



XII ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído
VIII ELACAC Encontro Latinoamericano de Conforto no Ambiente Construído

BRASÍLIA | 25 a 27 de setembro de 2013

INVESTIGAÇÃO DO POTENCIAL DE ECONOMIA DE ENERGIA COM O USO DE PROTEÇÕES SOLARES PARA A CIDADE DE BELO HORIZONTE-MG

Carla Patrícia Santos Soares (1); Roberta Gonçalves Vieira de Sousa (2); Rafaela Guimarães (3)

(1) Arquiteta, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído e patrimônio Sustentável, pati.incd@gmail.com

(2) Professora do Departamento de tecnologia da Escola de Arquitetura, robertavgs2@gmail.com
Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Tecnologia, Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética em Edificações.

(3) Estudante de Arquitetura e Urbanismo da Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais. rafaelaaguimaraescosta@gmail.com

RESUMO

Pode-se notar que o recente interesse pelas questões ambientais, que focaliza também na busca da eficiência energética e da qualidade e conforto ambiental em edifícios, estimulou um retorno ao uso da luz natural nos edifícios. A respeito da importância da luz natural, no contexto mundial, diversas pesquisas foram iniciadas nas últimas décadas, com significativos progressos no sentido de um melhor aproveitamento desta nas edificações. Este estudo comparou diferentes sistemas de sombreamento que pontuam no processo de etiquetagem em eficiência energética de edifícios residenciais (RTQ-R) para a cidade de Belo Horizonte (MG) e investigou uma metodologia de proteção solar que livre da radiação direta sobre as aberturas em um determinado período de ocupação (8:00 às 17:00 horas). Como principal resultado constatou-se que para todas as orientações, o consumo em protótipos com proteções solares adequadamente projetados é inferior aos protótipos sem proteções ou com proteções generalizadas. A maior diferença no consumo total de um protótipo com e sem proteção se deu na fachada oeste com uma diminuição de 14,5% do consumo total. Foi possível observar que os dispositivos de proteção solar, quando dimensionados e orientados adequadamente, ao impedirem a passagem da radiação solar direta, possibilitam uma diminuição dos ganhos térmicos no interior do ambiente reduzindo o consumo de energia decorrente do uso do sistema de condicionamento de ar na ordem de 6,0 a 14,5%.

Palavras-chave: simulação computacional, proteção solar, consumo, desempenho térmico e luminoso.

ABSTRACT

It can be noticed that the recent interest in environmental issues, which also focuses on the pursuit of energy efficiency and on the environmental quality and comfort of buildings, encouraged the use, once again, of natural light in buildings. Regarding the use of natural light in the world, several researches were developed in the last decades with significant progress aiming a better use in buildings. This study intends to compare different shading systems that scores at RTQ-R in Belo Horizonte (MG) city and investigate a methodology of solar protection "free of direct radiation over the openings" in at certain period of occupation (8am to 5pm). As a main result, for all orientations, the prototypes consumption with properly designed shading devices is lower than the prototypes without protections or protections generalized. The biggest difference in the total consumption of a prototype with and without protection occurred in the west facade with a decrease of 14,5% of total consumption. It was observed that the solar protection devices, when properly scaled and oriented, prevent the passage of direct sunlight, allowing a reduction of heat gains within the room and reduces the energy consumption due to the use of the air conditioning system in order of 6 to 14,5%.

Keywords: computer simulation, solar protection, consumption, thermal and light performance.

1. INTRODUÇÃO

Os setores comercial e residencial contribuíram fortemente para o aumento da demanda de energia elétrica nacional em 2010 e 2011, apresentaram um crescimento de 6,2% e 4,4% respectivamente. Enquanto que, para o mesmo período, o consumo total de energia elétrica no país cresceu aproximadamente 4,2% (BEN, 2012). A principal maneira adotada para conter o consumo de energia e ao mesmo tempo permitir o desenvolvimento, social e econômico, do país tem sido estimular a eficiência energética. No Brasil, apesar de não serem os edifícios os maiores consumidores de energia, o setor comercial, residencial e público consomem juntos 13,9% da energia do país e 47% da energia elétrica, segundo o Balanço energético Nacional (BEN,2012). Esses números justificam as diversas iniciativas tomadas pelo governo, em relação à eficiência energética de edifícios, para manter o consumo de energia mais racional no país. A primeira, no âmbito de legislações efetivamente instituídas para promover a eficiência energética no país surgiu como consequência da crise de energia de 2001, quando foi sancionada a Lei No 10.295, de 17 de outubro de 2001, que “dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia” (BRASIL, 2001a). A partir de então foi criado o Procel Edifica como um programa que atua de forma a promover o uso racional da energia elétrica em edificações. Esta medida, além de outras contribuições, propiciou a criação de Regulamentos referentes ao nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos (RTQ-C) e residenciais (RTQ-R) como parte do Programa Brasileiro de Etiquetagem - PBE.

Segundo Roaf (2009), o recente interesse busca da eficiência energética e da qualidade e conforto ambiental em edifícios, estimulou um retorno ao uso da luz natural nos edifícios. A respeito da importância da luz natural, no contexto mundial, diversas pesquisas foram iniciadas nas últimas décadas, com significativos progressos no sentido de um melhor aproveitamento deste recurso.

No entanto, a realidade presente nos grandes centros brasileiros são edifícios, que mesmo totalmente envidraçados, utilizam ininterruptamente a iluminação artificial durante a maior parte do dia, independente dos níveis de iluminação possíveis de serem obtidos com a luz natural. Destaca-se que pela mesma abertura que proporciona luz natural também passa calor solar, o que contribui para a carga de refrigeração. Assim, o potencial efetivo de economia de energia associada a estratégias de projeto de aberturas será o resultado de uma complexa inter-relação entre economia de energia em iluminação (luz natural substituindo luz artificial) e custos de aquecimento/refrigeração (impacto do ganho de calor solar nos sistemas de climatização).

