ILUMINAÇÃO NATURAL EM SALAS DE AULA: PROPOSTA DE INTERVENÇÃO EM SALAS MODULARES DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE

Gabriel Teles Nascimento (1); Pedro Vitor Sousa Ribeiro (2)
(1) Graduando em Arquitetura e Urbanismo, gabrielteles@academico.ufs.br, Universidade Federal de Sergipe
(2) Mestrado em Arquitetura e Urbanismo, pedrovsribeiro@academico.ufs.br, Universidade Federal de Sergipe

RESUMO
A utilização da iluminação natural em salas de aula é um fator importante no desenvolvimento das atividades ali realizadas. Esta pesquisa propõe a utilização de iluminação natural em substituição a artificial nas salas de aula modulares da Universidade Federal de Sergipe, campus Laranjeiras. Na metodologia foram feitas modelagens das salas e hipóteses possíveis para intervenção, na qual definiu-se aberturas zenitais no telhado e claraboias na laje da edificação. Foram então elaborados seis diferentes modelos seguindo relação do comprimento das claraboias com a área das aberturas zenitais na laje, posteriormente simulados com o software TropLux 8. Foram determinadas métricas para avaliar o desempenho lumínico das salas e modelos, sendo elas iluminância média anual (EMA), uniformidade média anual (UMA), autonomia de luz natural espacial (ALNe) e iluminância útil de luz natural (IULN). Para EMA, diversos modelos obtiveram resultados superiores em relação ao ambiente original. Na UMA, nenhuma simulação atingiu o desempenho mínimo de uniformidade. Para ALNe, todos os modelos atingiram o grau preferível ou nominalmente aceito. Já a IULN, os modelos superaram em até 20% o ambiente original. Importante destacar, que mantida a área e modificado o formato da abertura zenital houve alterações no desempenho luminoso.

Palavras-chave: iluminação natural, abertura zenital, claraboia.

ABSTRACT
The use of natural lighting in classrooms is an important factor in the development of the activities performed there. This research proposes the use of natural lighting to replace artificial lighting in the modular classrooms of the Federal University of Sergipe, Laranjeiras campus. In the methodology, the rooms were modeled and possible hypotheses for intervention, in which Zenithal openings on the roof and skylights on the building's slab were defined. Six different models were then developed following the relationship between the length of the skylights and the area of the zenith openings in the slab, later simulated with TropLux 8 software. Metrics were determined to evaluate the lumen performance of the rooms and models, being they annual average illuminance (EMA), annual average uniformity (UMA), spatial daylight autonomy (ALNe) and useful daylight illuminance (IULN). For EMA, several models obtained superior results compared to the original environment. For UMA, no simulation achieved the minimum uniformity performance. For ALNe, all models reached the preferable or nominally accepted degree. As for IULN, the models outperformed the original environment by up to 20%. It is important to note that, keeping the area and modifying the zenith opening format, there were changes in the luminous performance.

Keywords: natural lighting, zenith opening, skylight.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um país com grande disponibilidade de luz natural, entretanto, em muitos projetos de arquitetura nem sempre prevalece o uso da luz natural no ambiente construído, requerendo complementação de luz artificial. Com o avanço na tecnologia de condicionamento ambiental dos ambientes, bem como de novas técnicas construtivas, as atribuições relativas ao conforto ambiental, que cabiam ao arquiteto, foram sendo gradativamente esquecidas (CORBELLA; YANNAS, 2010). Essas questões se refletem no ambiente escolar, onde alguns estudos, (BERTOLOTTI, 2007; FANTINATO, CHAGURI, GALVÃO, 2008) reafirmam a necessidade de ganhos em eficiência energética e melhoria das condições de salubridade dos estudantes e a qualidade espacial dos edifícios escolares, enfatizando o impacto da iluminação natural no bem-estar dos alunos e sua influência na capacidade de aprendizado (DUDEK, 2007).

Em três grandes áreas, a iluminação interage com os seres humanos e afeta seu desempenho: visibilidade, saúde e bem-estar (IIDA, 1990). O conforto visual é importante para saúde e a produtividade das pessoas, principalmente em edifícios educativos, por seu uso diurno e pelo tipo de função realizada. A maioria das atividades elaboradas em sala de aula demanda percepção visual adequada, o que depende, necessariamente, de luz em quantidade suficiente e com qualidade (ÁLVARES, 1995).

As salas de aula são os locais mais utilizados pelos alunos na universidade, por isso, eles devem possuir condições de conforto visuais adequadas, que podem ser obtidas com a iluminação natural (MANSILHA, 2013). Seu uso nesses ambientes gera vantagens que auxiliam na aprendizagem e evitam o uso excessivo da luz artificial, o que vem como um fator de sustentabilidade e economia energética para o edifício. Além de criar uma ambientação agradável, proporciona benefícios psicofisiológicos e o contato com o meio exterior (DIAS, 2011). A luz natural possui alta qualidade por ser uma mistura de luz do sol e luz do céu, corresponder às exigências visuais do ser humano e apresentar maior eficácia luminosa que a luz artificial.

O curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Sergipe está localizado na cidade histórica de Laranjeiras. O Campus de Laranjeiras foi proposto a ocupar trapiches degradados no centro histórico da cidade, e está inserido em um conjunto urbano que traz resquícios do período colonial e a presença de jesuítas e suas obras (SILVA, NOGUEIRA, 2009), buscou-se preservar o patrimônio como também utilizar os edifícios para implantação do campus. Fruto dos investimentos do programa Monumenta, do governo federal, o projeto preliminar de restauro e readequação do espaço foi apresentado em 2003 e as obras finalizadas em 2009 (BAETA, NERY, 2012).

Este estudo foi fruto das discussões fomentadas na disciplina de Conforto Ambiental do curso de Graduação em Arquitetura e Urbanismo no semestre letivo 2019.2. Tendo em vista as limitações de ampliação do edifício histórico, que o campus está inserido, foram implantadas três novas salas de aulas modulares com estrutura metálica semelhante à de contêineres, objeto de estudo da pesquisa, em outro edifício histórico adjacente ao campus que foi reformado e transformado em mini shopping e também utilizado pela Universidade em 2014.

Inserida em ambiente sobreposto por sombreamento, a edificação estudada teve viés de ser um projeto sustentável visando um melhor desempenho térmico e acústico, porém não houve a utilização da luz natural optando por utilizar a luz artificial para atingir índices de qualidade.

2. OBJETIVO

O artigo tem como objetivo verificar a disponibilidade de luz natural em salas de aula modulares do campus de Laranjeiras – Universidade Federal de Sergipe na situação atual e na situação de intervenção com aberturas zenitais.

3. MÉTODO

O procedimento metodológico foi composto das seguintes etapas: características da edificação, elaboração dos modelos e simulações computacionais, análise dos resultados e discussão.

3.1. Características da edificação

O ambiente estudado está localizado próximo ao Campus da UFS e inserido no Centro histórico da cidade de Laranjeiras, na rua Pereira Lôbo com Barros Siqueira de Menezes, como mostra a figura 1. O levantamento do ambiente partiu da análise de plantas baixas, levantamento de gabarito de alturas do ambiente e das edificações adjacentes, além do levantamento da envoltória no qual o ambiente está inserido.

