

A INFLUÊNCIA DA DETERMINAÇÃO DAS ZONAS DE ILUMINAÇÃO NATURAL NO CONSUMO DE ENERGIA EM ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL

Ana Paula de Almeida Rocha ⁽¹⁾; Fernando Oscar Ruttkay Pereira ⁽²⁾

(1) Arquiteta, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, UFSC, anapaula@labcon.ufsc.br

(2) PhD, Professor Titular do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, UFSC, feco@arq.ufsc.br

Resumo

Uma das formas de otimizar o uso das estratégias de controle da iluminação artificial se dá pela definição prévia das zonas de iluminação natural que são caracterizadas por áreas que apresentam uma distribuição de iluminâncias com características similares. Esse zoneamento permite que a iluminação artificial de cada zona tenha um controle independente e adequado às características luminosas. Nesse contexto, este trabalho objetiva indicar um método para zonear a iluminação natural admitida em um ambiente através de medidas dinâmicas da luz natural e, em seguida, comparar o consumo de energia em iluminação artificial do modelo com zonas de iluminação natural com o do modelo sem discriminação de zonas. Além disso, o trabalho propõe-se comparar o desempenho energético de duas estratégias automatizadas de controle da iluminação artificial. Os procedimentos metodológicos são realizados em um ambiente de escritório com planta retangular iluminado unilateralmente através de simulação computacional no programa Daysim. As zonas de iluminação natural são geradas a partir das frequências de ocorrência de iluminâncias dentro de zonas preestabelecidas. Os intervalos de iluminâncias baseiam-se em relações de contraste aceitáveis dentro de cada zona, cujo valor máximo é de 3:1; o que difere do índice das Iluminâncias úteis da luz natural (UDI), no qual permite verificar somente qual porção do ambiente possui valores úteis (não muito baixos, nem valores que podem causar ofuscamento ou ganho de calor). Em seguida, para comparação de consumo energético entre modelos com e sem divisão de zonas, o sistema de iluminação artificial é controlado por sistemas automáticos ligados a luz natural. Os sistemas dimerizável e liga/desliga são utilizados individualmente nas simulações energéticas para verificar as diferenças do consumo de energia em iluminação com o uso de cada controle. Os resultados constataam a importância da definição das zonas para adequação dos sistemas de controle a estas, pois levam a reduções de consumo de energia em iluminação artificial.

Palavras-chave: Iluminação Natural, Eficiência Energética, Arquitetura.

Abstract

The present study aims to compare the energy performance of two automated strategies for artificial lighting control. The methodological procedures are performed using the computer simulation program Daysim in an unilaterally illuminated office environment a rectangular plan. The daylight areas are generated from the frequencies of illuminance occurrences within predetermined areas. The illuminance intervals are based on acceptable contrasts within each zone, with maximum ratios is 3:1, which differs from the Useful Daylight Illuminances (UDIs) index, which only allows you to check which portion of the environment has useful values (which are not too low, nor values that can cause glare or heat gain). Then, to the energy consumption comparison between models with and without zone divisions, the artificial lighting system is controlled by automated systems linked to daylighting. Dimmable and on/off systems are used individually in the energetic simulations to check the differences

of energy consumption in lighting with the use of each control. The results are very promising, which already allows to testify the importance of defining the areas for adequacy of these control systems, as they lead to reductions in the energy consumption of artificial lighting.

Keywords: *Daylighting, Energy Efficiency, Architecture.*

1. INTRODUÇÃO

Nos edifícios comerciais, um elevado potencial de economia de energia pode ser alcançado se a iluminação natural for utilizada como uma fonte de luz para iluminar os ambientes internos, podendo assim complementar ou substituir o uso da iluminação artificial. No entanto, a admissão de iluminação natural no ambiente interno não resulta diretamente em economia de energia. A economia só ocorre quando o tempo de uso da iluminação artificial é reduzido através da substituição pela luz natural. Para se obter essa redução, com o aproveitamento da luz natural, nem sempre basta um simples interruptor liga/desliga; muitas vezes, é necessário o uso de um controle automático do sistema de iluminação artificial, pois este garante o desligamento imediato da iluminação artificial nos momentos em que a luz natural consegue fornecer a iluminância de projeto no ambiente.