Diversos trabalhos já realizados investigaram a redução no consumo de energia elétrica anual de edifícios com a utilização de proteções solares, através de simulação computacional. Signor (1999) desenvolveu equações para caracterizar o consumo de edifícios de escritórios para diversas capitais brasileiras. A partir dos dados apresentados, pode-se inferir que a redução por brises horizontais ficou entre 3% e 14%. Santana (2006) inseriu brises verticais e horizontais com um ângulo máximo de 45° em um caso-base de escritório de Florianópolis, encontrando até 11,6% de redução no consumo de energia.

Um trabalho desenvolvido por Didoné (2010) teve como objetivo avaliar a eficiência energética considerando o aproveitamento da luz natural para a redução do consumo energético de edificações não residenciais. A metodologia foi baseada na avaliação e comparação do desempenho luminoso e energético de modelos com diferentes variáveis, através da simulação computacional integrada com o uso dos softwares Daysim e EnergyPlus. Para a análise das variações dos elementos de proteção solar, foram simulados 3 casos: um sem elementos de proteção solar, outro com proteções verticais e outro com proteções horizontais. Nos dois últimos casos, a proteção solar vertical ou horizontal é formada por placas de refletância de 50%, com 50 cm x tamanho da janela, intercaladas a cada 50 cm, formando um ângulo de sombreamento de 45°. Os brises possuem cor cinza com refletância de 0,50. Dentre as conclusões da autora, destaca-se a observação de que “utilizar o mesmo ângulo de sombreamento para todas as orientações não foi uma boa alternativa para avaliar o aproveitamento de luz natural” e que cada orientação demanda um tipo de proteção específico.

Silva (2011) desenvolveu um estudo com intuito de avaliar a influência dos protetores no comportamento da luz natural em edifícios de escritórios através da análise da porcentagem da área com autonomia de luz natural, dos diversos modelos de salas para um período de uso estipulados (das 8h às 18h). Foram utilizados três tipos de protetores para cada orientação e para cidades de diferentes latitudes (Maceió, Brasília e Florianópolis). Constatou-se como resultado que a orientação norte teve uma resposta positiva em relação ao uso dos três tipos de protetores e, que a orientação oeste obteve a pior resposta na autonomia de luz, por se tratar de brises mais robustos para proteção. Para protetores solares verticais, a autora constatou que não

houve alterações significativas na distribuição de luz natural e que se comparado ao protetor horizontal, este se comporta melhor. Este estudo não considerou o ofuscamento do modelo sem proteção, o qual, na presença da insolação direta, faria com que os usuários acionassem algum tipo de proteção como veneziana, persianas e cortinas piorando o desempenho luminoso no ambiente.

Um estudo realizado por Santos (2009) ressalta a significativa influência da geometria dos protetores na economia de energia. A autora identifica um melhor desempenho quanto a distribuição da luz natural quando utilizadas duas lâminas de proteção em detrimento de uma, além de evidenciar as diferenças no consumo provocadas pela diferentes geometrias de um mesmo conjunto de ângulos de sombreamento vertical e horizontal.

Dentre as conclusões de diversos trabalhos do estudo do potencial de economia de energia com o uso da iluminação natural, predomina-se a observação de que “utilizar o mesmo ângulo de sombreamento para todas as orientações não é uma boa alternativa para avaliar o aproveitamento de luz natural. Cada orientação demanda um tipo de proteção específico.” Por isso, um aspecto de grande importância para o uso de proteções solar é seu dimensionamento adequado.

No RTQ-C prescritivo, a influência das proteções solares no consumo é relacionada apenas a característica dos ângulos que formam com as aberturas. No regulamento comercial, a avaliação da envoltória do edifício baseia-se no cumprimento de itens prescritivos e no resultado do chamado Indicador de Consumo da Envoltória (IC_{env}). O IC_{env} determina, em parte, o nível de classificação da envoltória de “A” a “E” e deve ser calculado com as Equações 3.3 a 3.12, de acordo com a cidade e zona bioclimática onde o edifício esta inserido. A Equação 1 a seguir trata-se da equação 3.6 referente às zonas bioclimáticas 2 e 3 e edificações com áreas $>500 m^2$.

$$IC_{env} = -14,14.FA - 113,94.FF + 50,82.PAF_T + 4,86.FS - 0,32.AVS + 0,26.AHS - (35,75/FF) 0,54.PAF_T.AHS + 277,98$$

$$\text{Limite } FF_{mínimo} (A_{env}/V_{tot}) = 0,15$$

Equação 1

Os parâmetros AVS e AHS da equação de IC_{env} ponderam a influência das proteções solares no consumo do edifício. Resultam da média dos ângulos formados entre a abertura e a extremidade da proteção horizontal (AVS) ou vertical (AHS) (Figura 1). Pelo RTQ-C, o ângulo máximo que pode ser aplicado na equação é 45° para “[...] evitar o uso de proteções excessivas que possam prejudicar a penetração da luz natural difusa nos ambientes internos [...]” (BRASIL, 2010a). Para as zonas 6 e 8, o ângulo máximo é ainda mais restritivo. Contudo, o documento adverte que [...] esta exigência não determina o dimensionamento das proteções solares. Elas devem ser projetadas para evitar o sobreaquecimento dos ambientes internos considerando as necessidades de sombreamento específicas do edifício, as condições sazonais do clima local (trajetória solar e temperaturas) e a orientação de cada fachada [...] (BRASIL, 2010a).

