SIMULAÇÕES TÉRMICAS E LUMÍNICAS APLICADAS EM PROJETO DE EDIFÍCIOS COMERCIAL[1]

GARCIA, D. L. R., Universidade Federal de Santa Catarina, email: dayan@labcon.ufsc.br;
SILVEIRA, V. C., Universidade Federal de Santa Catarina, email: vinidecastroo@gmail.com;
PEREIRA, F. O. R., Universidade Federal de Santa Catarina, email: ruttkay.pereira@ufsc.br

ABSTRACT

Nowadays buildings' industry, designers, engineers and architects still enhancing the methods and metrics to measure the building performance. In this context, this paper has objective to spread currently computational tools that evaluate the thermal and luminous environment during design stages in commercial buildings projects. Daylight Autonomy and Useful Daylight Illuminance were metrics used by DIVA 4.0 for Rhino to measure daylighting differences between models that vary glazing materials and window-to-wall ratio. Results show that large fenestration doesn't work well without shading devices or complex glazing systems. The building's thermal performance, utilizing different materials, was simulated using EnergyPlus software. It was possible to observe in the results that, the material with greater capacity of thermal inertia (masonry of seal), presented more satisfactory results maintaining greater constancy on internal temperature. The presented tools and metrics are being utilized in certification's process, like in LEED v4. At the same time, bests design's options and warnings can be found through easier functions offered by presented means.

***Keywords**: Thermal and Luminous Simulations. Materials' Performance. Energy Efficiency.*

1 INTRODUÇÃO

Para se destacar no mercado, projetistas e construtoras de edifícios comerciais buscam certificações que atestem alto desempenho energético e garantam conforto ambiental aos ocupantes, como por exemplo, a LEED v4 e o RTQ-C (U.S. GREEN BUILDING COUNCIL, 2018; INMETRO, 2013). As simulações computacionais da insolação no ambiente construído compreendem aspectos térmicos e lumínicas e são cada vez mais empregadas nos projetos de engenharia e arquitetura como técnicas válidas nas certificações de edificações (REINHART, 2017). As dificuldades de integrar equipes e aspectos multidisciplinares no tempo destinado ao projeto embasa a motivação para se trabalhar com ferramentas e métricas de fácil compreensão e obtenção (REINHART, MARDALJEVIC e ROGERS, 2006; MARDALJEVIC, ANDERSEN e CHRISTOFFERSEN, 2012). Diante desta perspectiva o objetivo deste trabalho é realizar análises térmicas e lumínicas utilizando ferramentas computacionais e métricas atualmente adotadas como referências internacionais nas simulações de projetos de edifícios de escritórios. Para isso, se utilizaram os programas *EnergyPlus* 8.8.0 (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2017) e DIVA 4.0 *for Rhino* (SOLEMMA, 2018) para considerar diferentes alternativas de abertura e vedação em um modelo de pavimento-tipo e submetê-lo às características ambientais de um arquivo

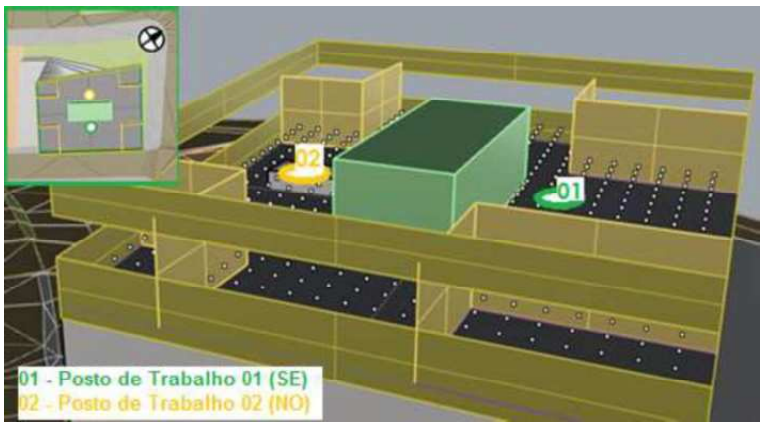
[1] GARCIA, D. L. R. SILVEIRA, V. C. PEREIRA, F. O. R. Desempenho térmico e lumínico aplicados em projeto integrado de edifícios comerciais. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2018.

climático anual da cidade de Florianópolis-SC, para por fim evidenciar diferenças na admissão e na distribuição de iluminação natural e calor.

