

## ANÁLISE DE DIFERENTES MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DO APROVEITAMENTO DA LUZ NATURAL

**Michele Matos<sup>1</sup>; Deivis Luis Marinoski<sup>1</sup>; Martin Ordenes<sup>1</sup>; Fernando O. R. Pereira<sup>2</sup>**

Universidade Federal de Santa Catarina - Campus Universitário – Trindade  
Caixa Postal 476 – CEP 88040-900

(1) LabEEE - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações

E-mails: [michele@labeee.ufsc.br](mailto:michele@labeee.ufsc.br) ; [deivis@labeee.ufsc.br](mailto:deivis@labeee.ufsc.br) ; [martin@labeee.ufsc.br](mailto:martin@labeee.ufsc.br)

(2) LabCon - Laboratório de Conforto Ambiental

E-mail: [feco@arq.ufsc.br](mailto:feco@arq.ufsc.br)

### RESUMO

Este trabalho tem como objetivo a aplicação de diferentes índices de avaliação do aproveitamento da iluminação natural e comparação dos valores quantitativos determinados para um ambiente específico. O aproveitamento da luz natural é realizado a partir da integração com a iluminação artificial através do uso de sistemas de controle liga/desliga e dimerizável. Os índices selecionados foram: Percentual de Aproveitamento da luz Natural (PALN); Daylight Coolness Index (DCI); Daylight Autonomy (DA); Índice de Necessidade Relativa de Exposição à Luz (HLLE); Potencial da Sala (RP); e Potencial do Sistema (SP). Os dados de iluminância foram obtidos através de simulação computacional para três condições de céu (claro, parcial e encoberto) e para 7 datas ao longo do ano. Os cálculos dos potenciais de economia foram realizados para dois sistemas de controle: interruptor automático liga/desliga e controlador automático dimerizável. Para o sistema liga/desliga observou-se que os três índices que caracterizam o potencial de contribuição de luz natural (PALN, RP, DA) apresentaram um resultado semelhante em cada zona e também em relação ao valor médio da sala (próximo de 21%). O valor do DCI, embora não possa ser comparado diretamente, também se encontra próximo ao valor médio obtido. O índice HLLE e o SP apresentaram valores semelhantes (78,8%). Constatou-se que o sistema de controle dimerizável proporciona um melhor aproveitamento da luz natural se comparado com o sistema liga/desliga, em média 46,7% maior. Além disso, permite aproveitar uma pequena fração (12%) de luz natural que chega no fundo do ambiente. Os índices calculados apresentaram resultados semelhantes ou complementares entre si, isso mostra que embora exista diferença na nomenclatura e no processo de cálculo, os princípios de avaliação são similares, tendo como principal fator os níveis de iluminância gerados pela luz natural aplicados na substituição ou complementação da iluminação artificial.

### ABSTRACT

The objective of this work is to analyze, by simulation, the application of different daylight saving indexes on a rectangular shaped room under the same daylight conditions. The indexes studied are: the Benefit Percentage of Daylight (PALN, in Portuguese), the Daylight Coolness Index (DCI), the Daylight Autonomy (DA), the Relative Requirement of Daylight Exposure Index (HLLE, in Portuguese), the Room Potential (RP) and the System Potential (SP). Illuminance data for simulation represent three sky conditions (clear, clouded and overcast). This data summarize the annual sun path in 7 representative days. Daylight savings estimations were performed for two lighting control systems: an automatic on/off switch and an automatic dimmer control. For the three indexes which consider the daylight contribution (PALN, RP and DA) and with an on/off system, results show a

similar estimation for each room spot and for the average value (within 21%). Although the DCI index can not be compared directly, it also presents a comparable estimation with the average value. The HLL and the SP index show similar daylight savings (78.8%). It was observed that the dimmer control provides a higher daylight saving compared to the on/off system (in average a 46.7% higher). Besides, the dimmer control allows to take advantage of the small fraction (12%) of daylight at the end of the room. In general, results from the calculation of the different indexes were similar. This shows that even if there is a difference in their nomenclature and algorithms, the evaluation principles are similar because they all have as a main saving factor the daylight illuminance level in order to complete or to replace the lighting system.

## 1. INTRODUÇÃO

A partir do século XX, o avanço tecnológico nas áreas de iluminação artificial e condicionamento de ar possibilitou ao homem moderno estabelecer um controle sobre o espaço construído independente das condições ambientais externas. Especialmente na questão da iluminação, a lâmpada elétrica passou a ser vista como a principal fonte de luz para uso nas edificações. Com isso, o aproveitamento da luz natural perdeu espaço. Porém, nas últimas décadas diversos fatores ligados a questões econômicas e sociais em nível mundial têm trazido novamente à tona a importância de considerações ligadas à luz natural durante os projetos arquitetônico e luminotécnico.