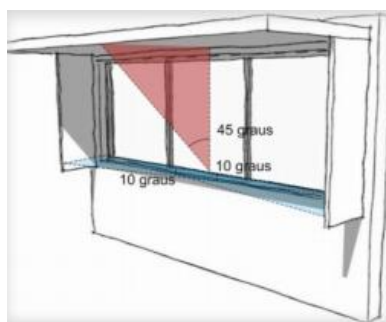


Figura 1 – Proteção solar horizontal com AVS de 45° e proteção solar vertical com AHS de 10° . (BRASIL, 2010a)

Santos (2009) constatou que a equação de IC_{env} para Belo Horizonte indica que o uso de brises verticais aumenta o consumo do edifício, contradizendo a concepção usual de projetistas segundo a qual o uso deste tipo de proteção ajudaria a reduzir o consumo neste local em qualquer orientação. Segundo a autora, a previsão de IC em parte converge com os resultados da simulação realizada em oportuno. Em um protótipo orientado a Sul, retirando-se o brise vertical o consumo reduziu. No mesmo protótipo, porém orientado a Norte, esta retirada fez o consumo aumentar. Na avaliação final pela média dos resultados, como o aumento a Norte foi muito superior em relação à redução a Sul, tem-se que o consumo geral do protótipo aumentou com a retirada dos brises. Estes resultados reiteram a importância de se considerar a orientação da fachada em análises de consumo.

Já o RTQ-R prescritivo apresenta uma metodologia de análise de eficiência mais complexo que o proposto para o RTQ-C. Esta metodologia adota uma variável “somb” que define a presença de dispositivos de proteção solar externos às aberturas. Esta variável varia de 0 (zero), quando não há dispositivos de proteção solar, a 1 (um), quando há venezianas que cubram 100% da abertura.

Os valores intermediários são definidos pela metodologia como determinados a seguir:

$0 < \text{somb} \leq 0,5$ (de zero a zero vírgula cinco), para ambientes com sombreamento por varanda, beiral ou brise horizontal, o percentual de sombreamento deve ser calculado de acordo com o método proposto no Anexo I do RTQ-R;

$\text{somb} = 0,2$ (zero vírgula dois) para ambientes com sombreamento por varanda, beiral ou brise horizontal, desde que os ângulos de sombreamento α e γ atendam aos limites de ângulo mínimos para Norte, Sul, Leste e Oeste estabelecidos pelas seguintes equações:

$$\text{Limite para } \alpha \text{ ou } \gamma \text{ Norte} = 23,5^\circ - \text{Lat} \quad \text{Equação 2}$$

$$\text{Limite para } \alpha \text{ ou } \gamma \text{ Leste e Oeste} = 45^\circ \quad \text{Equação 3}$$

$$\text{Limite para } \alpha \text{ ou } \gamma \text{ Sul} = 23,5^\circ - \text{Lat} \quad \text{Equação 4}$$

Sendo: Lat - valor absoluto da Latitude do local (valores negativos para o hemisfério Sul); α - ângulo de altitude solar a normal da fachada que limita a proteção solar; γ - ângulo da altura solar perpendicular a normal da fachada que limita as laterais da proteção solar.

O método proposto no anexo 1 do RTQ-R define os ângulos para a determinação de dimensões mínimas do sistema de proteção solar em aberturas de cômodos de permanência prolongada. É definido através da conjunção de critérios de temperatura externa e radiação solar incidente na fachada, que são plotados em cartas solares para a latitude da cidade onde se localiza o projeto em estudo. Entretanto, como ressaltado, o RTQ-R admite uma nota “*somb*” de até 0,5 para uso de brises ou demais proteções não permitindo alcançar a nota máxima de “*somb*” =1. Em estudos já realizados por Santos (2009) e Versage (2011), comprovaram que os ângulos mínimos propostos por esta metodologia contribuem apenas para obstruir parte da radiação solar além de, em algumas situações, não exigir obstrução mínima. Sendo assim, não poderia ser igualmente valorizado se comparado a um sistema de veneziana num processo de avaliação de eficiência energética, por exemplo.

2. OBJETIVO

Este artigo propõe uma comparação entre diferentes sistemas de sombreamento e a investigação de uma metodologia para a avaliação da eficiência de proteções solares quando comparados a venezianas com controle automático. Tem-se por expectativa inicial que um modelo integrado de iluminação natural e ambiente resulta em um consumo reduzido em relação a um ambiente vedado por venezianas ou sem protetores.

3. MÉTODO

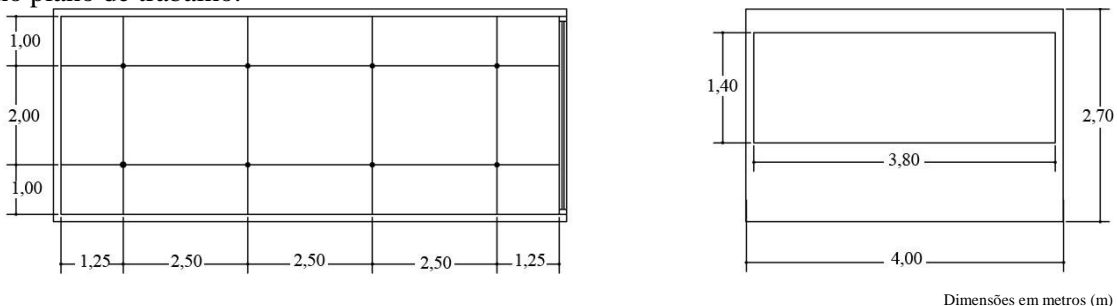
Neste estudo foi proposta uma metodologia com intuito de comparar o uso de brises e venezianas. O protótipo adotado foi um ambiente retangular com dimensões de 4,00m x 10,00 m totalizando 40 m² já utilizado por Didoné (2010) como um ambiente comum a escritórios (Figura 2). Foram adotadas e comparadas as seguintes variações:

Protótipo 1 - Sem protetores

Protótipo 2 - Obstrução completa de insolação (8:00h às 17:00h) em placa única

Protótipo 3 - Obstrução completa da insolação (8:00h às 17:00h) em placas filetadas

Protótipo 4 - Venezianas externas de alta reflexão e dinâmicas acionadas de acordo com o nível de brilho no plano de trabalho.