2 METODOLOGIA

O modelo de pavimento proposto se baseou em espaços de escritórios individuais e coletivos com *core* central, como visualizado na Figura 1. A geometria foi elaborada com base nas dimensões de um terreno real (Figura 2) em Florianópolis (27°35'02.1"S 48°32'42.5"O) e nos índices urbanísticos permitidos pela legislação local: Taxa de Ocupação máxima da base (100%), Taxa de Ocupação máxima da torre (50%), Índice de Aproveitamento (5,36) e Taxa de Impermeabilização (70%), (FLORIANÓPOLIS, 2014). Os modelos térmicos e lumínicos construídos em cada software seguiram configurações específicas descritas a seguir.

Figura1–Pavimento tipo adotado para a simulação.



Fonte: Os Autores

Figura2–Imagem de satélite do terreno abordado.



Fonte: Dados do mapa ©2018Google (2018)

2.1 Iluminação Natural

Com o modelo arquitetônico criado em "*layers*" no programa de modelagem *Rhinoceros*, se atribui um tipo de material para cada um. Cada material possui seu valor de transmissão (translúcidos) ou reflexão (opacos) como características principais utilizadas nas simulações de iluminação natural no plug-in DIVA 4.0 *for* Rhino. Foram utilizados os materiais disponíveis

na biblioteca do software, na qual é baseada em valores referência na literatura, como em Reinhart, Jakubiec e Ibarra (2013): Teto(70%), Parede-Interna(50%), Piso(20%). No modelo lumínico, as características variadas para análise foram os percentuais de abertura nas fachadas e tipo de vidro, como mostrado na tabela 01.

Tabela 1–Geometria e Vidros utilizados nas simulações lumínicas.

Modelos	Azimute do modelo	Forma do Edifício	% Área de Abertura na Fachada (PAF)		Vidro e %Transmissão**
Modelo 1	305º	24mx20m	NORDESTE	80%	Clear-88%
			SUDESTE	80%	Clear-88%
			SUDOESTE	80%	Clear-88%
			NOROESTE	80%	Clear-88%
Modelo 2	305º	24mx20m	NORDESTE	40%	Clear-88%
			SUDESTE	40%	Clear-88%
			SUDOESTE	40%	Clear-88%
			NOROESTE	40%	Clear 88%
Modelo 3	305º	24mx20m	NORDESTE	80%	LowE-65%
			SUDESTE	80%	LowE-65%
			SUDOESTE	80%	LowE-65%
			NOROESTE	80%	LowE-65%
Modelo 4	305º	24mx20m	NORDESTE	40%	LowE-65%
			SUDESTE	40%	LowE-65%
			SUDOESTE	40%	LowE-65%
			NOROESTE	40%	LowE-65%

*Vidro Clear-88% é o vidro claro comum com 88% de transmissão solar e visível. Vidro LowE-65% é o vidro de baixa transmissão energética com 65% de transmissão solar e visível.

Fonte: Os Autores

O pavimento simulado desconsiderou obstruções causadas pelo entorno. Os modelos se limitaram a um mesmo PAF para cada fachada, porém pode se obter melhores resultados mediante diferentes alternativas para diferentes orientações. A ocupação adotada foi das 8h às 18h, em dias de semana. Os postos de trabalho 01 e 02, situados em posições distintas e profundidades semelhantes (5m da fachada), foram escolhidos para análise pontual de iluminâncias. Não se reproduziu a mobília interna fielmente para simplificar a modelagem do ambiente interno e diminuir reflexões e sombras internas. O *grid* de análise dos níveis de iluminância foi situado a 0,80m acima do piso e possuiu espaçamento de 1,0m entre nós.

As análises compreenderam a comparação da autonomia de luz natural, "*spatial Daylight Autnonomy*" ($sDA_{300lx[50\%]}$)(IESNA, 2012) e da iluminância útil, "*Useful Daylight Illuminance*" ($UDI_{100lx\text{-}2000x[50\%]}$)(NABIL E MARDALJEVIC, 2005) entre os modelos de diferentes tipos de vidro e de PAF.

2.2 Desempenho Térmico

As condições de uso e ocupação, cargas internas de equipamentos e iluminação seguem os padrões propostos pelo instituto nacional de metrologia normalização e qualidade industrial (RTQ-R), a taxa de ocupação é de 0,7 pessoas/m² e para ventilação foi considerado o setpoint de aberturas de janela para 24°C quando a temperatura interna estiver maior que a externa.

