI -, percentual de área de abertura na fachada total – PAFt -, ângulos vertical e horizontal de sombreamento – AVS e AHS -, fator solar do vidro – FS -, transmitância da cobertura e parede – U_{cob} e U_{par} - e absorvância à radiação solar da cobertura e parede – α_{cob} e α_{par}) dos modelos de referência.

Tabela 2 - Resumo das características dos modelos de referência

Característica	Modelo de Referência A	Modelo de Referência B	Modelo de Referência C	Modelo de Referência D
Geometria; Orientação; Padrão de uso; e DCI	Igual ao modelo real	Igual ao modelo real	Igual ao modelo real	Igual ao modelo real
DPI [W/m ²]	10,7	12,3	13,9	15,5
Sistema de Condicionamento de ar	Igual ao modelo real (COP=3,23)	Igual ao modelo real (COP=3,02)	Igual ao modelo real (COP=2,81)	Igual ao modelo real (COP=2,60)
Envoltória				
PAFt [%]	15	24	34	44
AVS e AHS	0°	0°	0°	0°
FS	0,87	0,87	0,87	0,87
U _{cob} [Wm ² k]	2	2	2	2
α _{cob}	0,3	0,3	0,3	0,3
U _{par} [Wm ² k]	3,7	3,7	3,7	3,7
α _{par}	0,4	0,4	0,4	0,4

Após realizar todos os procedimentos indicados pela norma, foram feitos diversos estudos acerca de possíveis modificações na edificação considerando sempre o fato de essa estar em um sítio histórico, o que implica em propostas de reabilitação da edificação sem alterar suas características arquitetônicas originais.

A Cobertura foi escolhida como elemento a ser modificado uma vez que essa recebe mais de 80% da carga térmica solar total da edificação segundo estudo de insolação realizado no software *Autodesk Formit*.

A composição e os dados de capacidade, transmitância e resistência térmicas (C, U e R respectivamente) dos cenários citados utilizados nos modelos simulados seguem apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Resumo de materiais dos modelos alternativos

Material	Camadas (externa para interna)	C [KJ/m ² K]	U [W/m ² K]	R [m ² K/W]	α
Cenário 01 - telha sanduíche	Aço galvanizado (0,5mm) Poliuretano (30mm) Aço galvanizado (0,5mm) Ar (500mm) Placa de gesso (20mm)	18,000	0,657	1,522	0,3
Cenário 02 - Inserção de camada de lã de vidro no entreferro existente	Zinco (2,5mm) Ar (400mm) Lã de vidro (100mm) Placa de gesso (20mm)	20,016	0,339	2,949	0,3
Cenário 03 - telha sanduíche e lã de vidro no entreferro	Aço galvanizado (0,5mm) Poliuretano (30mm) Aço galvanizado (0,5mm) Ar (400mm) Lã de vidro (100mm) Placa de gesso (20mm)	2,787	0,253	3,952	0,3
Cenário 04 - Inserção de camada de lã de vidro no entreferro existente e troca dos vidros existentes por vidros duplos	Zinco (2,5mm) Ar (500mm) Lã de vidro (30mm) Placa de gesso (20mm) Vidro low-E(3mm) Ar (13mm) Vidro (3mm)	20,016	0,339	2,949	0,3
Cenário 05 - Inserção de camada de lã de vidro no entreferro existente e modificação do brise	Zinco (2,5mm) Ar (500mm) Lã de vidro (30mm) Placa de gesso (20mm)	20,016	0,339	2,949	0,3

Os cenários propostos foram:

Cenário 01 - Alteração da cobertura de telha de zinco para telha sanduíche (composta de uma camada de telha de aço galvanizado, poliuretano e outra camada de aço galvanizado);

Cenário 02 - Inserção de camada de lã de vidro no entreferro da cobertura existente;

Cenário 03 - Alteração da cobertura de telha de zinco para telha sanduíche e inserção de camada de lã de vidro no entreferro;

Cenário 04 - Inserção de camada de lã de vidro no entreferro da cobertura existente e troca dos vidros existentes por vidros duplos com revestimento baixo-emissivo (*Low-E*);

Cenário 05 - Inserção de camada de lã de vidro no entreferro da cobertura existente e modificação do brise móvel existente para brise fixo com a melhor angulação de proteção para as fachadas (mantendo todas as outras características originais).

4. RESULTADOS

Inicialmente foram tabulados e tratados os dados obtidos nos modelos real e de referência do *Design Builder* em planilhas do *Excel* a fim de se obter de modo mais claro informações sobre a situação atual da edificação.