Dimensões em metros (m)

Figura 2 - Vista em planta e elevação de protótipo e posicionamento de luminárias.

Uma vez definido os parâmetros e características do protótipo, foram projetados os desenhos das proteções solares através da construção de máscaras que visam obstruir completamente a insolação direta entre 8:00 e 17:00, caracterizado como horário de funcionamento de edificações comerciais. As máscaras foram projetadas com os menores ângulos possíveis para quatro orientações (Norte, Sul, Leste e Oeste). Em algumas orientações, tal geometria permite a entrada de sol em poucos dias e horários ao longo do ano, como pode ser visto na Tabela 1 a seguir. Nos casos adotados, optou-se por duas geometrias em relação a uma mesma máscara de proteção: a primeira definida por apenas uma placa única vertical e/ou horizontal e a outra com placas filetadas, permitindo maior flexibilidade de design do elemento sombreador. Sendo assim, pretende-se avaliar as possíveis interferências da reflexão e escurecimento nas diferentes geometrias da proteção proposta.

Para uma análise mais apurada, foi considerado um protótipo com uso de venezianas externas automatizadas, uma vez que, estas são comumente utilizadas sejam internas ou externas ao ambiente de acordo com o desconforto do usuário. Entende-se que, com um nível elevado de ofuscamento em uma abertura sem proteção, o usuário tende a fechar as persianas e/ou venezianas externas, o que provoca o escurecimento do ambiente. Pretende-se, com este protótipo, investigar este tipo de proteção comumente utilizado. No caso de ambientes de escritório, a persiana interna é mais usual, porém, sabe-se que dispositivos internos ao ambiente apresentam piores desempenhos quanto ao bloqueio da carga térmica advinda da insolação. Sendo assim, neste estudo procurou-se utilizar um dispositivo mais eficiente e externo (venezianas), de forma que pudessemos comparar dispositivos com iguais características.

Foram utilizados dois *softwares* para análise integrada do sistema de sombreamento: DAYSIM e EnergyPlus. Ambos utilizam valores horários de iluminância baseados em um arquivo climático local (.epw). No entanto, para determinar o *status* dos dispositivos de sombreamento os métodos avaliação do desempenho de reflexão da luz utilizados nos softwares são diferenciados. Conforme já indicado por Didoné (2010), o DAYSIM se apresenta como uma alternativa mais precisa quanto a distribuição de luz natural o ambiente optando-se então pela adoção do *software* para análise de distribuição e autonomia de iluminação natural. Pelo DAYSIM são retiradas rotinas de acionamento das luminárias de acordo com as condições de sombreamento e distribuição da luz natural no ambiente. O *software* EnergyPlus foi adotado para fazer a integração das rotinas e a simulação do desempenho energético do edifício.

Para o projeto de abertura e fechamento automatizado das venezianas, foi usado o *software* DAYSIM/RADIANCE o qual determina a partir de um brilho $> 0,4$ zona de ofuscamento de acordo com a metodologia do *Daylight glare probability* (DGP) desenvolvida por Weinold and Christofessen (2006). Sendo assim, o programa aciona as venezianas uma vez ultrapassado o nível do brilho no plano de trabalho. A partir da rotina de acionamento das venezianas (.csv) gerado pelo DAYSIM é calculado o impacto de consumo energético pelo *software* Energy Plus.

Para o modelo de desempenho energético, o ambiente considerado é composto por apenas uma zona térmica com todas suas superfícies em contato com o exterior. Não foram consideradas cargas específicas de ocupação. O sistema de iluminação artificial adotado foi composto de oito luminárias para duas lâmpadas fluorescentes de 28 W/127 V, com reatores eletrônicos, a densidade de potência de iluminação alcançada foi de $11,2 \text{ W/m}^2$ - potência esta, característica de nível A pelo RTQ-C. Foram adotados 500 lux de nível mínimo de iluminância, como definido pela norma brasileira NBR-5413 (ABNT, 1992), para ambientes de escritório.

As paredes exteriores foram modeladas considerando um valor de $U= 1,18 \text{ m}^2\text{K}$, a cobertura com um $U= 1,80 \text{ m}^2\text{K}$ e as janelas tem um valor de transmissão luminosa de 90% - correspondente a um vidro simples de 3mm. Todas as simulações foram realizadas em Belo Horizonte (arquivo.epw – Fonte: *Energy efficiency and renewable energy*) sem consideração de obstruções do entorno.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

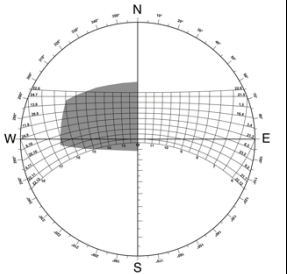
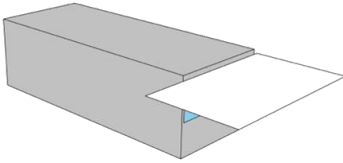
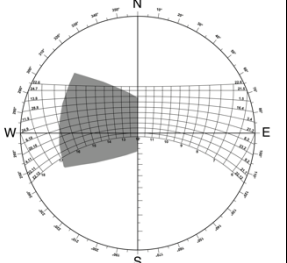
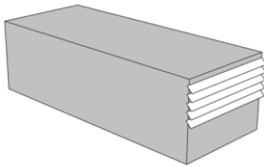
4.1. Máscaras de proteção solar

A tabela a seguir (Tabela 1) mostra as definições de máscaras de proteção desenvolvidas no *software* Suntool e as propostas de protetores adotadas. Nota-se que as máscaras foram dimensionadas de forma a sombrear as horas de sol pretendidas conforme metodologia apresentada. Nota-se que para a orientação Norte, foram propostas placas verticais e horizontais. Para a orientação sul, propostas placas horizontais e para a Leste e Oeste, placas horizontais.