Devido à necessiade de atingir melhor desempenho térmico do modelo, e proporcionar condições térmicas de conforto, tanto no inverno quanto no verão, optou-se pela simulação com três tipos de materiais de vedação: alvenaria convencional de vedação (U=1,8W/m.k, R=0,17m².k/W, ρ=2252kg/m³), drywall com isolamento (U=0,35W/m.k, R=1,19m².k/W, ρ=750kg/m³) e wood-frame com isolamento (U=0,23W/m.k, R=1,19m².k/W, ρ=850kg/m³). Foram realizadas simulações através do software EnergyPlus 8.8.0 para o clima de Florianópolis no periodo de 09 até15 de julho (semana mais fria do arquivo climático) e 04 até 12 de dezembro (semana mais quente do arquivo climático).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Avaliação Lumínica

A Tabela 2 apresenta os valores de $sDA_{[300lx]50\%}$ e $UDI_{100lx\text{-}2000lx[50\%]}$ obtidos para cada modelo. Foi averiguado que o excesso de luz natural resultou em menor UDI (PAF80%+Vidro-Clear88%) mesmo atingindo maior valor de sDA.

Tabela 2–Resultados de autonomia da luz natural e iluminância útil.

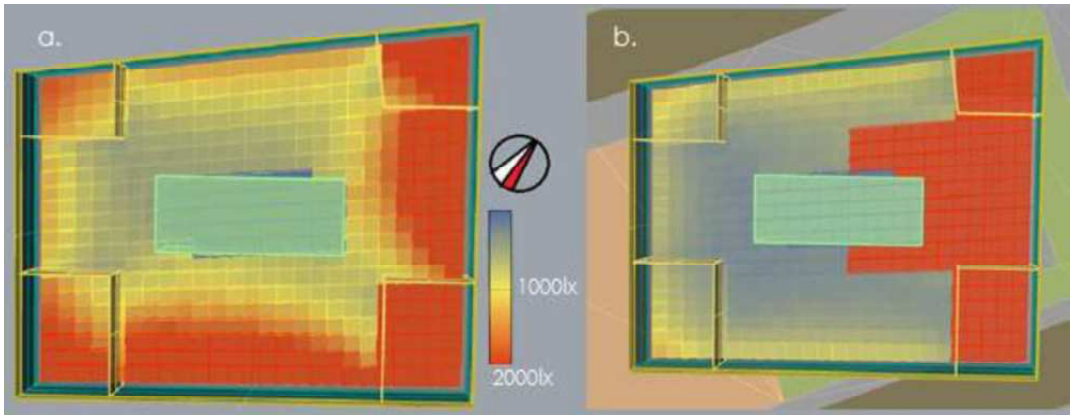
Modelos	**PAF**	**Vidro**	**$sDA_{[300lx]50\%}$**	**$UDI_{100lx\text{-}2000lx[50\%]}$**
Modelo 1	80%	Clear-88%	90%	48%
Modelo 2	40%	Clear-88%	87%	56%
Modelo 3	80%	LowE-65%	90%	50%
Modelo 4	40%	LowE-65%	83%	71%

Fonte: Os Autores

Foram criados 32 mapas de níveis de iluminâncias variando o PAF(40% e 80%), o dia da simulação (17/01 e 17/07), a hora (8h e 18h) e a condição de céu (aberto ou nublado). A Figura 3 evidencia a diferença dos níveis de iluminâncias, entre o dia de projeto de verão (3a) e de inverno (3b). É verificado que para a mesma condição de céu ainda há diferença no contingente de luz natural que se distribui no espaço. Este fato é influenciado pela diferença da trajetória solar e da radiação solar incidente entre os dois momentos. A utilização do vidro LowE resultou no aumento da área com iluminação adequada, no período de verão, como visualizado na Figura 4. O aumento do PAF, de 40% para 80%, diminuiu a área de iluminação adequada no período abordado, pois aumentou a área de iluminação

excessiva, como visualizado pela Figura 5.