Os modelos alternativos variaram as características conforme apresentado na Tabela 4:

Tabela 4 - Síntese das características dos modelos alternativos comparadas com o modelo real

Característica	Modelo Real	Cenário 01	Cenário 02	Cenário 03	Cenário 04	Cenário 05
Geometria	80x40x4,6m	Igual ao modelo real	Igual ao modelo real	Igual ao modelo real	Igual ao modelo real	Igual ao modelo real
Orientação	55°	Igual ao modelo real	Igual ao modelo real	Igual ao modelo real	Igual ao modelo real	Igual ao modelo real
Padrão de uso	Salas de aula	Igual ao modelo real	Igual ao modelo real	Igual ao modelo real	Igual ao modelo real	Igual ao modelo real
DCI [W/m ²]	5	Igual ao modelo real	Igual ao modelo real	Igual ao modelo real	Igual ao modelo real	Igual ao modelo real
DPI [W/m ²]	10,7	Igual ao modelo real	Igual ao modelo real	Igual ao modelo real	Igual ao modelo real	Igual ao modelo real
Envoltória						
PAFt [%]	86,17	86,17	86,17	86,17	86,17	86,17
AVS	61°	61°	61°	61°	61°	90°
AHS	47°	47°	47°	47°	47°	47°
FS	0,87	0,87	0,87	0,87	0,59	0,87
Ucob [Wm ² k]	2,22	0,657	0,339	0,253	0,339	0,339
α_{cob}	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Upar [Wm ² k]	1,29	1,29	1,29	1,29	1,29	1,29
α_{par}	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4

A partir da relação dos valores de consumo energético entre o modelo real e os de referência (Figura 4) e das horas em conforto da edificação, pode-se obter a etiqueta da edificação pelo equivalente numérico de ventilação (EqNumV) apresentado na Figura 5. A etiqueta da edificação demonstra que apesar da FE1 possuir um consumo de energia bom nos itens equipamentos eletrônicos em geral e iluminação artificial, entretanto, para o item conforto térmico, fica abaixo do estipulado pela normativa vigente gerando uma etiqueta final "B".

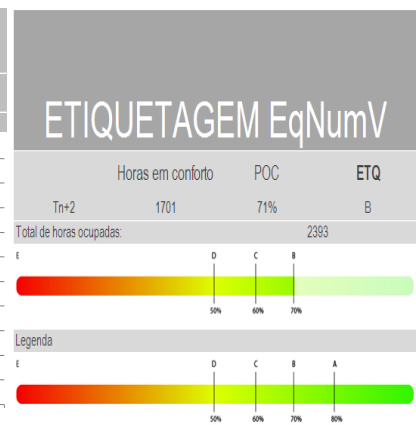
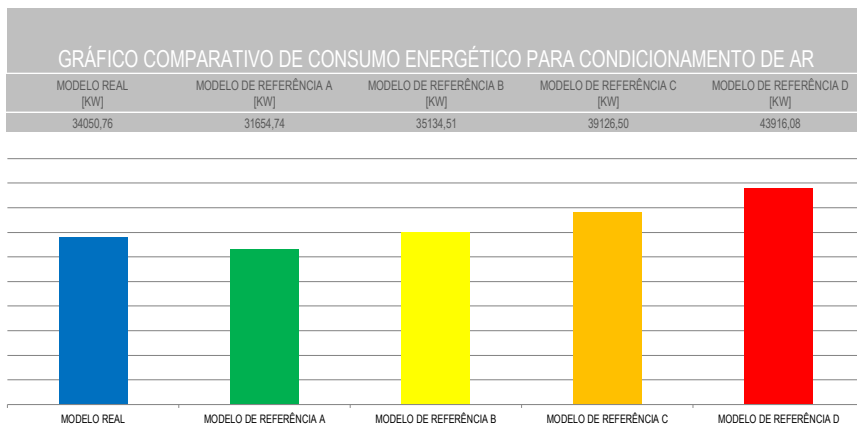


Figura 4 – Comparação de consumo energético entre modelo real e modelos de referência

Figura 5 - Etiqueta a partir do EqNumV

O partido arquitetônico do projeto em questão, que faz parte do repertório clássico da arquitetura brasileira, o avarandado, gerou diversos benefícios para o desempenho termoenergético da edificação ao reduzir a incidência solar nas áreas de alta permanência.

Além do avarandado, a implementação de brises verticais móveis colabora para a diminuição da carga térmica interna por meio do sombreamento das fachadas nordeste e sudoeste como um todo. O fato de serem móveis ainda gera um outro ganho: a possibilidade do usuário enquanto fator mais subjetivo interagir com a edificação e configura-la a fim de potencializar os ganhos de conforto.