Tabela 1- Modelos e Máscaras de sombreamento.

Orientação		Máscara	Projeto
Norte	Com placa única		<p>Proteção Horizontal - Comprimento: 4,00 Largura: 1,80 Proteção Vertical - Largura: 1,80 Altura: 1,50</p>
	Com placa filetada		<p>Proteção Horizontal - Comprimento: 4,00 Largura: 0,60 Proteção Vertical - Largura: 0,60 Altura: 1,50</p>
Sul	Com placa única		<p>Proteção Horizontal - Comprimento: 4,10 Largura: 0,20 Proteção Vertical - Largura: 1,00 Altura: 3,45</p>
	Com placa filetada		<p>Proteção Horizontal - Comprimento: 4,10 Largura: 0,20 Proteção Vertical - Largura: 0,20 Altura: 1,56</p>
Leste	Com placa única		<p>Proteção Horizontal - Comprimento: 5,50 Largura: 2,00</p>
	Com placa filetada		<p>Proteção Horizontal - Comprimento: 4,30 Largura: 0,30 Inclinação=45°</p>

Tabela 1- Modelos e Máscaras de sombreamento (continuação).

Oeste	Com placa única		 Proteção Horizontal - Comprimento: 6,00 Largura: 3,50
	Com placa filetada		 Proteção Horizontal - Comprimento: 4,10 Largura: 0,30 Inclinação=45°

4.2. Simulação de Iluminação Natural

Como resultados das simulações de iluminação natural a partir dos dados gerados pelo DAYSIM e tratados no *software Surfer* obtiveram-se gráficos isolinhas de autonomia de luz dentro do ambiente que comprova desempenho conforme indicado na Tabela 2.

Tabela 2 - Malha de Autonomia de luz Natural - *Daylight Autonomy (D.A.)*.

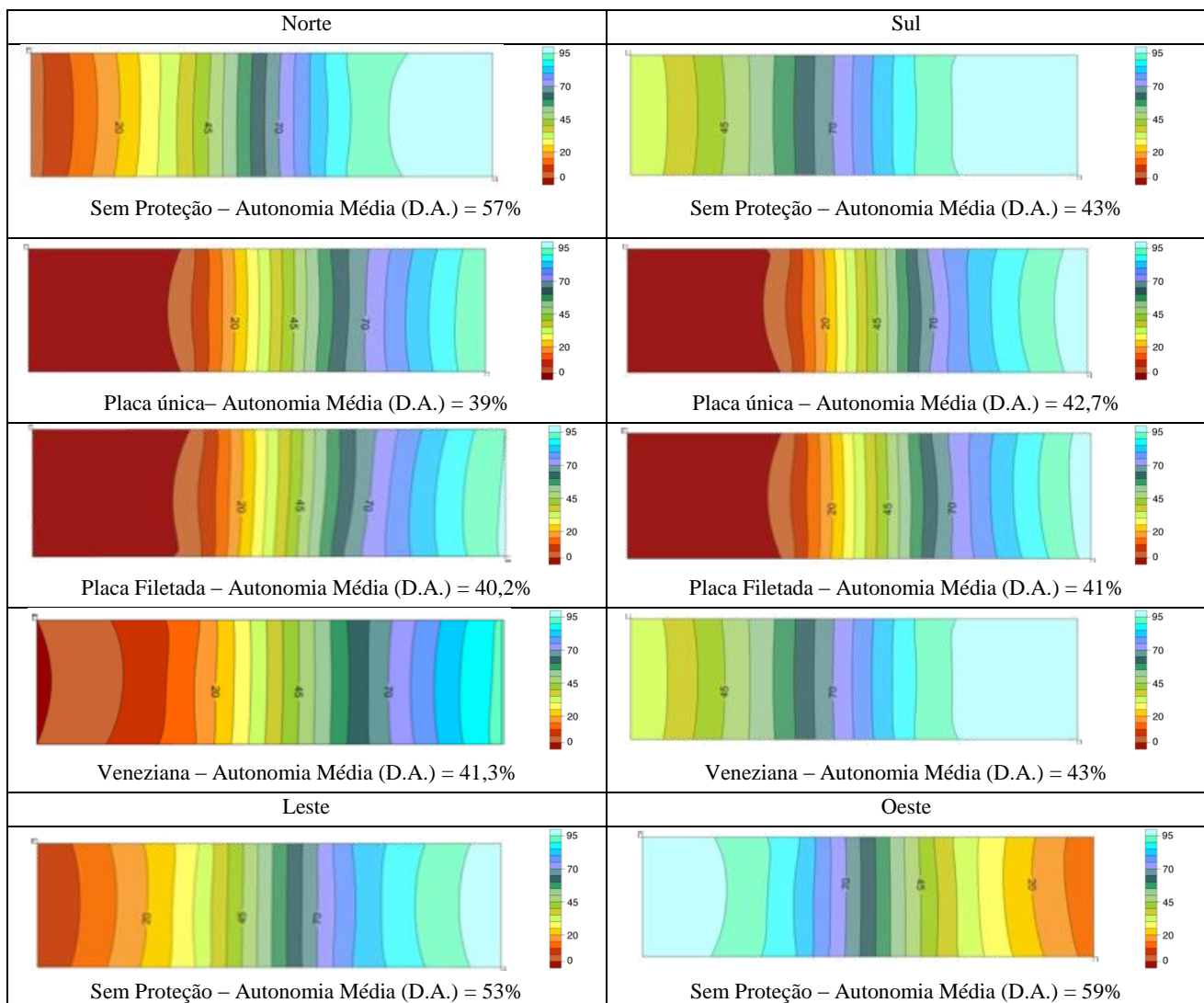
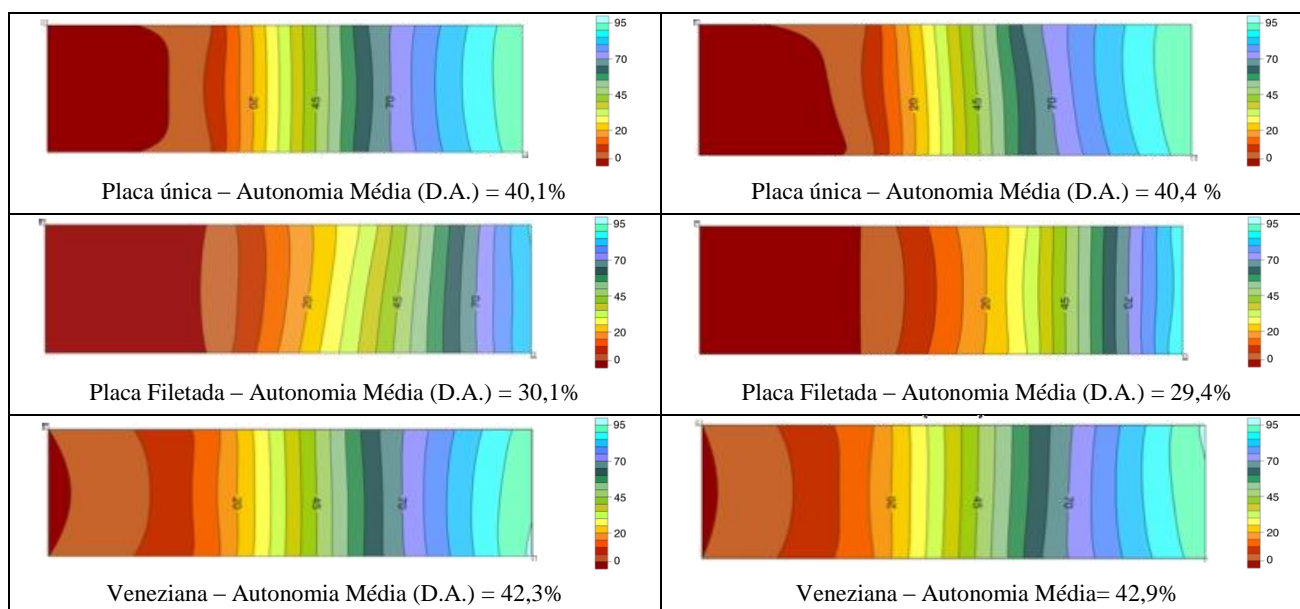