Dentre estes fatores pode-se destacar principalmente a questão do aumento do custo da energia e a preocupação ambiental associada aos impactos da produção de energia. Além destes, também a preocupação com as condições humanas relativas ao conforto e saúde do usuário se tornaram relevantes. Atualmente muitos esforços de pesquisas em todo o mundo têm sido realizados, chegando até mesmo em âmbito de cooperação internacional, buscando assim maneiras para melhor compreender e aplicar a luz natural nas edificações, bem como avaliar o seu potencial de aproveitamento.

## 2. OBJETIVO

Aplicar diferentes índices de avaliação do aproveitamento da iluminação natural para um ambiente específico (com formato retangular) mantendo as mesmas condições ambientais, e comparar os valores quantitativos determinados através de cada índice.

## 3. MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE APROVEITAMENTO DA ILUMINAÇÃO NATURAL

A partir da simulação de quatro diferentes geometrias, quatro tipos de vidro e área de janela em quatro localizações nos Estados Unidos, Krarti et al. (2005) propõe um método para o cálculo de economia de energia elétrica com iluminação artificial através do aproveitamento da luz natural chamado de **Percentual de Economia Anual ( $f_D$ )**. Os parâmetros utilizados são  $A_p$  (área perimetral),  $A_w$  (área da janela) e tipo de vidro. Foi realizada verificação, através de dados experimentais, e validação do modelo através de simulação computacional. Através da relação entre a Abertura de iluminação natural (transmitância \*  $A_w/A_p$ ) e a Redução de energia/( $A_p/A_f$ ), são gerados gráficos específicos para cada cidade. Dessa forma, obtém-se a equação da melhor curva de ajuste. Como os coeficientes  $a$  e  $b$  da equação diferem para cada localização geográfica, faz-se necessário realizar as simulações para as cidades de interesse dentro da metodologia proposta.

Brandão (2003) avaliou vários métodos para o cálculo de iluminâncias externas para a cidade de São Paulo. A partir da escolha do método da insolação horária para o cálculo da radiação horária e o modelo de eficácia luminosa de Littefair, foi gerada uma base de dados com frequência de ocorrência dos níveis de iluminação externa para a cidade de São Paulo. O resultado final é um ábaco que relaciona a eficiência desejada (horas) com o **Fator de Luz Diurna (FDL)** mínimo necessário para que se atinjam os níveis de iluminância requeridos para o ambiente estudado. Por exemplo, quando for desejável uma iluminância de 500 lux em um determinado ponto durante 70% das horas do ano, o

FLD deve ser de no mínimo 3,8%. Ou então, se um determinado ponto possui um FDL de 2% e uma iluminância interna de 500 lux é desejável, esse nível será garantido em 30% do tempo.

O **Daylight Autonomy (DA)** ou “autonomia da luz natural”, definido como uma porcentagem das horas ocupadas por ano, nas quais um nível mínimo de iluminância pode ser mantido apenas pela iluminação natural. É um método de análise de desempenho que considera todas as condições de céu através do ano quando o ambiente está ocupado (Reinhart e Morrison, 2003; The Buildings Group, 2005). Este índice depende das necessidades de iluminância do usuário, do perfil de ocupação anual, e da posição das proteções solares das aberturas ao longo do ano. Como o Daylight Autonomy independe do sistema de iluminação artificial instalado e do tipo de controle, um valor alto de Daylight Autonomy não é uma garantia para a economia de energia elétrica devido à iluminação natural. Ou seja, o aproveitamento da luz natural somente será maximizado se existir o controle do sistema de iluminação artificial. Além disto, este índice não permite a identificação daquelas situações onde os níveis de iluminação são excessivamente elevados, podendo provocar efeitos adversos associados ao conforto visual e na carga térmica.

Knoop et al. (1997) apresentam parâmetros para avaliar os sistemas de controle da iluminação, que estão relacionados ao nível de iluminação e ao consumo de energia. O índice percentual chamado de **necessidade relativa de exposição a luz ( $H_{LLE}$ )**, leva em consideração a diferença ( $\Delta E$ ) entre o nível de iluminância medida ( $E_M$ ), o valor ajustado para o sensor ( $E_{set}$ ), e também o período de tempo em que os valores de iluminância não são atingidos. Na questão do consumo de energia dois fatores são estabelecidos, o **potencial da sala (RP)** e o **potencial do sistema (SP)**. O RP descreve os atributos de luz natural do ambiente, e o SP caracteriza a eficácia de um determinado sistema.