Os materiais empregados também são essenciais para o bom desempenho da edificação. Em geral, os materiais escolhidos possuem desempenho térmico adequado, exceto a cobertura. A solução aplicada (apenas uma camada de telha de zinco com forro de gesso internamente para acabamento) se mostrou muito pouco eficiente para a situação, a qual pede uma maior resistência térmica tendo que o desconforto nessa edificação se dá por superaquecimento interno.

Uma alteração simples na cobertura como a troca da telha existente por uma telha termoacústica de mercado (composta de uma camada de aço galvanizado, uma de poliuretano e outra de aço galvanizado) ou a simples inclusão de uma camada de lã de vidro no entreforro existente já aumentaria o POC em quinze pontos percentuais conforme mostram os cenários 1 e 2 da Figura 6. Essa modificação altera o nível atual de POC de 56% para 71%, o que é benéfico para o edifício e para os usuários, uma vez que reduz os extremos ambientais e não interfere visualmente no edifício, uma vez que se pretende-se manter inalterada a fachada do edifício.

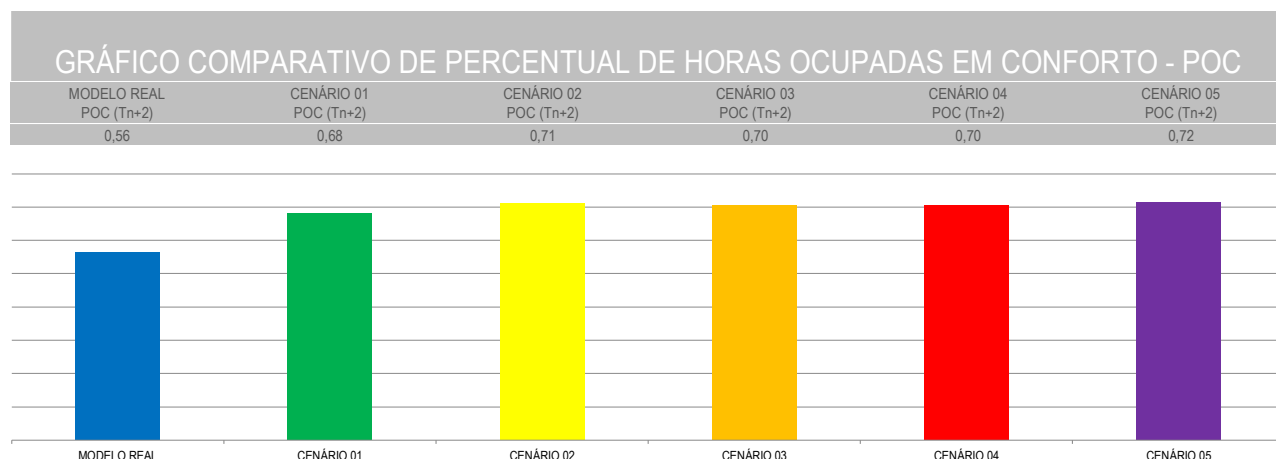


Figura 6 - Gráfico comparativo de POC de cenários

Os valores apresentados de POC foram obtidos a partir dos dados de temperatura externa de bulbo seco e da temperatura operativa, extraídos da simulação dos modelos elaborados no *Design Builder*, juntamente com o conceito de conforto adaptativo de Aluciems. As figuras 7 e 8 apresentam a variação da temperatura operativa da edificação como um todo, no cenário 02, bem como de duas salas representativas individualmente, do mesmo cenário, no mês de Outubro, mês mais quente do ano em Brasília.

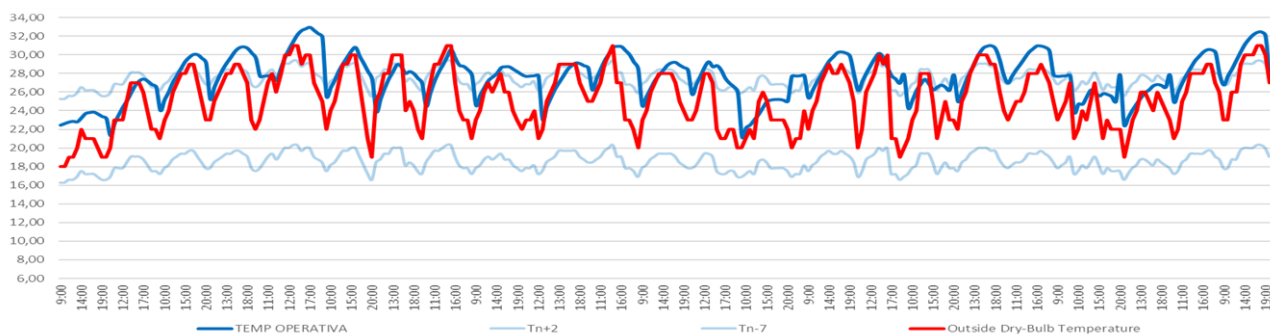


Figura 7 - Variação de temperatura operativa e adaptativa (T_n) em outubro – Edificação completa (cenário 02)