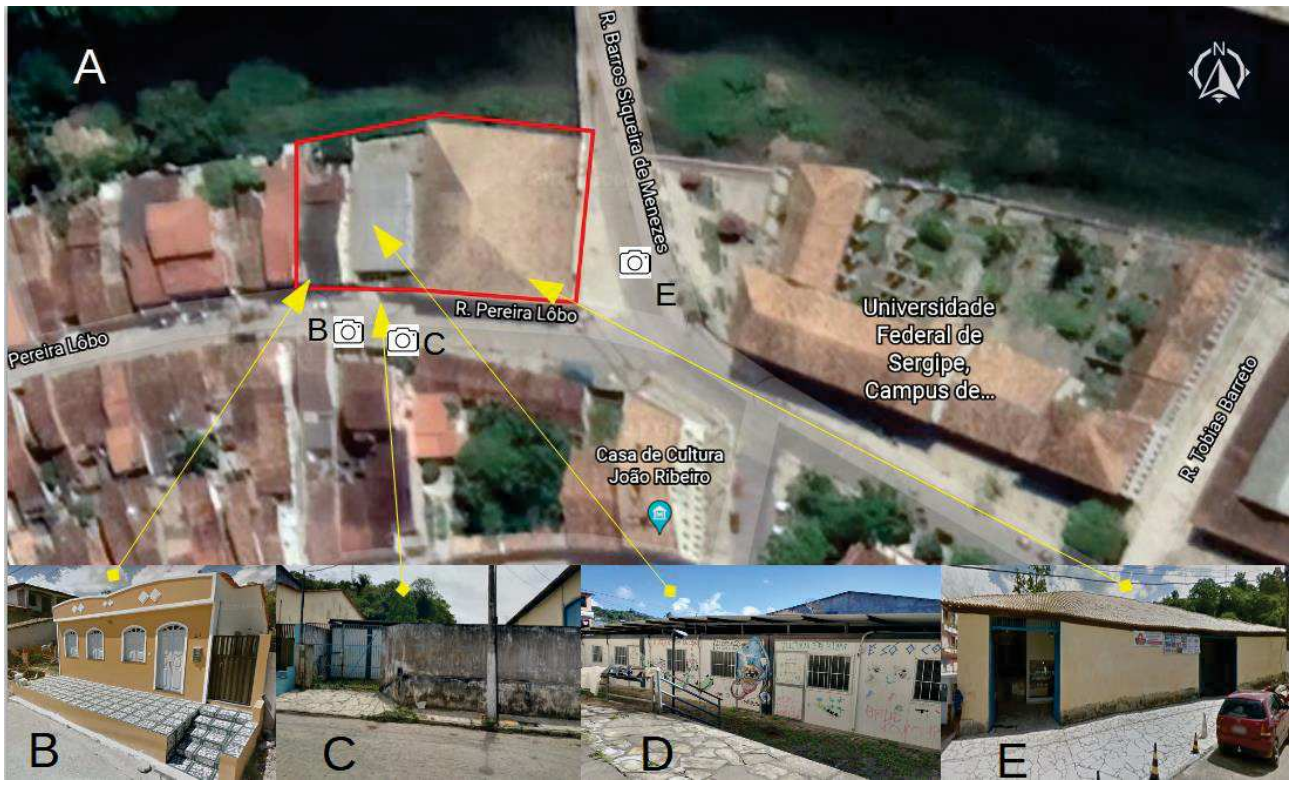

Figura 1 – A) Localização do local de estudo, em vermelho. B) Casa Residencial que sombreia as salas de estudo, a oeste. C) Muro que sombreia as salas de estudo, ao sul. D) As salas estudadas no artigo, foto tirada no interior do Mini Shopping. E) Mini Shopping que sombreia as salas de estudo, ao leste.

A edificação, apresentada em planta e corte na figura 2, possui três ambientes: dois dos ambientes (Sala 301 e 303) são utilizados como sala de aula, enquanto o outro como sala de estudos com mesas (Sala 302). As refletâncias internas identificadas no local são: teto de 0,85; paredes internas de 0,85 e piso de 0,70. As refletâncias externas são: laje de 0,70; paredes externas de 0,85; paredes adjacentes de 0,40 e piso externo de 0,50.

3.2. Elaboração dos modelos

A proposta de intervenção adotada para o ambiente utilizou-se aberturas zenitais no telhado da edificação e claraboias de 1 m de área na laje da edificação, conforme a figura 3. Essa solução foi pensada em função do entorno obstruído pelo muro, ao sul da edificação, edificação E, ao leste e edificação B, ao oeste, conforme mostrado na figura 1, que não permitia utilização de aberturas laterais por causa do sombreamento. As aberturas zenitais no telhado foram calculadas a partir do estudo de carta solar do ângulo frontal para proteção solar a partir da latitude de -10,80°, localização da cidade de Laranjeiras, no software Sol-ar, desenvolvido pelo grupo de pesquisa Labeee. Sua definição buscou fazer com que a luz que atravesse a claraboia do teto da sala seja unicamente luz refletida no espaço entre o forro e o teto, evitando os fenômenos de ofuscamento e melhorando a distribuição no ambiente, conforme a figura 3. A posição relativa entre as claraboias e as aberturas zenitais foram dimensionadas de forma que a luz solar direta não penetre o ambiente em nenhum período do ano. As aberturas zenitais consistem de telhas transparentes para proteção contra chuvas e permitindo a passagem da luz natural à laje e três claraboias que levam a luz natural que incide na laje ao ambiente. As partes internas do telhado foram pintadas de tinta branca, com refletância de 0,85. Os modelos foram então, definidos por meio da relação do comprimento das claraboias no teto com a largura e comprimento das aberturas zenitais no telhado.