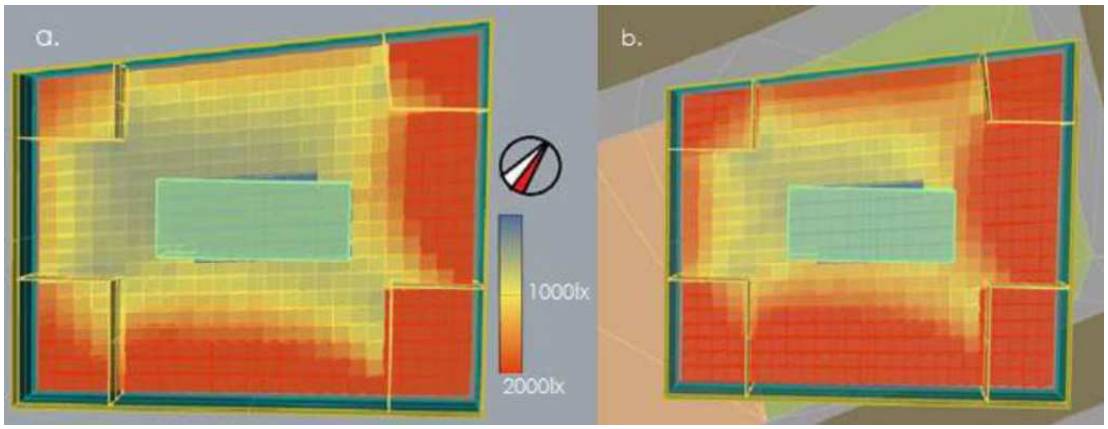
Figura 3–Níveis de iluminância para PAF80%, Vidro LowE, 8h00, Céu Aberto. a)17/01(Verão).b)17/07(Inverno).



Fonte: Os Autores

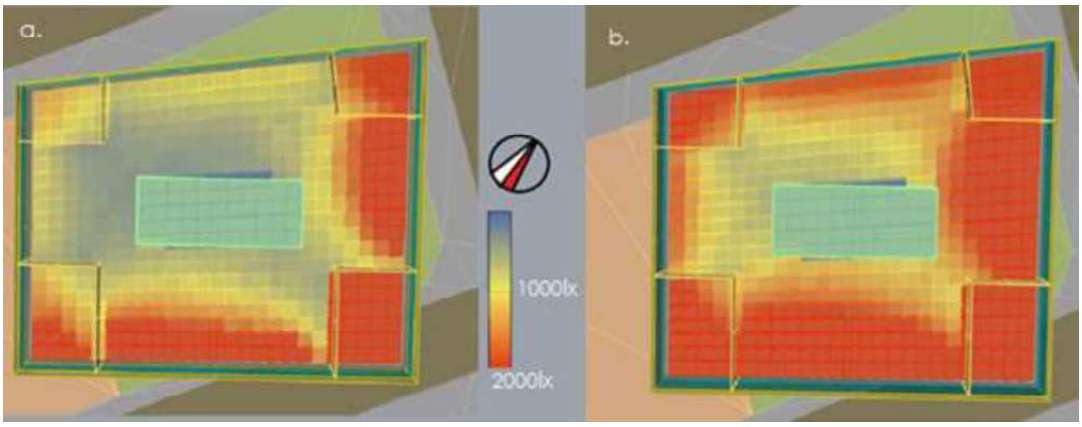
Figura 4–Níveis de iluminância para PAF80%, 17/01, 8h00, Céu Aberto.

a) Vidro-LowE (65%) b) Vidro-Clear (88%).