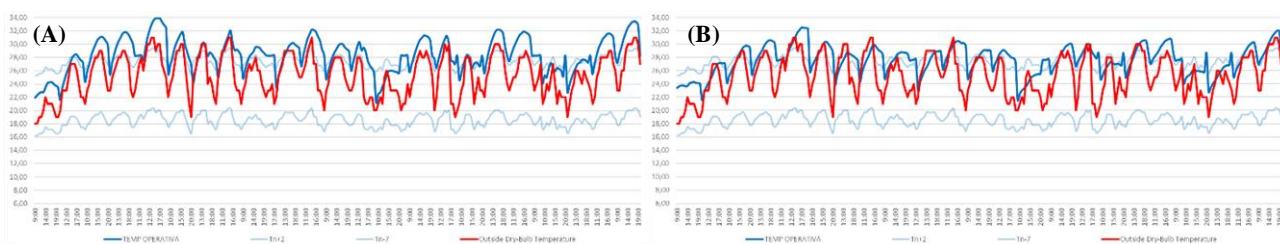


Figura 8 - Variação de temperatura operativa e adaptativa (T_n) em outubro – Salas nordeste (A) e próxima ao pátio (B) (cenário 02)

Percebe-se na Figura 9, que apresenta uma semana do referido mês, que a temperatura operativa fica próxima ao limite de conforto adaptativo, estipulado por Aluciemis, acrescido de dois graus celsius. Nota-se também que a temperatura operativa fica, em média, apenas 2,37°C acima da temperatura externa de bulbo seco.

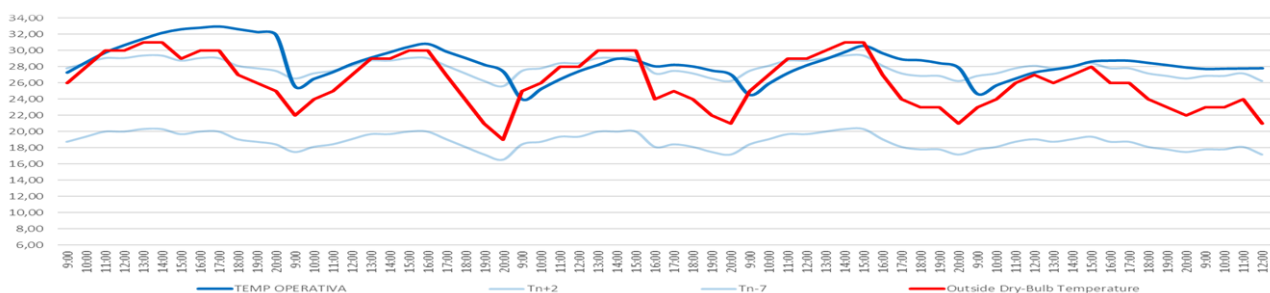


Figura 9 - Variação de temperatura operativa e adaptativa (T_n) em uma semana de outubro – Edificação completa (cenário 02)

5. CONCLUSÕES

Destaca-se que todas as alterações de materiais estudadas não interferem nos aspectos patrimoniais do edifício, uma vez que nenhuma característica estética da sua arquitetura foi alterada. Assim, as simulações indicam que o nível do conforto do edifício pode ser incrementado em 15 pontos percentuais, o que é muito benéfico para o edifício e para os usuários, com redução dos extremos ambientais sem interferências visuais no edifício. Pondera-se que o desempenho atual do edifício apenas ventilado naturalmente é insatisfatório para os critérios de avaliações atuais, mas para poucos horários do dia.

Os cinco cenários analisados se basearam em troca de materiais, inclusão de materiais, manipulação dos brises individualmente e combinados. Tais cenários mostraram o potencial de melhoria de 56% de POC para 71% (comparação entre o cenário atual para o cenário 2 conforme apresenta a Figura 6). Tendo em vista a preocupação com a preservação do patrimônio as soluções apresentadas nos cenários 1, 3, 4 e 5 não são consideradas como possíveis intervenções diante do pequeno ganho avaliado.