Alguns trabalhos já discutiram a economia de energia gerada pela integração de sistemas de luz natural e artificial através de controles de iluminação artificial, ligados à luz natural. Em edifícios comerciais convencionais, a escolha pelo controle automático pode proporcionar uma redução de 30 a 40% no uso da iluminação (BAKER e STEEMERS, 2002). Em seu trabalho de tese, Souza (2003) desenvolveu o PALN (Potencial de Aproveitamento da Luz Natural), uma metodologia para estimar a potencialidade de aproveitamento da luz natural utilizando os sistemas automáticos de controle para economia de energia elétrica em iluminação artificial. O PALN indica o período em que é possível utilizar a luz natural para substituir ou complementar a iluminação artificial. Galasiu et al. (2007) apresentaram um estudo de campo em um edifício real onde foram instalados diferentes tipos de controles automáticos de iluminação; dependendo da combinação dos sistemas foram constatadas economias de energia variando de 15 a 67% na carga de iluminação.

Apesar de todos os avanços dos equipamentos e técnicas, observa-se, na maioria desses trabalhos, que a instalação do sistema de controle de iluminação artificial para avaliação da economia de energia acontece de maneira indiscriminada. Nesses estudos, não há um critério metodológico que realmente integre a luz natural e artificial, o que não assegura uma redução do consumo de energia. Uma das formas de otimizar o uso das estratégias de controle de iluminação e, conseqüentemente, aumentar a vida útil do sistema e a economia de energia, se dá pela definição prévia das zonas de iluminação natural que são caracterizadas por áreas que apresentam uma distribuição de iluminâncias com características similares (ROBBINS, 1986). Esse zoneamento tem como objetivo permitir que a iluminação artificial de cada zona possua um controle independente e adequado às características luminosas.

Nas regulamentações brasileiras sobre iluminação e eficiência energética, emprega-se o conceito de zonas de iluminação ainda de maneira rudimentar. No caso do Regulamento Técnico de Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C), para se atingir bons níveis de eficiência energética, o projeto de sistema de iluminação deve atender alguns pré-requisitos específicos como divisão de circuitos, contribuição da luz natural e desligamento automático do sistema de iluminação. No entanto, não há recomendações bem estabelecidas sobre os procedimentos que devem ser realizados para a melhor divisão dos circuitos ou escolha das estratégias de controle da iluminação

artificial. Nesse sentido, uma metodologia mais elaborada do conceito de zonas de iluminação pode auxiliar na integração dos sistemas de iluminação natural e artificial nos edifícios, potencializando assim a eficiência dos sistemas e a economia de energia no ambiente construído.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é avaliar a influência do zoneamento da iluminação natural no consumo de energia em iluminação artificial em um ambiente de escritório.

3. MÉTODO

O trabalho consiste na avaliação da importância do zoneamento da iluminação natural no consumo de energia em iluminação. Como ferramenta computacional, utiliza-se o programa Daysim/Radiance, desenvolvido pelo National Research Council Canada (NRCC) e o Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, na Alemanha, pois possibilita desenvolver análise do comportamento dinâmico da luz natural de modelos tridimensionais para o período de um ano, bem como processa o acionamento do sistema de iluminação artificial, considerando a luz natural disponível, através do uso de diferentes sistemas de controle. Este procedimento será detalhado a seguir.

3.1. Características do modelo para as simulações

Para a escolha do modelo predominante de edifício de escritórios na cidade de Florianópolis/SC são levantados dados de trabalhos já realizados. Didoné (2009) elaborou seus modelos paramétricos a partir do trabalho de levantamento feito por Santana (2006) de 35 edifícios em relação à caracterização construtiva e 41 escritórios em relação ao padrão de ocupação e uso de equipamentos. Dessa forma, baseando-se no trabalho de Didoné (2009), um modelo é desenvolvido para a realização da simulação.