Tabela 2 - Malha de Autonomia de luz Natural - *Daylight Autonomy (D.A.)* (continuação).



Observa-se que na fachada com aberturas para orientação sul, devido menor necessidade de proteção solar, apresenta resultados mais favoráveis em relação à autonomia média de luz natural (D.A.= 43% sem proteção, D.A.= 42,7% com placa única e D.A.= 41% com placa filetada). A opção por placa filetada não trouxe significativas mudanças na distribuição da autonomia. Contudo, quando analisados com protetores, cerca de 50% da área do ambiente apresentou autonomies menores que 50% das horas de ocupação. Observou-se que a veneziana não foi acionada na fachada sul pela não ocorrência de brilho (DGP) >0,4.

Pode-se observar que para a orientação sul o desempenho quanto a autonomia de luz natural apresentou se inferior em relação à orientação norte quando analisada a tipologia sem proteção. Contudo, ao analisar ambas as orientações com proteções o desempenho quanto a autonomia de luz natural do protótipo orientado para a orientação Norte é inferior ao da sul. Isso se deve pelo fato de que os protetores da fachada Norte se apresenta com maiores dimensões, e assim, com menor penetração da luz natural.

Para a orientação Norte, o desempenho médio de autonomia de luz natural se mostrou com pouca diferenciação quanto a distribuição para as tipologias com um protetor (D.A.= 39%), com protetor filetado (D.A.= 40,2%) e com venezianas (D.A.= 42,9%). Assim sendo, quando analisados as tipologias com protetores, cerca de 60% da área do ambiente apresentou autonomies menores que 50% das horas de ocupação. Observa-se que o protótipo com venezianas automatizadas apresenta melhor desempenho quanto à autonomia de luz para esta orientação se comparadas àquelas com protetores solares, uma vez que as venezianas permitem uma reflexão de cerca de 25% para o ambiente o que proporciona uma distribuição mais uniforme ao ambiente.

Para as orientações Leste e Oeste os resultados foram semelhantes quando analisadas com ou sem proteção. Nota-se, porém, que a orientação Oeste apresenta desempenho um pouco inferior devido a proporção de horas de insolação direta no período avaliado (8:00 às 17:00 horas) e um maior dimensionamento das proteções. Nestas orientações, o impacto das proteções quanto a autonomia média de luz natural mostra-se significativo e progressivo à medida que opta-se pela adoção de placa única inteiras e placas filetadas. Percebe-se uma autonomia média bastante superior quando não adotadas proteções ou dispositivos com apenas uma placa. Nestas fachadas o desempenho das venezianas automatizadas em relação aos protetores se mostrou mais eficiente quanto à autonomia de luz natural, uma vez que estas só são acionadas quando há excesso de brilho no plano de trabalho, evitando assim o escurecimento do ambiente durante todo o período do dia.