Salienta-se que as melhorias comprovadas com o uso da simulação não são bem recebidas pelo método da etiquetagem, que mesmo que aumentando em quinze pontos percentuais de POC ainda assim os resultados não atenderam as exigências normativas atuais para o RTQ-C, mostrando a fragilidade do método do regulamento técnico.

Os cenários simulados que, inicialmente, apresentam menor impacto arquitetônico e melhor desempenho termo-energético são a troca das telhas de zinco por telhas termo-acústicas de mercado ou a inclusão de uma camada de lã de vidro no entreferro mantendo a telha existente.

Os cenários 4 e 5 avaliam o impacto de alterações nas fachadas uma vez que o aumento sistemático da resistência térmica da cobertura não gerava mais horas ocupadas em conforto. Entretanto, tanto o

sombreamento quanto a diminuição da transmitância dos vidros acarretaram em, apenas, um aumento de dois pontos percentuais no POC, o que é irrelevante perto do impacto gerado pela intervenção proposta na cobertura.

Conclui-se, portanto, que o cenário 2 é o mais adequado uma vez que mantém todas as características arquitetônicas aparentes uma vez que apenas acrescenta uma camada de isolante térmico no entreferro existente da edificação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. **NBR 15220-2 - Desempenho térmico de edificações Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações**. 1ª. ed. Rio de Janeiro: ABNT, v. II, 2003.

ABNT. **ISO/CIE 8995-1 Iluminação de ambientes de trabalho Parte 1: Interior**. Primeira edição. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2013. 46 p.

FERNANDES, J.; CINTRA, M.; SILVA, C. Avaliação da eficiência energética da envoltória de edifício em Brasília. **Congresso Brasileiro de Eficiência Energética**, 2009. 6.

HENSEN, J.; LAMBERTS, R. **Building performance simulation for design and operation**. 1ª. ed. New York: Spon Press, 2011.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3ª Edição. ed. Rio de Janeiro: ELETROBRAS/PROCEL, 2013.

LAMBERTS, R.; FOSSATI, M. **Manual para Aplicação do RTQ-C**. 4ª Edição. ed. Rio de Janeiro: ELETROBRAS/PROCEL, 2016.

MAHDAVI, A.; ALEKSANDROWICZ, O. **The impact of building climatology on architectural design: a simulation-assisted historical case study**. 14th Conference of International Building Performance Simulation Association. Hyderabad, India: International Building Performance Simulation Association. Dezembro 2015. p. 2150-2157.

MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, D. E. G. Compras Governamentais. **Portal de Compras do Governo Federal**. Disponível em: <<http://www.comprasgovernamentais.gov.br/paginas/instrucoes-normativas/instrucao-normativa-no-2-de-4-de-junho-de-2014>>. Acesso em: 06 Dezembro 2016.

MME. Balanço Energético Nacional. **Site do Balanço Energético Nacional**, 2016. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/S%c3%adntese%20do%20Relat%c3%b3rio%20Final_2016_Web.pdf>. Acesso em: 06 Dezembro 2016.

PBE-EDIFICA. **RTQ-C**. 4ª. ed. Rio de Janeiro: ELETROBRAS/PROCEL, 2014.

PEREIRA, I.; ASSIS, E. Avaliação de modelos de índices adaptativos para uso no projeto arquitetônico bioclimático. **Ambiente Contruído**, Porto Alegre, Janeiro 2010.

PROCEL EDIFICA; ELETROBRAS; INMETRO; CB3E. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas**. 3ª. ed. [S.l.]: [s.n.], 2014.

REZENDE, M. T.; MONTEIRO, L. C.; HENRIQUES, A. **Desafios da sustentabilidade**. 1ª. ed. Brasília: Terra das artes, 2012.

SCHLEE, A. et al. **Registro Arquitetônico da Universidade de Brasília**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2014. 152 p.

SILVA, C. **Tecnologias Ambientais: Uso da Simulação Computacional na Reabilitação Sustentável**. Brasília: Universidade de Brasília, 2016. 22 p.

SUNGUARD GLASS. Site da Sunguard Glass, 2010. Disponível em: <http://www.sa.pt.sunguardglass.com/cs/groups/sunguardsouthamerica/documents/web_assets/gi_002781.pdf>. Acesso em: 17 Fevereiro 2017.

WESTPHAL, F. Vidros de controle solar. **Site da UFSC**. Disponível em: <http://arq5658.paginas.ufsc.br/files/2012/03/a4_vidros.pdf>. Acesso em: 17 Fevereiro 2017.