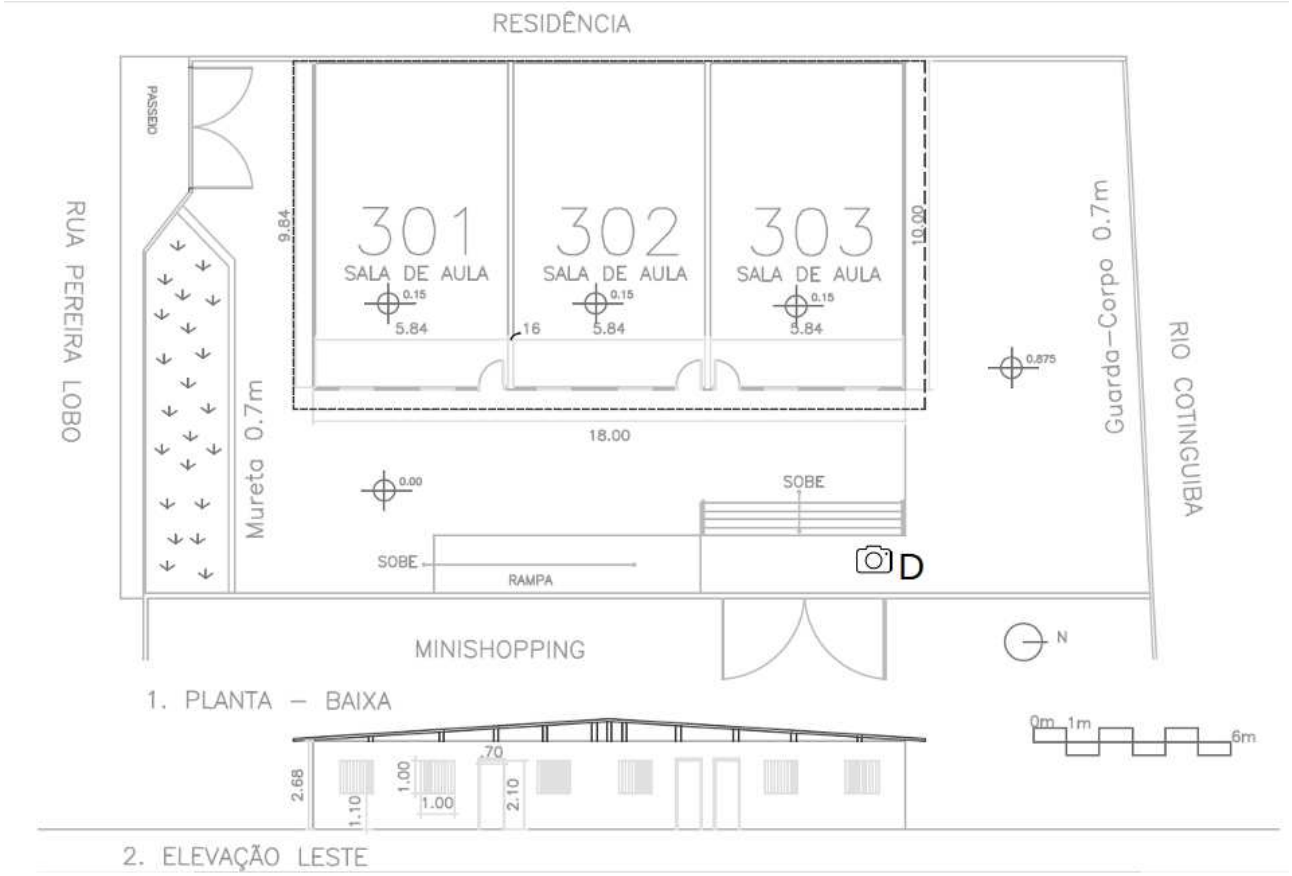

Figura 2 – Planta baixa e Elevação Leste

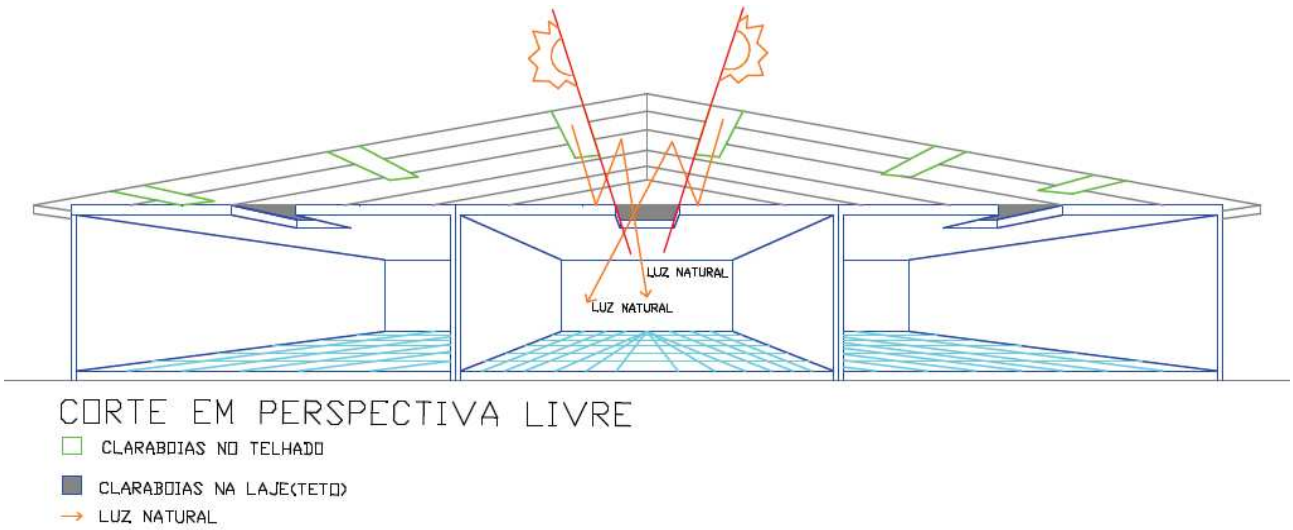

Figura 3 – Corte em perspectiva livre, representação da entrada de luz pelas claraboias do telhado que se refletem na laje e telhas para depois entrar no ambiente

Foram então definidos modelos do comprimento da abertura zenital no telhado a partir das seguintes expressões vistas na tabela 1, como também a largura da abertura zenital no telhado, assim totalizando seis modelos. A variação nos tamanhos dos modelos visa verificar qual a razão entre área da claraboia e área da abertura zenital de teto que melhor atende aos requisitos de quantidade e qualidade de distribuição da luz natural no ambiente. A área da claraboia foi mantida constante e foram dispostos 3 conjuntos em cada sala, no sentido de seu maior comprimento.