Fonte: Os Autores

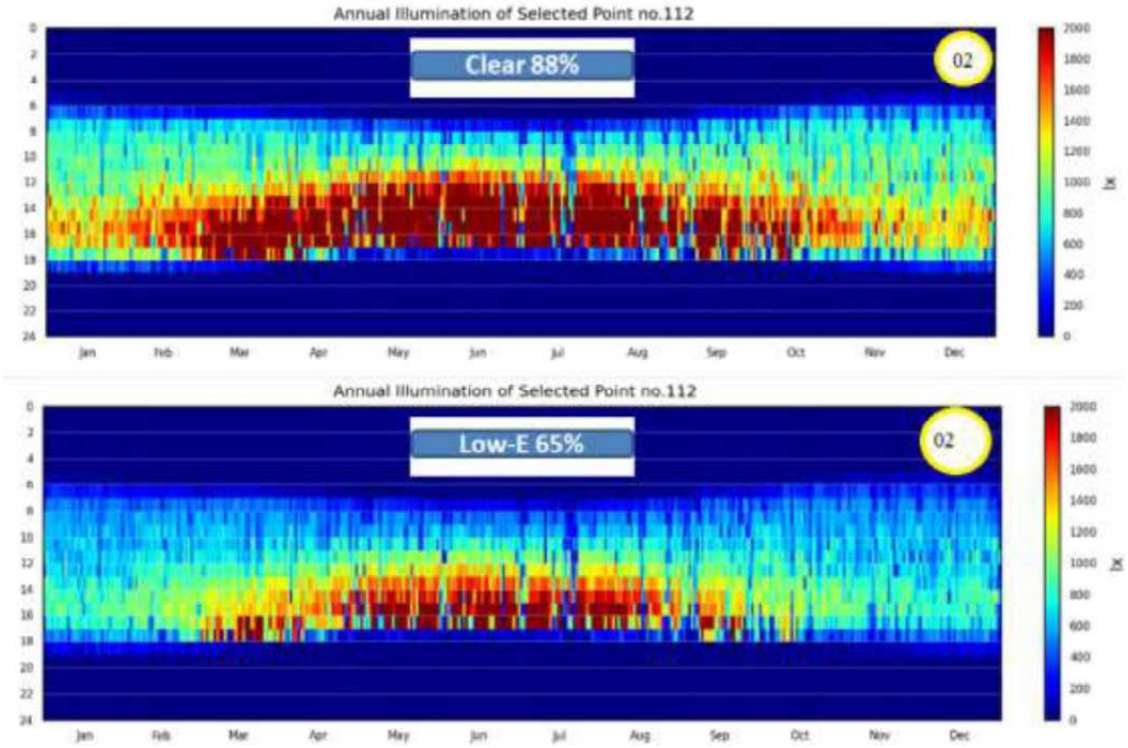
Figura 5–Níveis de iluminância para Vidro-Clear (88%), 17/01, 8h00, Céu Aberto.a) PAF40%. b) PAF80%.



Fonte: Os Autores

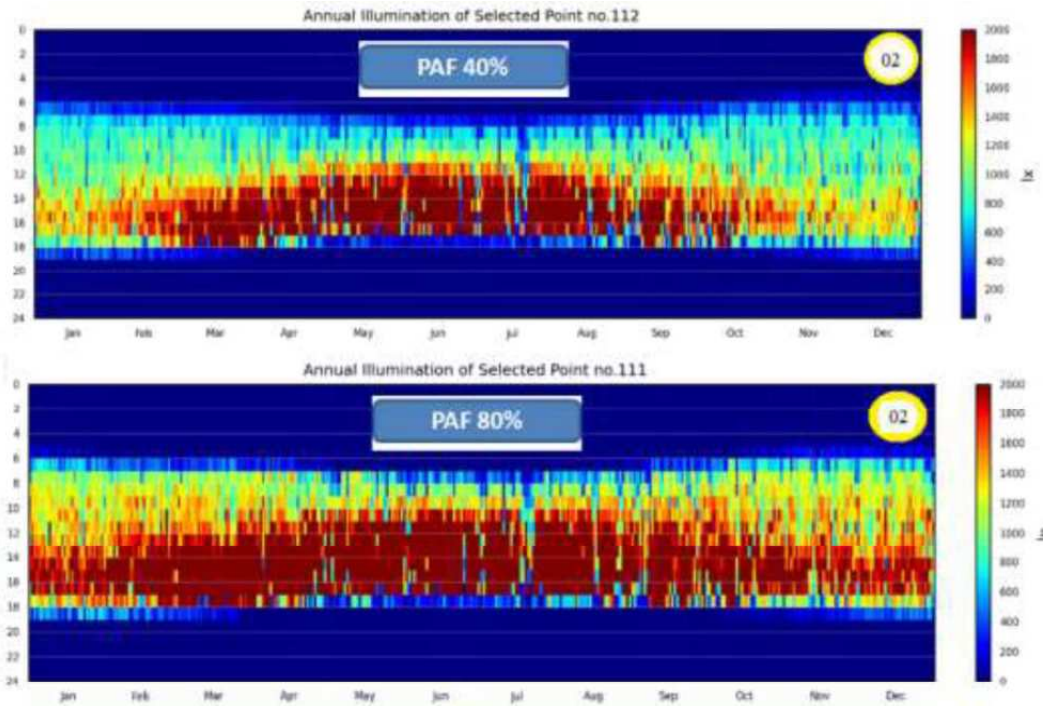
Quanto à distribuição anual das iluminâncias nos postos de trabalho 01 e 02, para o posto 02 se obteve redução nos níveis excessivos com a utilização do vidro-LowE, como mostrado na Figura 6 referente ao PAF40%. Reduções nos níveis excessivos de iluminação também foram atingidas com a mudança do PAF80% para o PAF80%, como demonstrado pela Figura 7. O posto de trabalho 01 apresentou as mesmas tendências nas diferenças entre vidros e PAF, mas possuiu menor conteúdo luminoso recebido.