O modelo está representado por um paralelepípedo ortogonal dividido em piso, paredes e teto, com as laterais medindo 8 m., obtendo uma área interna total de 64m². O modelo possui pé-direito de 2,70m; e uma área de janela de 10,80 m², o que corresponde à largura total da sala de 8m e altura de 1,35m. O peitoril da janela equivale a 1,00 m e possui orientação da abertura ao Sul. Nas figuras 1 e 2, o modelo escolhido está representado:



Figura 1 – Planta do Modelo para simulação

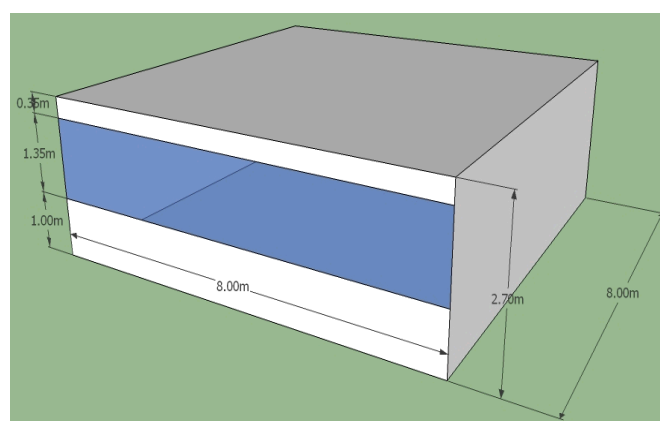


Figura 2 – Perspectiva do modelo

As refletâncias internas dos ambientes são 70% para teto, 50% para paredes e 20% para o piso. E os vidros possuem transmitância solar equivalente a 87%.

A fachada frontal – onde está localizada a janela – tem orientação voltada para o Norte.

Baseando em Didoné (2009), o sistema de iluminação artificial é definido a partir de um projeto de iluminação geral, calculado pelo método dos lúmens. Os sistemas são compostos por luminárias de embutir de alta eficiência e aletas metálicas. Cada luminária contém duas lâmpadas fluorescentes tubulares T5 de 28W que medem uma densidade de potência instalada de 7W/m². A iluminância de projeto com valor 500 lux é adotada conforme os fatores determinantes para as atividades de escritório, segundo a NBR 5413.

Para avaliação e comparação do desempenho de diferentes sistemas de controle, são utilizados os controles da iluminação artificial disponíveis no programa de simulação da luz natural Daysim. Nesse programa, os sistemas de controle são divididos em duas categorias principais: estado liga-desliga e sistema de dimerização; o funcionamento desses sistemas relaciona-se a ocupação ou ao nível de iluminação presente no plano de trabalho. No quadro 1, os sistemas de controle da iluminação artificial utilizados estão sintetizados com suas respectivas características.

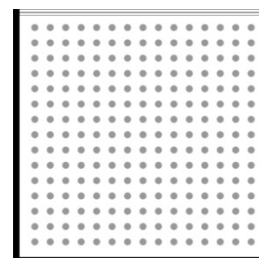
| Controle de iluminação | Características |
|--|--|
| Manual liga-desliga | Os próprios usuários fazem o controle do sistema de iluminação |
| Sensor liga-desliga controlado por um fotosensor | Lâmpadas desligam após 10 min de o nível de iluminação no plano de trabalho permanecer igual ou superior a iluminância limite. |
| Sistema dimerizável controlado por um fotosensor | Fotocélulas dimerizam o nível de iluminação das lâmpadas até o limiar de iluminância adequado no plano de trabalho |

Quadro 1 – Descrição dos sistemas de controle de iluminação artificial.

Fonte: Reinhart (2010).