4.3. Simulação de Consumo Energético

Os gráficos a seguir demonstram os resultados das simulações de consumo energético realizadas no *software* EnergyPlus referentes às mesmas tipologias.

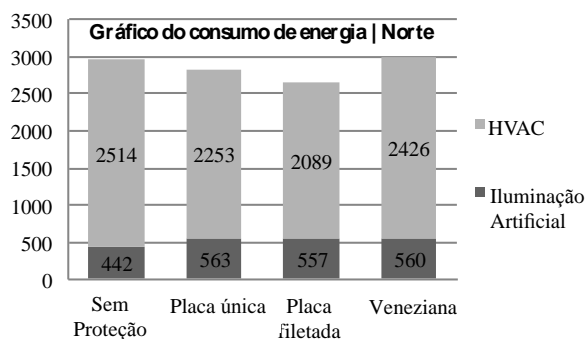


Figura 3 - Fachada Norte: Consumo de energia desagregada – Iluminação artificial e Condicionamento de ar (W)

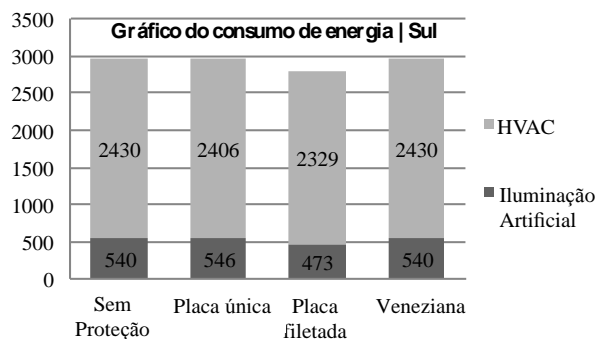


Figura 4 - Fachada Sul: Consumo de energia desagregada – Iluminação artificial e Condicionamento de ar (W)

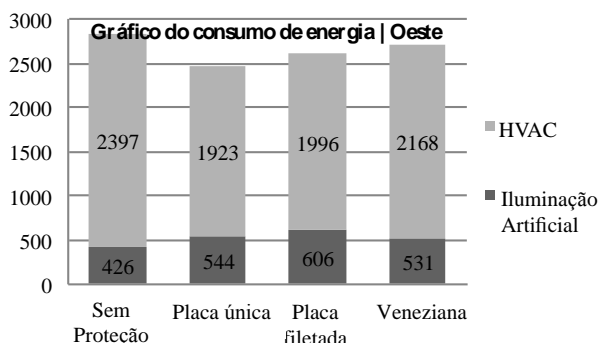


Figura 5 - Fachada Oeste: Consumo de energia desagregada – Iluminação artificial e Condicionamento de ar (W)

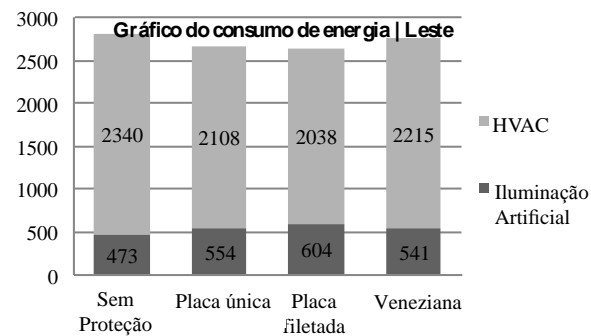


Figura 6 - Fachada Leste: Consumo de energia desagregada – Iluminação artificial e Condicionamento de ar (W)

As simulações termo energéticas apresentaram resultados esperados em relação às expectativas iniciais, porém, com alguns resultados interessantes. Para as orientações Norte e Sul (Figuras 4 e 5), o consumo de energia por iluminação artificial diminuiu a medida que se aumentava o número de superfícies reflexivas das proteções. Ou seja, o protótipo com uma proteção apresenta maior consumo de energia quanto à iluminação artificial que o protótipo com protetor filetado. Entende-se que nestes casos, as placas filetadas contribuem com a reflexão da luz para o interior do ambiente e melhor distribuição. Porém, quanto ao consumo total nota-se que a adoção de uma placa de proteção ou placas filetadas proporcionou uma diminuição progressiva do consumo do ar condicionado e do consumo total em relação ao uso de venezianas as quais demandam um acionamento maior de iluminação artificial e conseqüentemente maior carga térmica gerada pelo equipamento. Notou-se que para as orientações Leste e Oeste (Figuras 5 e 6), ao contrario do que percebido anteriormente, o consumo por iluminação diminui com o uso de brises se comparado às venezianas, uma vez que estas bloqueiam a dissipação da luz natural no ambiente e os brises permitem maior penetração. Percebe-se, contudo, que a influência dos protetores como fatores de minimização da incidência solar direta minimizam o consumo total devido ao bloqueio da insolação e conseqüente carga solar anterior à penetração no ambiente. Para estas orientações, à medida que adotam-se proteções solares e que filetam-se as mesmas, o consumo por iluminação aumenta. Entende-se que nestas orientações, por demandarem maiores dimensões para os dispositivos e, à medida que filetam-se as placas, seu desempenho quanto ao escurecimento do ambiente se assemelha à veneziana, ou seja, quanto mais superfícies para sombreamento da incidência solar mais escuro o ambiente e menor a contribuição da luz natural. Dessa forma, conta-se um aumento de 3,5% do consumo para ambientes com venezianas em relação aos ambientes com protetores filetados.