Tabela 1- Definição das dimensões das claraboias do telhado nos modelos simulados

Comprimento A (m)	Largura B (m)	Área (m²)	Modelos (m)	Descrição
0,0	0,0	0,0	Atual	Atual
2,0	1,0	2,0	A=2,0; B=1,0.	Modelo 1 (M1)
2,0	0,5	1,0	A=2,0; B=0,5.	Modelo 2 (M2)
2,0	0,3	0,6	A=2,0; B=0,3.	Modelo 3 (M3)
1,0	1,0	1,0	A=1,0; B=1,0.	Modelo 4 (M4)
1,0	0,5	0,5	A=1,0; B=0,5.	Modelo 5 (M5)
1,0	0,3	0,3	A=1,0; B=0,3.	Modelo 6 (M6)

3.3. Simulações computacionais

A simulação computacional relativa à iluminação natural foi realizada utilizando o Troplux 8.0. Para seu funcionamento usa os conceitos do raio traçado associado aos coeficientes de luz e o método Monte Carlo. É desenvolvido em linguagem MatLab®, utilizando-se da interface gráfica do próprio programa no ambiente de trabalho do usuário, permitindo modelagem, simulação e visualização dos resultados no mesmo módulo. (CABÚS, 2005)

Para a simulação computacional, as características da iluminação natural foram reproduzidas a partir de referência de características da iluminação natural de cidade vizinha, Aracaju, já inserida no software Troplux. A escolha da malha foi segundo a norma ABNT NBR 8995-1(ABNT, 2013), com 60 pontos distribuídos nos eixos, x e y, a uma altura de 0,75 m do piso. Foram analisados os horários das 8 h às 17 h, conforme o período de utilização das salas para todos os dias e meses do ano.

3.4. Análise dos Resultados

Para a análise dos resultados foram utilizadas quatro métricas de avaliação de desempenho da luz natural. Inicialmente os dados de iluminância foram utilizados para o cálculo da Iluminância Média Anual (EMA), que consiste na média da iluminância no plano de trabalho de todos os dias e horas do ano, e da Uniformidade Média Anual (UMA), que é a média da uniformidade no plano de trabalho em todos os dias e horas do ano. Por fim foram utilizadas as métricas de autonomia de luz natural espacial (ALNe) (IES, 2012) e a iluminância útil de luz natural (IULN), (NABIL e MARDALJEVIC, 2005). A ALNe indica o percentual da área de análise que atinge a um mínimo de iluminância por luz natural em uma fração específica de horas de uso do ambiente, enquanto que a IULN identifica a frequência de instantes em que a iluminância atinge faixas específicas, sendo os valores limitantes de 100lx 500lx e 3000lx. Essas métricas possuem a particularidade de permitir estudar intervalos específicos de iluminância e o quanto eles são atingidos no ambiente.

4. RESULTADOS

A seguir serão apresentados os resultados obtidos divididos por métrica de avaliação da luz natural utilizada.

4. 1. Iluminância Média Anual (EMA)

A análise da EMA evidencia, conforme figura 4, um ganho em todos os modelos propostos para todas as salas estudadas em comparação com o ambiente atual que obteve resultados próximos de 500 lux. Vale destacar os resultados obtidos dos modelos M6 e M1, expõe os melhores resultados, respectivamente, para sala 301, e sala 302 e 303.

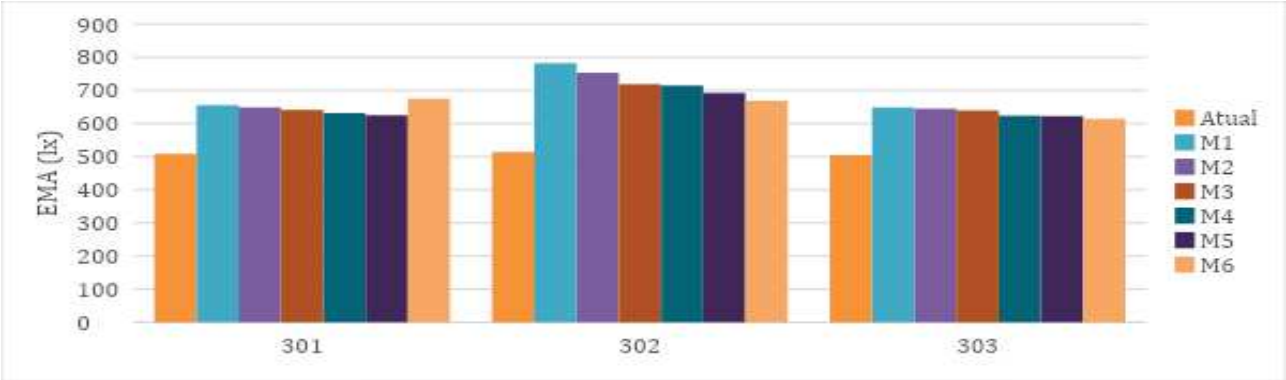

Figura 4 – Iluminância Média Anual (EMA) para os modelos estudados

O modelo com maior área de abertura (M1) obteve os maiores valores de EMA, principalmente para a sala 302, em que a visão de céu desobstruído é maior. Vale destacar que o comportamento dos modelos M2 e M4 foi diferente, mesmo mantendo a mesma área de abertura. O modelo M2 obteve valores maiores de EMA que M4, evidenciando que no primeiro a janela mais alongada propiciou maior reflexão nas superfícies internas do vão entre a laje e o teto, direcionando melhor a luz natural para a claraboia.