Quanto a ocupação, utiliza-se um padrão simplificado cujo período ocupado corresponde de 8h às 19h em todos os dias úteis da semana; nos fins de semana, não há ocupação.

Para avaliação da medida dinâmica da Autonomia da luz natural (Daylight Autonomy DA – em inglês) no plano de trabalho, as simulações são feitas em uma quantidade de pontos suficiente para análise, tomando como base as orientações dadas pela norma para medição NBR15215-4. O ambiente interno é dividido em áreas iguais formando uma malha e o centro de cada área serviu de referência para cálculo das medidas. A malha de pontos está localizada a uma altura de 85cm do piso e possui pontos distanciados 50cm entre si e 50cm da parede (Figura 3).



nº de pontos = 225

Figura 3 – Malha de pontos do plano de análise para o modelo

As simulações são realizadas com o uso de um arquivo climático de referência para a cidade de Florianópolis/SC também como dado de entrada. O arquivo climático encontra-se disponível na página eletrônica do programa EnergyPlus.

3.2. Determinação das zonas de iluminação natural

As zonas de iluminação natural são caracterizadas por áreas que apresentam uma distribuição de iluminâncias com características similares. O procedimento para determinação das zonas baseia-se na metodologia de Robbins (1986), empregada também por Souza (2003) em seu estudo. A determinação das zonas de iluminação dos modelos simulados é realizada através das etapas descritas a seguir:

1) Inicialmente, para cada ponto do plano de análise são determinados dados da medida dinâmica Autonomia da Luz Natural tomando como referência diferentes níveis mínimos de iluminância. Esses níveis de iluminância são baseados nas faixas de iluminância definidas por Robbins (1986) para determinação das zonas de iluminação. Os valores de iluminância dos limites das zonas são calculados, a partir da iluminância mínima, multiplicando-se quatro vezes seu valor por múltiplos de 3: ($E_{mín}$); ($3 \times E_{mín}$); ($9 \times E_{mín}$); ($27 \times E_{mín}$); e ($81 \times E_{mín}$). É importante ressaltar que é definido o valor de 2500 lux como o último nível de iluminância válido para determinar limites entre a penúltima e a última zona, mesmo que o valor resultante do cálculo apresentado acima ultrapasse 2500 lux. Esse valor foi utilizado com intuito de se evitar criar zonas no ambiente com iluminâncias excessivas.

2) Para este estudo, assume-se 50 lux como sendo a iluminância mínima (SOUZA, 2003). Sendo assim, as medidas de Autonomia da Luz Natural são simuladas para os níveis de 50 lux, 150 lux, 450 lux, 1350 lux e 2500 lux. Esses valores de Autonomia correspondem os limites das zonas de iluminação – numeradas de 0 a 5 – conforme apresentado na figura 4.

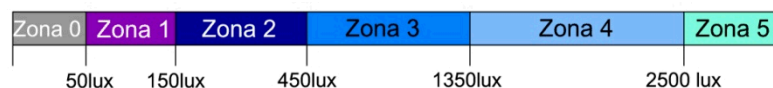


Figura 4 – Limites das zonas de iluminação natural.

3) O passo seguinte é identificar as frequências de ocorrência das iluminâncias pertencentes a cada zona a partir dos valores de Autonomia de Luz Natural. Dessa forma, para determinar a porcentagem de tempo que ocorrem iluminâncias dentro de cada zona para cada ponto simulado, cálculos simples são feitos conforme apresentado na quadro 2. Vale lembrar que a soma de todas as zonas (Z0 a Z5) deve sempre resultar 100%.

| Zonas | Fórmula para cálculo das porcentagens de tempo que ocorrem em cada zona de iluminação natural. |
|--------|--|
| Zona 5 | $Z5 = DA(2500)$ |
| Zona 4 | $Z4 = DA(1350) - DA(2500)$ |
| Zona 3 | $Z3 = DA(450) - DA(1350)$ |
| Zona 2 | $Z2 = DA(150) - DA(450)$ |
| Zona 1 | $Z1 = DA(50) - DA(150)$ |
| Zona 0 | $Z0 = 100 - Z1 - Z2 - Z3 - Z4 - Z5$ |

Quadro 2 - Cálculo das faixas de ocorrência para cada faixa predeterminada para determinação do zoneamento.