Figura 6–Diferença entre distribuição anual de iluminâncias no posto 02 para vidros diferentes em modelos de PAF 40%.



Fonte: Os Autores

Figura 7–Distribuição anual de iluminâncias no posto 02 entre PAF diferente e mesmo vidro (clear 88%).



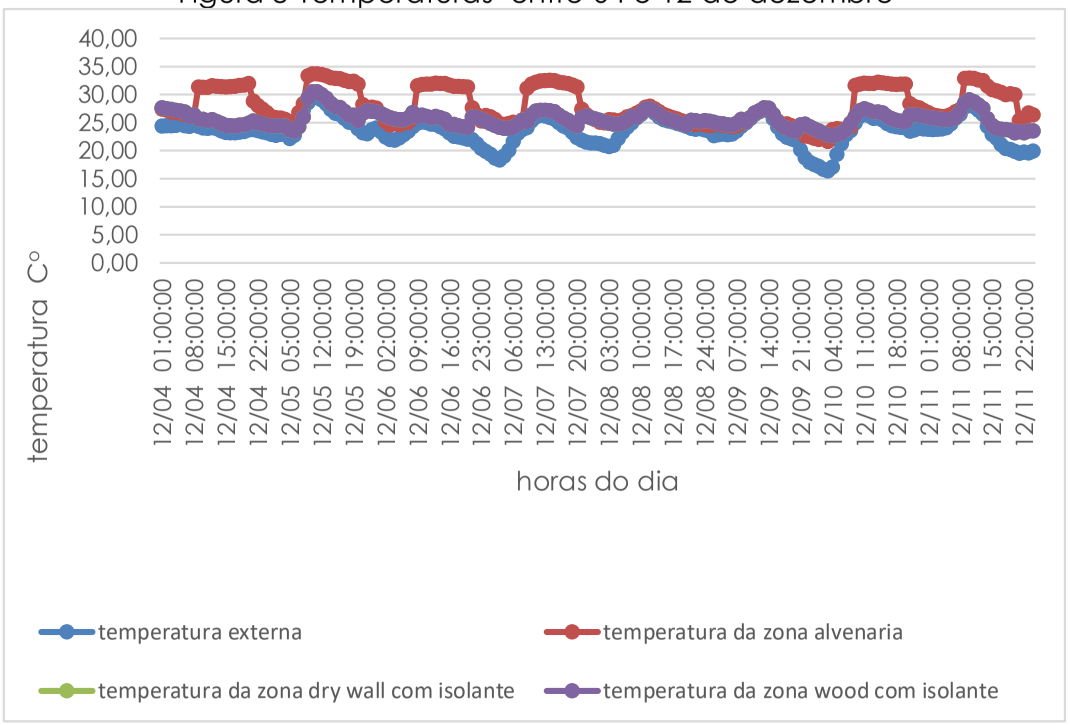
Fonte: Os Autores

3.2 Avaliação Térmica

Visando descobrir qual material apresenta o melhor desempenho térmico para o edificio proposto na Figura 1, foram realizadas simulações considerando três materiais: tijolo de vedeção, wood frame e drywall. As simulações foram realizadas através do software energyplus versão 8.8(U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2017). A alvenaria de vedação não apresenta isolante, porem o drywall e o wood frame apresentam isolamento de lã de rocha 50mm entre as camadas. As Figuras 8 e 9, apresentam as simulações dos materiais, além da temperatura externa para as situações propostas anteriormente com os dados disponibilizados pelo energyplus para o clima de Florianópolis.