4.2. Uniformidade Média Anual (UMA)

Na análise da UMA, nenhum resultado atingiu o mínimo de 70% exigido pela norma ABNT NBR 8995-1 (ABNT, 2013), porém todos os modelos propostos obtiveram melhor desempenho em comparação ao ambiente atual, que obteve resultados de 10% a 20% menos que os modelos. Como na EMA, os valores obtidos do modelo M1, também expõe os melhores resultados sala 302 e 303, e o modelo M5 expõe melhor resultado para a sala 301.

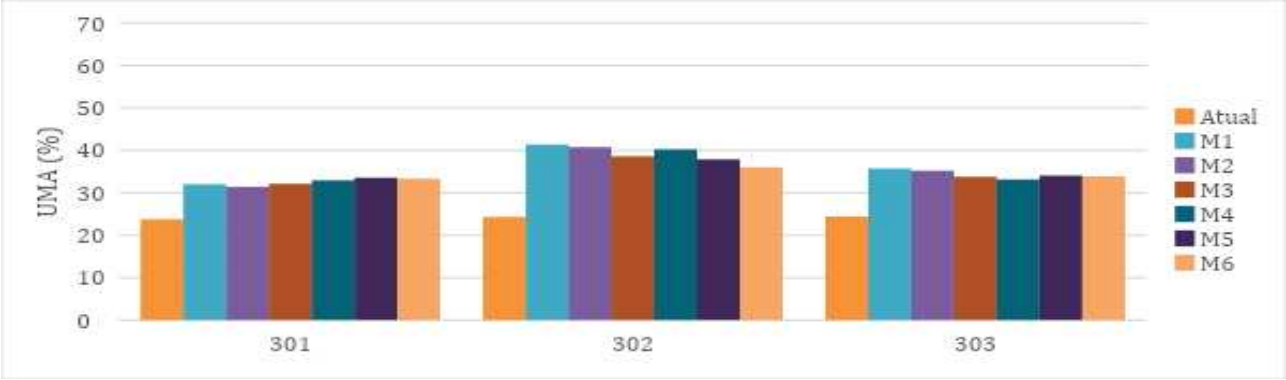

Figura 5 – Uniformidade Média Anual (UMA) dos modelos estudados

Vale destacar que para as salas 302 e 303 o comportamento da UMA acompanhou o da EMA, aumentando de forma simultânea. Os modelos que obtiveram os maiores valores de UMA foram aqueles com maior área de abertura (M1) evidenciando que o uso da luz refletida difusa pode permitir ganhos em iluminância e uniformidade de forma simultânea. Esse resultado contrasta com o comportamento usual de modelos com abertura lateral sem obstrução, em que o ganho de iluminância é normalmente associado à redução da uniformidade. Isso mostra o potencial do uso da luz refletida em aberturas zenitais.

4.3. Autonomia de Luz Natural Espacial (ALNe)

A ALNe teve três modelos propostos que alcançaram a faixa ‘preferível’, mínimo de 50%, e os outros modelos atingiram a faixa ‘nominalmente aceito’, mínimo de 55%. Quanto ao ambiente atual, a ALNe obteve resultados abaixo de 40%. Bem como nos resultados das métricas anteriores, a autonomia de luz natural espacial para sala 301 teve como melhor desempenho o modelo M6 assim como, para as salas 302 e 303, o melhor desempenho foi o modelo M1, conforme figura 6.

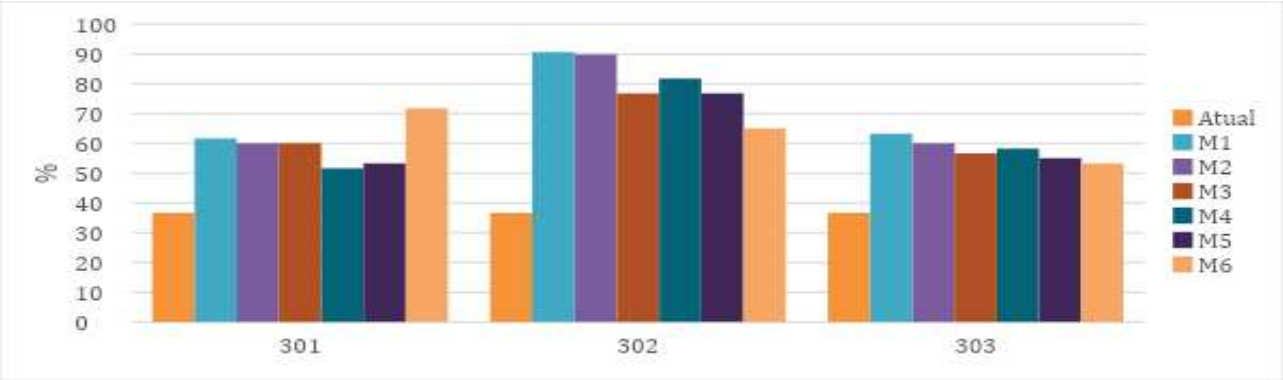

Figura 6 – Autonomia de Luz Natural Espacial (ALNe) para os modelos estudados

O desempenho dos modelos M1 e M2 apresentam um comportamento que contrasta com a variação de área de abertura zenital. Em M2 a área é a metade da proposta em M1, entretanto a diferença nos valores de ALNe não ultrapassam os 5%. Quando comparados M2 e M4, que têm a mesma área, M2 apresenta-se sempre com ALNe superior. Esses dois comportamentos mostram que o aumento de área não significa que haverá um ganho significativo em iluminação natural, mas que a forma da abertura também é um parâmetro importante.