4) Após calculadas as frequências de ocorrência de cada zona, são montadas planilhas que resumem os resultados conforme exemplo da Tabela 1. Cada linha representa um ponto da malha de análise com os seus respectivos valores de frequência de ocorrência para cada zona – zonas 0 a 5. Em seguida, marca-se o maior valor de frequência de ocorrência para cada ponto utilizando as cores da legenda dos limites das zonas, o que possibilita identificar o intervalo de iluminâncias (zona) predominante em cada ponto.

| Ponto | Zona 0 | Zona 1 | Zona 2 | Zona 3 | Zona 4 | Zona 5 |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1 | 8 | 3 | 4 | 14 | 20 | 51 |
| 2 | 8 | 4 | 4 | 22 | 28 | 34 |
| 3 | 8 | 4 | 6 | 34 | 31 | 17 |
| 4 | 11 | 9 | 36 | 44 | 0 | 0 |
| 5 | 12 | 11 | 52 | 25 | 0 | 0 |

Tabela 11 – Porcentagem de tempo que cada zona ocorre em cada ponto do modelo com a marcação em cores do

intervalo de maior ocorrência.

5) Após marcação das ocorrências mais altas em cada ponto, esses valores são representados graficamente respeitando a escala de cores das zonas de iluminação natural. Esse resultado gráfico permite esboçar o zoneamento do plano luminoso através de análise visual.

6) Definido um esboço do zoneamento a partir da medida Autonomia da luz natural, o próximo passo é indicar a qual zona a parcela pertence e definir a área de cada zona de iluminação.

3.3. Simulação do sistema de iluminação artificial

As simulações da iluminação artificial, utilizando diferentes controles: manual (liga/desliga) e automáticos (liga/desliga e dimerizável), são realizadas para o ambiente com o plano luminoso dividido em zonas através da aplicação do método de zoneamento da iluminação natural. Para esta simulação, a iluminação artificial é dividida em zonas de controle baseando-se nas zonas de iluminação natural. Além disso, como referências comparativas para análise da influência do zoneamento da luz natural no uso da luz artificial, são calculados os dados do sistema artificial do mesmo modelo, mas sem aplicação do processo de zoneamento da luz natural – ou seja, com uma única zona de controle.

Como resultado, o programa gera um arquivo CSV (comma separated value) com os períodos de ocupação e de acionamento do sistema de iluminação artificial, este último assumindo um valor entre 0 (totalmente desligado) e 1 (totalmente acionado). Esses resultados se apresentam em séries horárias anuais que são utilizados no cálculo do consumo de energia final em iluminação artificial.

Os dados horários de uso da iluminação artificial são determinados pelas simulações no programa Daysim, utilizando o valor de 500 lux como iluminância de projeto.

Neste estudo, para avaliar o uso da iluminação artificial, são definidos como sensores todos os pontos da malha no plano de trabalho dentro de cada zona.

4. RESULTADOS

Nesta etapa, serão apresentados os resultados encontrados a partir da método aplicado. Primeiramente, será discutido o zoneamento da iluminação natural no ambiente. Na sequência, os resultados de consumo de energia em iluminação são apresentados em formato de tabelas comparativas.

4.1. Zoneamento da Iluminação natural do modelo arquitetônico

No modelo com iluminação unilateral, as zonas se apresentam paralelas à fachada com abertura principal possuindo profundidades variáveis. As zonas de iluminação natural determinadas são Zona 2 ($150 > 450$ lux), 3 ($450 > 1350$ lux) e 5 (> 2500 lux), com as seguintes áreas, respectivamente: 22m^2 ; 24m^2 e 18m^2 .