A maior diferença no consumo total de um protótipo com e sem protetor se deu na fachada oeste com uma diminuição de 14,5% do consumo total. Na orientação Norte, se comparados um protótipo com venezianas e com placas filetadas tem-se uma redução de 10,5% do consumo. Para o sul, esta diferença se dá em 5,6%. Na orientação leste, as maiores diferença se dão entre os protótipos com proteção filetada e sem proteção alcançando-se reduções de até 6,5%. Estes resultados vão de encontro aos já destacados por Versage (2010) na revisão bibliográfica e mesmo pelo texto do RTQ-R quando demonstram relações de que a veneziana é mais eficaz quanto ao consumo de energia. Nota-se que é necessário considerar a contribuição de luz natural para minimização do consumo pela artificial. Este estudo demonstrou que, uma vez considerada a integração da iluminação natural, o desempenho superior da veneziana pode ser questionado se comparado a dispositivos que permitam esta integração.

5. CONCLUSÕES

Com o desenvolvimento deste estudo, ressaltou-se a importância do dimensionamento adequado das aberturas de acordo com a orientação solar. Percebe-se que as dimensões para as diferentes fachadas são muito diferentes o que contraria a adoção de um dimensionamento padrão conforme alguns estudos realizados.

Foi possível observar que os dispositivos de proteção solar, quando dimensionados e orientados adequadamente, ao impedirem a passagem da radiação solar direta, possibilitam uma diminuição dos ganhos térmicos no interior do ambiente reduzindo o consumo de energia decorrente do uso do sistema de condicionamento de ar. Nas presentes análises, constatou-se uma economia que varia de 6% a 14,5% com o uso de protetores no consumo geral do ambiente simulado. Valores estes são compatíveis aos já apresentados por Signor (1999) quando inferido valores de redução de energia pelo uso de brises horizontais na ordem de 3 a 14%. Além disso, cabe ressaltar que o uso de protetores horizontais contribui de forma a favorecer a reflexão da luz natural para o interior do ambiente, aumentando a uniformidade luminosa. Nota-se que com relação ao desempenho de protetores dimensionados para abertura (protetores com uma placa e placas filetadas) são mais efetivos na redução da redução do consumo de energia do que os protetores tipo venezianas uma vez que minimizam o consumo proveniente da ativação da luz artificial. Assim sendo, é importante fortalecer o uso destes dispositivos quanto ao consumo de energia final e seu potencial na economia de energia sendo melhor avaliados e pontuados nos Regulamentos Brasileiros de Eficiência Energética para Edificações (RTQ-C e RTQ-R).

Este estudo foi realizado em um protótipo profundo. Acredita-se que em salas pouco profundas, a economia tende a ser maior. Para resultados mais precisos devem-se investigar outras cidades e latitudes, além de outras tipologias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5413: iluminância de interiores**. Rio de Janeiro, 1992.
- ASHRAE – AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **2005 ASHRAE Handbook – Fundamentals**. p. 30.12. Atlanta, 2005.
- BRASIL. **Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial**. Portaria INMETRO no 372: aprova o Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos. 17 de setembro de 2010. 2010. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/detalhe.asp?seq_classe=1&seq_ato=1462>. Acesso em: 11 dez. 2012.
- BRASIL. **Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial**. Portaria INMETRO no 449: aprova o Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edificações Residenciais. 25 de novembro de 2010b. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtosPBE/regulamentos/RTAC001627.pdf>>. Acesso em 11 dez. 2012
- DIDONÉ, E. L. **A influência da luz natural na avaliação da eficiência energética de edifícios contemporâneos de escritórios** em Florianópolis/SC. 2009. 179 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós- Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.
- DIDONÉ, E. L.; PEREIRA, F. O. R. **Simulação computacional integrada para a consideração da luz natural na avaliação do desempenho energético de edificações**. Ambiente Construído, v. 10, n. 4, p. 139-154, 2010.
- MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. **Balanco Energético Nacional. 2012**. Disponível em <<http://www.mme.gov.br>> Acesso em: 11 de março de 2012.
- ROAF, Sue. **A adaptação de edificações e cidades às mudanças climáticas**. Porto Alegre: Bookman, 2009. 384p.
- VERSAGE, Rogério. **RTQ-R Avaliação: ANEXO 1. Power point elaborado referente e testes internos ao Laboratório de Eficiência Energética de Edificações – UFSC**. 2011.
- SANTANA, M. V. **Influência de parâmetros construtivos no consumo de energia de edifícios de escritório localizados em Florianópolis – SC**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis, 2006.
- SIGNOR, R. **Análise de Regressão do Consumo de Energia Elétrica Frente a Variáveis Arquitetônicas Par Edifícios Comerciais Climatizados em 14 Capitais Brasileiras**. Florianópolis, 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.
- SANTOS, I. G. **Análise de envoltória e do sistema de iluminação a partir do “Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos”** para avaliação de desempenho de sistemas de fachada e de proteções solares. Belo Horizonte, 2009. Dissertação - Mestrado em ambiente construído e patrimônio sustentável. Universidade Federal de Minas Gerais.
- SILVA, V. S. e C.; **A Influência dos protetores solares no comportamento da luz natural em edifícios de escritórios**. Dissertação (Mestrado). Programa de pesquisa e pós graduação da faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal do Distrito Federal, 2011.
- U.S. DEPARTMENT OF ENERGY EFFICIENCY AND RENEWABLE ENERGY. **Arquivos Climáticos**. Disponível em: http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data3.cfm/ region=3_south_ america_wmo_region_3/ country=BRA/ cname=Brazil. Acesso em 11 dez. 2012.
- WEINOLD, J. and CHISTOFFERSEN. **Evaluation Methods and development of a New Glare prediction method for Daylight Simulation whits the use of CCD Cameras**. Energy and Buildings, 38(7):743-757. 2006.