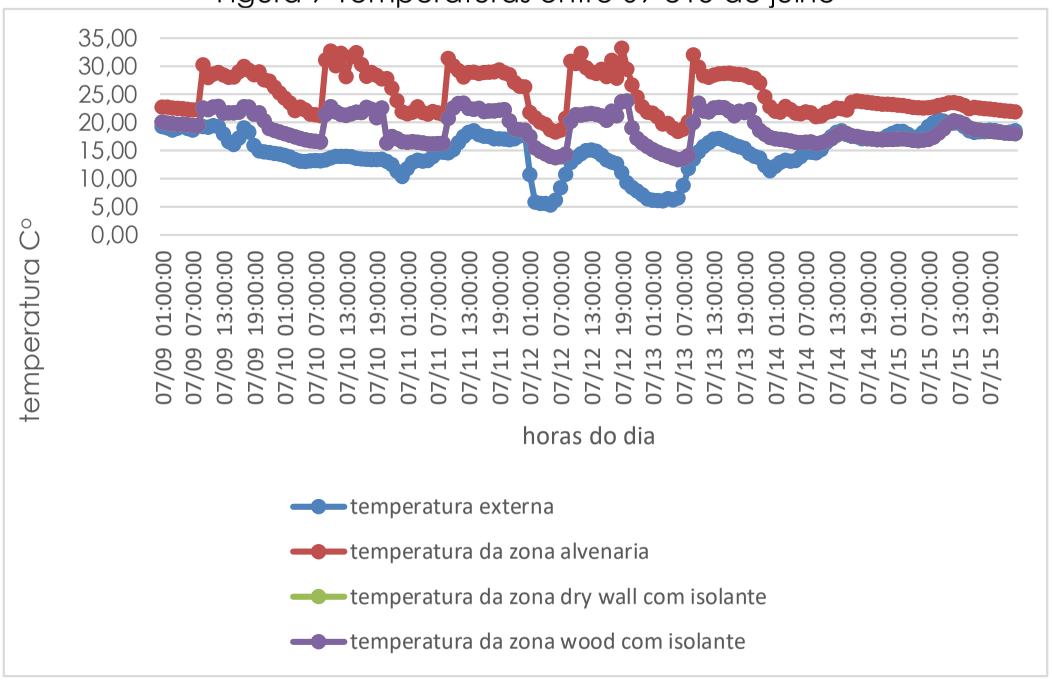
para os dias de 09 até15 de julho (semana mais fria do arquivo climático) e 04 até 12 de dezembro (semana mais fria do arquivo climático).

Figura 8-Temperaturas entre 04 e 12 de dezembro



Fonte: Os Autores

Figura 9-Temperaturas entre 09 e15 de julho



Fonte: Os Autores

Como pode ser observado nos gráficos anteriores, tanto o drywall como a parede de wood frame apresentam valores praticamente idênticos de temperatura no ambiente interno, isso ocorre devido ao fato de ambos os materiais apresentares características térmicas relativamente semelhantes, além dos dois utilizarem o mesmo tipo de isolamento.

Para a semana mais quente, as paredes de drywall e wood frame demonstraram grande amplitude nos picos de temperatura, entretanto apresentaram temperatura mais próximas a externa, reduzindo a utilização de resfriamento artificial.

Para a semana mais fria, a alvenaria de vedação apresentou temperaturas mais próximas a zona de conforto dos usuários. Devido à grande inercia térmica proporcionada pelos tijolos, a alvenaria apresenta menor variação de temperatura interna, sendo este um ponto favorável ao conforto térmico dso usuários nos períodos mais frios do ano.

4 CONCLUSÕES

As simulações computacionais vêm conquistando grande respaldo internacional e praticidade nas tomadas de decisões (IBPSA, 2018). Neste contexto, o trabalho se objetivou em apresentar ferramentas atualmente utilizadas em avaliações de desempenho luminoso e térmico de edifícios comerciais, assim como, evidenciar diferenças entre alternativas de projeto utilizando tais meios. Tocante ao desempenho luminoso do modelo proposto, $sDA_{300lx[50\%]}$ e $UDI_{[50\%]100lx\text{-}2000lx}$ foram métricas de caráter temporal-espacial que evidenciaram excesso de luz natural, de modo geral. Enquanto a distribuição anual de iluminâncias no posto de trabalho, de caráter temporal-pontual, salienta o excesso no decorrer do dia. Já os mapas de iluminância para os dias de projeto mostram a análise de todo ambiente em um momento específico.

As análises possibilitaram observar no modelo lumínicos a necessidade de controle solar nas fachadas de PAF80% mesmo que seja utilizado vidro LowE. Como trabalhado por Karlsen *et* al. (2015) e Mardaljevic et al. (2012), valores elevados de iluminâncias demonstram a vulnerabilidade do ambiente quanto ao desconforto visual. Em suma, como resguarda Christoffersen et al. (2000), tanto o conforto visual dos ocupantes quanto os níveis de iluminação do ambiente devem ser avaliados pós-ocupação e comparados com as simulações para que se validem as ferramentas e métricas abordadas. Neste sentido, a ferramenta DIVA4.0, que já tem recebido tais validações em países do hemisfério norte, neste trabalho contribuiu para gerar dados locais e nacionais passíveis de serem confrontados com avaliações pós-ocupação.