A figura 5 mostra o zoneamento do modelo (dimensões $8\text{m} \times 8\text{m}$) com janela única (dimensões $1,35\text{m} \times 8\text{m}$) orientado ao Norte.

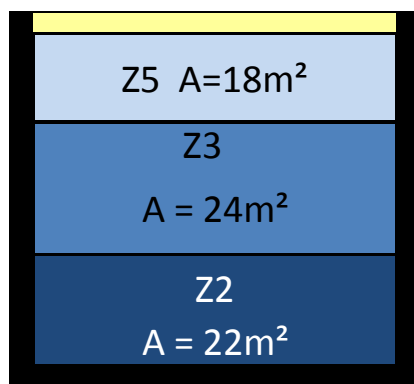


Figura 5 – Zonas de iluminação natural do modelo.

4.2. Consumo de Energia em Iluminação

A partir do zoneamento de iluminação natural definido mostrado anteriormente, o consumo de energia em iluminação artificial foi calculado considerando o modelo zoneado e não zoneado, utilizando os sistemas de controle manual e automáticos liga-desliga e dimerizável. Os resultados estão apresentados, abaixo, em gráficos.

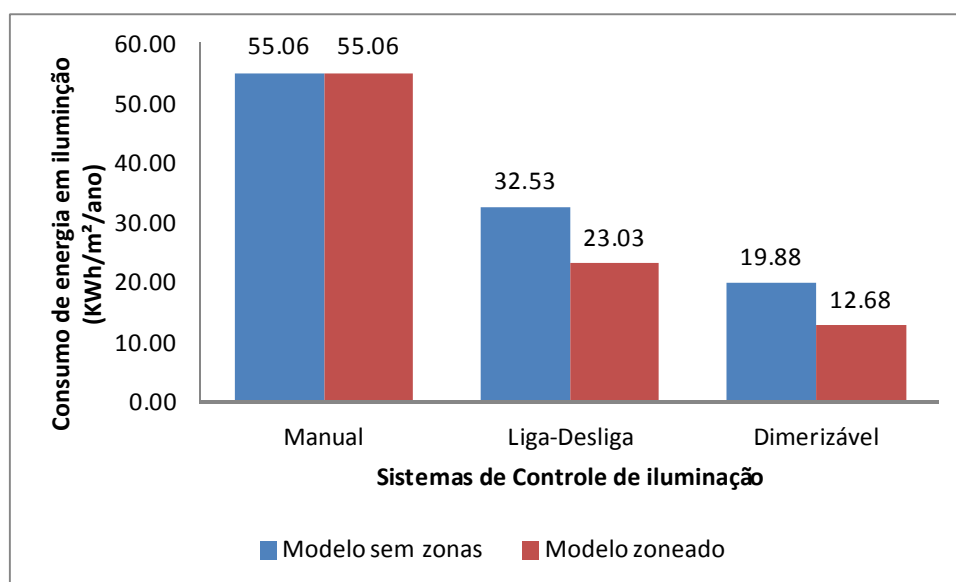


Figura 6 – Consumo de energia em iluminação para o modelo zoneado e não zoneado, utilizado três sistemas de controle de iluminação: manual liga-desliga; automático liga-desliga e automático dimerizável.

Os resultados de acionamento do sistema de iluminação artificial para o sistema de controle manual (liga-desliga), fornecidos pelo programa Daysim, são idênticos para as duas situações do modelo (zoneado e não zoneado). Para essa situação, o programa pressupõe que os usuários acionam a iluminação artificial no início da manhã, quando entram no ambiente, e a desligam somente no final do turno de trabalho, à noite, quando saem da sala. Desse modo, considerando que o ambiente permaneceu ocupado 2871 horas ocupadas no ano, esse valor representa as horas do ano nas quais o sistema artificial permaneceu ativado utilizando 100% da sua potência, o que resulta em um consumo de 55.06 KWh/m²/ano.