4.4. Iluminância Util de Luz Natural (IULN)

Ao analisar a IULN, avaliamos primeiramente a faixa de luz útil, denominadas IULN 2 e IULN 3 que corresponde, respectivamente, a 100 até 300 lux e 300 a 3000 lux, no qual obtivemos o melhor resultado da sala 301, o modelo M6, e para as demais salas o modelo M1, alcançou melhor resultado, conforme figura 7.

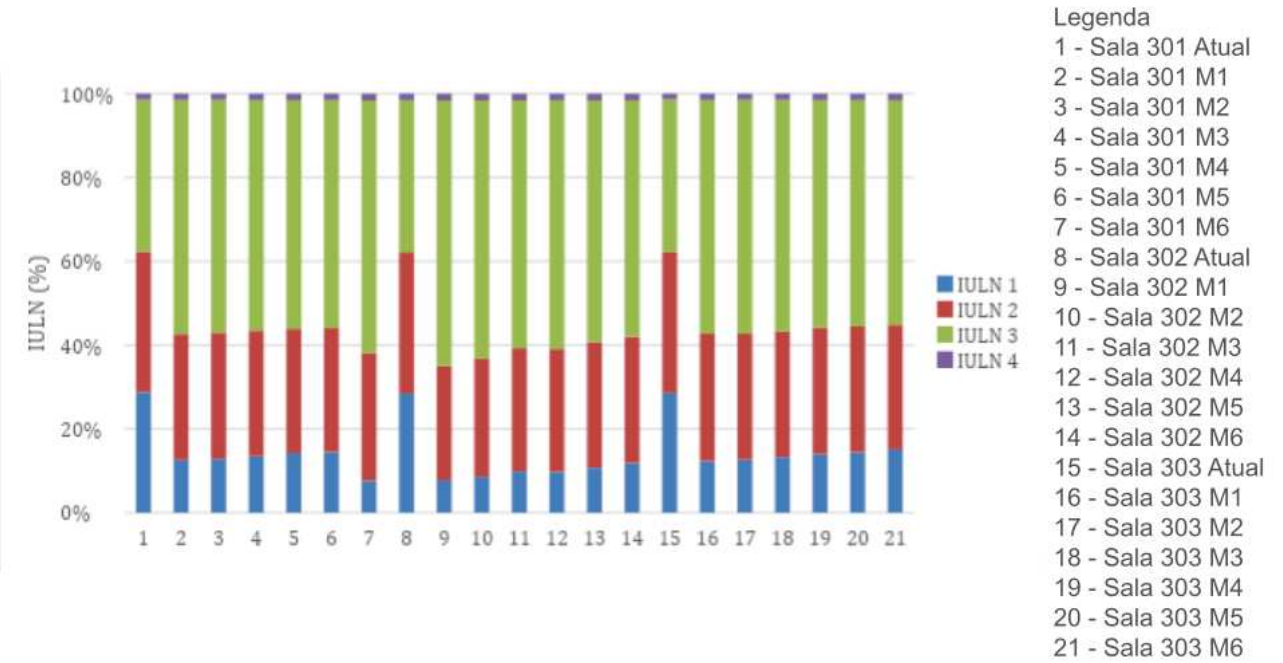

Figura 7 – Faixas da Iluminância Útil de Luz Natural (IULN) para os modelos estudados

Ao aprofundar a análise da iluminância útil de luz natural, em vistas suas faixas, mensura-se que os valores entre a faixa IULN 1, faixa de luz insuficiente que consiste em valores menores que 100 lux, faixa de luz útil, IULN 2, e IULN 3, e a faixa IULN 4, faixa de ofuscamento que consiste em valores maiores que 3000 lx, conforme figura 7. Para a sala 301, observamos que os valores para a faixa de luz insuficiente, comparando os modelos propostos com o ambiente, houve uma perda significativa de 14 a 20%. Quanto à faixa de luz útil, principalmente na faixa IULN 3, houve um ganho de 18 a 24%. Na IULN 2 os resultados foram uma perda de até 2% e para IULN 4, havendo um aumento insignificante de até 0,2%.

Para a sala 302, a faixa de luz insuficiente também evidenciou os mesmos resultados da sala 301, tendo perda de 14 a 20%. No entanto, a sala 302 obteve valores diferenciados da IULN 2 que teve perda de até 3%, assim como, a IULN 3 resultou no aumento de 20% a 27%. Enquanto a IULN 4, tem um aumento insignificante abaixo de até 0,1%. Diferente das outras salas, a sala 303 teve um declínio de 12 a 14% na faixa IULN 1. Na faixa IULN 2, houve uma queda de até 3% e na IULN 3 um ganho de 17 a 19%. Como nas análises das salas anteriores, o IULN 4 teve um aumento insignificante de até 0,2%.