Nos modelos térmicos, foi realizado um comparativo de inercia térmica (alvenaria) contra sistemas isolantes (drywall e wood). Os resultados obtidos com o Energyplus demonstraram que o sistema construtivo de alvenaria, apresentou resultados mais satisfatórios onde a variação da temperatura para as semanas propostas obteve maior constância. Isto ocorre devido à grande amplitude térmica do clima de Florianópolis, onde existe a necessidade de a edificação não ganhar calor durante os meses quentes, e durantes os meses frios dificultar a perda do mesmo.

REFERÊNCIAS

CHRISTOFFERSEN, J.; JOHNSEN, K.; PETERSEN, E.; VALBJORN, O.; HYGGE, S. Windows and Daylight – A post-occupancy evaluation of Danish offices, in: **Lighting 2000, Proceedings of the CIBSE/ILE Joint Conference University of York**, UK:CIBSE, 2000, p. 112–120.

DE DEAR, R.; BRAGER, G. Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55. **Energy and Buildings**, 34, 2002.

FLORIANÓPOLIS (Município). Lei nº 486, de 17 de janeiro de 2014. **Institui O Plano Diretor de Urbanismo do Município de Florianópolis Que Dispõe Sobre A Política de Desenvolvimento Urbano, O Plano de Uso e Ocupação, Os Instrumentos Urbanísticos e O Sistema de Gestão**. Florianópolis, SC, 2014.

HUMPHREYS, M.; NICOL, F. The validity of ISO-PMV for predicting comfort votes in every-day thermal environments. **Energy and Buildings**, 34, 2002.

IBPSA. **International Building Performance Simulation Association**. 2018. Disponível em: <http://www.ibpsa.org/?page_id=247> . Acesso em: 21 jun. 2018.

IESNA. IES Standard LM-83, 2012. Approved method, IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE), **Illuminating Engineering Society of North America**, New York, 2012.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL (INMETRO). **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R)**. Eletrobrás. Rio de Janeiro. 2012.

KARLSEN, L.; HEISELBERG, P.; BRYN I.; JOHRA, H. Verification of simple illuminance based measures for indication of discomfort glare from windows. **Building and Environment**. ed. 92, 2015, pg.615-626.

LAMBERTS, R. et al. **CONFORTO E STRESS TÉRMICO**. Florianópolis: [s.n.], 2011. 87 p.

LAMBERTS, R., XAVIER, A. A., GOULART, S., & DE VECCHI, R. X. **Conforto e Estress Térmico.** Florianópolis, 2011.

MARDALJEVIC, J. M., ANDERSEN, N. R., CHRISTOFFERSEN, J. Daylighting metrics: is there a relation between useful daylight illuminance and daylight glare probability?, in: **Proceeding in BSO12, First Building Simulation and Optimization Conference, IBPSA.** England, Loughborough, UK, 2012.

NABIL, A., MARDALJEVIC, J. "Useful Daylight Illuminance: A New Paradigm to Access Daylight in Buildings". **Lighting Research e Technology**. n.37, 2005, pg.41-59.

REINHART, C. F.; NIEMASZ, J. DIVA FOR RHINO – Environmental Analysis for Buildings. **DIVA User Guide**. Disponível em: <http://diva4rhino.com/user-guide>. Acesso em mar. 2018

REINHART, C.F. 2017. Simulation-based daylight performance predictions. In: **Building performance simulation for design and operation**; Hensen J., Lamberts R., editors. London (UK). Cap 9, p 1-56.

REINHART, C.; JAKUBIEC, A.; IBARRA, D.; Definition of a reference office for standardized evaluations of dynamic façade and lighting technologies**. Proceedings of BS2013: 13th Conference of International Building Performance Simulation Association**. Chambéry, France, 2013;

REINHART, C. MARDALJEVIC J.; ROGERS, Z. Dynamic daylight performance metrics for sustainable building design. **Leukos**. 2006; vol 3: pp 1–25.

SOLEMMA LLC. **Diva for Rhino**: Environmental Analysis for Buildings. v. 4.0. Disponível em: <http://diva4rhino.com/>. Acesso em: mar. 2018.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. EnergyPlus 8.1. Energy Simulation Software, 2017. Disponivel em: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus>.

U.S. GREEN BUILDING COUNCIL. **Leadership in Energy and Environment Design (LEED)**. Disponível em: <https://new.usgbc.org/>. Acesso em: mar. 2018.