Analisando os resultados absolutos e as diferenças de uso do sistema de iluminação artificial, a adoção de uma estratégia de controle automático dimerizável traz menor utilização da potência de iluminação artificial comparando com o sistema liga-desliga, pois aquele regula o fluxo luminoso de forma gradual a complementar a luz natural com intuito de se atingir a iluminância de projeto.

Comparando isoladamente o modelo sem zonas, o uso do sistema dimerizável diminui de 32.53 para 19.88 KWh/m²/ano o consumo de energia; já para o modelo zoneado, a diferença entre o sistema liga desliga e dimerizável é de 10.34 pontos no consumo de energia quando se utiliza o sistema dimerizável.

De modo geral, ao comparar os valores das horas de uso do sistema de iluminação artificial dos modelos sem zonas e os zoneados, observa-se que o ambiente apresenta reduções de uso da luz artificial. A determinação de zonas de iluminação artificial traz reduções de 29.21%, quando o sistema é controlado pelo controle liga-desliga; e de 36.18%, pelo sistema dimerizável.

5. CONCLUSÕES

A principal finalidade deste trabalho foi quantificar os benefícios do zoneamento da luz natural na sala em estudo onde se prevê a integração da luz natural e artificial através de sistemas de controle automáticos ou divisão de circuitos.

Este trabalho aplicou um método que, por meio de simulação computacional, compara o tempo de uso da iluminação artificial dos modelos com zonas de iluminação com o dos modelos sem discriminação de zonas e considera três tipos de controle da iluminação artificial com intuito de avaliá-los em função da luz natural disponível no ambiente.

Para isso foi escolhido o programa Daysim como ferramenta computacional para análise do desempenho da luz natural e artificial, pois possibilita desenvolver análise do comportamento da luz natural para o período de um ano, bem como processa o acionamento do sistema de iluminação artificial considerando a luz natural disponível através do uso de diferentes sistemas de controle.

Os resultados mostram que a divisão do ambiente em zonas de iluminação traz um impacto positivo no consumo de energia em iluminação artificial. No modelo estudado, o consumo reduz torna de 29% e de 36%, quando o sistema de iluminação artificial é controlada respectivamente pelo sistema automático liga-desliga e dimerizável.

Considera-se que o objetivo de avaliar a influência do zoneamento da iluminação natural no controle da iluminação artificial foi alcançado a partir de simulação computacional. Espera-se que este trabalho possa contribuir com informações acerca da importância do zoneamento da iluminação natural, de modo a auxiliar projetistas a tomar decisões quanto aos sistemas de iluminação natural e artificial e a estratégia de controle de iluminação artificial na concepção de projetos de iluminação integrados (iluminação natural e artificial) energeticamente eficientes.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR-5413**: Iluminância de interiores. Rio de Janeiro. 1992. 33p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR15215-3/2004**. Iluminação natural – Parte 3: Procedimento de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos. Rio de

Janeiro: ABNT, 2004.

BAKER, N. STEEMERS, K. **Daylight design of buildings**. James x James. London: 2002.

DIDONÉ, E. L. **A influência da luz natural na avaliação da eficiência energética de edifícios contemporâneos de escritórios em Florianópolis/SC**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

GALASIU, A. D.; NEWSHAM, G. R.; SUVAGAU, C. SANDER, D. M. Energy saving lighting control systems for open-plan offices: a field study. **Leukos**, v. 4, n. 1, p. 7-29, 2007.

REINHART, C. F. **Tutorial on the use of Daysim Simulations for Sustainable Design**. Institute for Research Council Canada, Ottawa, 2010.

ROBBINS, C. L. **Daylighting, design and analysis**. Van Nostrand Reinhold Co, New York, 1986.

SANTANA, M. V. **Influência de parâmetros construtivos no consumo de energia de edifícios de escritório localizados em Florianópolis – SC**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

SOUZA, M. B. **Potencialidade de aproveitamento da luz natural através da utilização de sistemas automáticos de controle para economia de energia elétrica**. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.