O RP é determinado pelo cálculo do valor médio anual da exposição relativa à luz natural utilizável ( $H_{use,A,rel,average}$ ) sobre a área da sala ( $A$ ), escrito como  $H_{use,A,rel,average} = (\iint H_{use,A,rel} dA) / A$ . Já  $H_{use,A,rel}$  é o valor anual da exposição relativa à luz natural, definido como a taxa entre o total anual de exposição à luz natural na sala pela iluminação total requerida, que é calculado pela expressão a seguir (IEA, 2001):  $H_{use,A,rel} = \frac{100[\sum N_i (\int E_p dt)]}{(E_s t_w N_A)}$ , sendo  $N_i$  o número de dias de ocupação por

mês;  $N_a$  é o número de dias de ocupação por ano;  $t_w$  o número de horas de ocupação por dia;  $E_p$  é o valor da iluminância em cada ponto devido a luz natural; e  $E_s$  o valor da iluminância de projeto. Como condições de aplicação da equação acima admite-se  $E_p \leq E_s$ . Para o Caso de  $E_p > E_s$  assume-se  $E_p = E_s$ .

Para determinar o SP é necessária determinação dos valores absolutos de iluminância e a contribuição relativa da luz natural. Primeiro é realizado o cálculo do nível de iluminância a ser mantido pela iluminação artificial ( $E_{artificial}$ ). Para conhecer a contribuição produzida pela iluminação natural é calculada a integral das diferenças entre os valores ajustados do sistema ( $E_{set}$ ) e a iluminância produzida pela luz natural ( $E_{daylight}$ ) sobre um período de tempo. É útil somente definir potenciais do sistema para os intervalos do tempo em que o sistema está realmente trabalhando, ou seja onde  $E_{artificial} > 0$ , então  $SP_i = 100 \frac{1}{t_M} \int \chi(t) dt$ . O SP de um sistema com diversos sensores será então a média aritmética do potencial do sistema para cada sensor.

Os autores do método propõem ajustar o sistema de controle de uma maneira que  $H_{LLE}$  não exceda 4%; também observam que diversas medições mostraram que no caso de um sistema de controle com resposta à luz natural em uma sala de escritórios padrão, o SP normalmente se encontra na faixa de 80% até 90%.

Souza (2003) desenvolveu uma metodologia para o cálculo do **percentual de aproveitamento da luz natural (PALN)** que foi implementada computacionalmente e aplicada em 63 modelos para a cidade de Florianópolis (longitude 48°34' -Oeste; latitude 27°35' – Sul). Os modelos estudados possuem largura fixa de 6m e profundidade variável de 4m a 10m, caracterizados por 3 tipos de iluminação (unilateral, oposta e adjacente) e 3 tipos de janelas (única - WWR = 0,25, dupla - WWR = 0,33 e total

-  $WWR = 0,50$ ). Os modelos foram simulados para 7 datas que representam o ano e para três condições de céu (claro, parcial e encoberto) no programa computacional LUZSOLAR (Claro, 1998), que utiliza o algoritmo da Radiosidade. O percentual de aproveitamento da luz natural (PALN) é a soma do percentual de aproveitamento da luz natural por substituição da iluminação elétrica (PALN<sub>S</sub>) com o percentual de aproveitamento da luz natural por complementação da iluminação elétrica (PALN<sub>C</sub>). A iluminação natural só pode substituir o sistema de iluminação artificial quando a iluminância proporcionada pela primeira for maior ou igual à iluminância de projeto. Para a complementação, a iluminância proporcionada pela luz natural poderá ser utilizada quando for menor que a iluminância de projeto e maior que a iluminância mínima que o sistema artificial poderá fornecer. A parcela de complementação da iluminação artificial só irá existir quando o sistema de controle adotado permitir. Por exemplo, no sistema liga/desliga essa parcela não é possível.