5. CONCLUSÕES

Este estudo teve como objetivo fazer propostas de intervenção para a utilização de iluminação natural em substituição a artificial, o quanto possível, em um edifício de salas modulares na cidade de Laranjeiras – SE. Há a necessidade de evidenciar que houve um ganho considerável em todas as métricas com o acréscimo das aberturas zenitais em todos os modelos.

É possível constatar a viabilidade de duas propostas para sala 301, o modelo M6, e para as salas 302 e 303, o modelo M1, ambos obtiveram resultados significativos em contrapartida ao ambiente atual. No entanto, tanto os modelos quanto o ambiente, referente a uniformidade média anual, não obtiveram o mínimo de 70% exigido pela norma ABNT NBR 8995-1(ABNT, 2013), no entanto os modelos propostos obtiveram melhores resultados, de 10% a 20%, em comparação ao modelo atual. Para salientar, o modelo M2 e M4 possuem a mesma área de abertura, porém o modelo M2 demonstra melhores resultados do que o modelo M4, assim revela-se que o comprimento da abertura tem mais influência nos resultados em comparação a largura da abertura. A justificativa para tal comportamento é que a trajetória solar aparente está alinhada com o comprimento da abertura zenital.

Vale ressaltar que a forma da abertura zenital apresenta um papel importante nos ganhos em iluminância e sua distribuição. Aberturas alongadas tendem a ter melhores ganhos que aquelas menos alongadas se mantidas as mesmas áreas.

Vale destacar que a presença de radiação na laje da sala faz com que a carga térmica recebida por ela aumente, podendo resultar em desconforto térmico no ambiente. Uma parte dessa carga térmica é dissipada pelo fato do vão entre laje e teto ser aberto, permitindo a circulação do vento, em vista disso as próximas etapas do estudo buscam verificar a influência da introdução das aberturas zenitais no aumento de carga térmica no ambiente localizado na área superior da laje. Essa carga térmica pode ser minimizada com instalação de dutos de luz que direcionam os raios luminosos apenas para as aberturas. A solução de utilização de claraboias e aberturas zenitais, aproveitando o espaço entre o telhado e a laje de forro permite o aproveitamento da luz natural, com ganhos em iluminância e uniformidade, sem que sejam necessários dispositivos de maior valor agregado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBRISO/CIE 8995-1/2013**: Iluminação de ambientes de trabalho. Parte 1 - interior.

ÁLVARES, A. C. A**. Procedimentos para análise e avaliação da iluminação em ambientes escolares**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1995, Rio de Janeiro. Anais… Rio de Janeiro, p. 587-592, 1995.

BAETA, Rodrigo et al. Entre reflexões e práticas: a experiência do programa monumenta em laranjeiras / se. In: II ENANPARQ – ENCONTRO DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO, 2., 2012, Natal. **Anais** [...]. Natal: UFRN, 2012. p. 1-35.

BERTOLOTTI, Dimas. **Iluminação natural em projetos de escolas: uma proposta de metodologia para melhorar a qualidade da iluminação e conservar energia.** 2007. 144f, Dissertação (mestrado em Arquitetura e Urbanismo: Tecnologia da Arquitetura) – Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

CABÚS, R. C. TropLux: um sotaque tropical na simulação da luz natural em edificações. In: ENCONTRO LATINO-AMERICANO, 4., ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8., 2005, Maceió, **Anais** [...]. Porto Alegre: ANTAC, p. 240 - 249, 2005.

CORBELLA, O.; YANNAS, S**. Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos**: conforto ambiental. 1. ed. Rio de Janeiro: Editora Revan, 2010.

DIAS, A. F. A. **Análise do uso da luz natural em salas de aula: estudo de caso em Aracajú SE**. 2011. 140f, Dissertação (mestrado em Arquitetura e Urbanismo: Dinâmicas do Espaço Habitado) - Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Maceió, 2011.

DUDEK, M. **Schoolsandkindergartens: a design manual**. Basel (Boston): Birkhäuser, 2007.

FANTINATO, D. G.;CHAGURI, G. F. F.;GALVÃO, G. M. M. **Análise do aproveitamento da iluminação natural em salas de aula da UNICAMP.** 2008. In: REVISTA CIÊNCIAS DO AMBIENTE ONLINE, v. 4, n.2, ago. 2008.

IES - Illuminating Engineering Society Of North America**. LM-83-12: IES Spatial Dayligth Autonomy(sDA) and Annual SunligthExposure(ASE)**. New York, 2012.

IIDA, I. **Ergonomia: projeto e produção**. São Paulo: Edgar Blücher, 1990.

MANSILHA, R. B. **Análise da disponibilidade de iluminação natural e artificial em salas de aula de instituição de ensino superior**. 2013. 186f, Dissertação (mestrado em Engenharia Civil: Construção Civil e Preservação Ambiental) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2013.

NABIL, A.; MARDALJEVIC, J. **Useful Daylight Illuminance: a new paradigm for assessing daylight in buildings.** Lighting Research & Technology, Londres, v. 37, n. 1, p. 41-57, mar. 2005.

SILVA, E. D. NOGUEIRA, A. D**. Lançando um olhar sobre o patrimônio arquitetônico de Laranjeiras**. Laranjeiras, 2009.