Um aspecto importante da metodologia proposta por Souza (2003) é a divisão do ambiente em zonas de iluminação. Após determinar as iluminâncias de cada parcela do plano de trabalho, identifica-se a iluminância mínima ( $E_{\text{mín}}$ ). Dessa forma, as zonas de iluminação de cada hora simulada terão os seguintes limites:  $E_{\text{mín}}$ ,  $3xE_{\text{mín}}$ ,  $9xE_{\text{mín}}$ ,  $27xE_{\text{mín}}$ ,  $81xE_{\text{mín}}$  e assim sucessivamente até que a iluminância máxima do ambiente seja atingida. Após definir o número de zonas da hora simulada e os limites das mesmas, é atribuído a cada ponto do plano de trabalho a indicação a qual zona a parcela pertence. O resultado é um mapa de distribuição de zonas no qual é atribuído à parcela do plano de trabalho a zona que nela ocorreu com maior frequência. O mapa de zonas de iluminação é como uma impressão digital do ambiente, gerado para as 3 condições de céu (claro, parcial e encoberto). O tamanho da zona dependerá da configuração da abertura, das condições de céu, e do período (mês, dia e hora). Para eliminar níveis de iluminância elevados, devido à incidência de luz direta do sol, as simulações foram refeitas trocando-se o vidro claro ( $T_{\text{VIS}} = 0,86$ ) por um vidro difuso ( $T_{\text{VIS}} = 0,40$ ), sempre que a iluminância média da zona de iluminação ultrapassasse 3000 lux.

O uso de luz natural normalmente está associado com ganhos de calor (radiação solar). Nas situações em que o nível de iluminância é ultrapassado, a quantidade de luz natural desnecessária pode gerar cargas de resfriamento excessivas. Assim, quando a iluminação natural não consegue atender os requerimentos de iluminância de projeto, existe um consumo de energia elétrica para iluminação e quando o nível de iluminação natural ultrapassa estes requisitos, pode estar gerando uma carga térmica de resfriamento desnecessária. Esta relação foi estudada por Arasteh et al. (1986), através de simulações computacionais utilizando o programa DOE 2.1C para um prédio comercial sem proteção solar, modelado em dois casos: um considerando unicamente aberturas verticais (janelas) e outro considerando domus exclusivamente. Para cada modelo foram testadas diferentes características de eficiência para os sistemas de envidraçamento e densidade de carga para iluminação artificial. Os resultados das simulações mostram que na medida em que a luz natural atende os requisitos de iluminação, as cargas de resfriamento aumentam rapidamente.

A partir da análise de resultados foi determinado o **Daylight Coolness Index (DCI)** combinando três fatores que integram as propriedades termofísicas dos sistemas de envidraçamento e os níveis de iluminação, através da expressão  $DCI = Ke'KsKf$ . O valor  $Ke$  define a relação entre a transmitância visível ( $T_v$ ) e o ganho de calor (Shading coefficient – SC), e  $Ke'$  considera os fatores ( $T_{v_m}$  e  $SC_m$ ) que representam as alterações devidas à implementação de um sistema de proteção solar dividido pelo seu valor máximo teórico, para que os valores de  $Ke'$  estejam entre 0 e 1. O fator  $Ks$  Estabelece a relação entre a iluminância num ponto de controle e a iluminância ideal no mesmo ponto. A iluminância ideal acontece quando o fluxo luminoso que atravessa a abertura é distribuído no ambiente todo. Este é função da orientação, geometria do ambiente, geometria da janela, propriedades das paredes, características do vidro. Por sua vez,  $Kf$  determina a relação entre a iluminância útil e o total de iluminância. As duas são medidas no ponto de controle. A iluminância útil é aquela que não ultrapassa o nível de projeto, ajudando a reduzir o consumo de eletricidade para iluminação. Ela é função da geometria da abertura, proteção solar e localização do ponto de controle.

Para obter o aproveitamento real da luz natural é, muitas vezes, necessário considerar o comportamento do usuário de acordo com seu conforto visual, compromisso com economia de energia e distribuição do sistema de iluminação artificial. Assaf e De Wilde (2000) apresentam um

procedimento para medir a contribuição energética da luz natural em edificações. É definido um índice de **Contribuição Energética Efetiva de Luz Natural (CELN)** que integra a resposta do usuário em um ambiente de escritório com potencial de aproveitamento de luz natural durante o horário de serviço. Para um local ocupado e um instante determinado, a CELN representa a relação entre a potência de iluminação desligada ( $P_{si}$ ) devido à contribuição da luz natural e a potência total instalada ( $P_{si} + P_{ei}$ ) no local para iluminação, onde  $P_{ei}$  é potência de iluminação ligada.

Junto com o CELN, existe também a possibilidade que o sistema de iluminação artificial esteja ligado em horas de desocupação do local. Neste caso, é considerado um Desperdício por Fator de Ocupação (Dfo) que é definido como a relação de potência de iluminação ligada ( $P_{ei}$ ) e a potência total instalada ( $P_{si} + P_{ei}$ ) para um instante determinado  $i$  em que o local permanece desocupado. Para destacar a diferença que pode existir entre o potencial máximo de aproveitamento de luz natural e o aproveitamento real, Assaf e De Wilde (2000) apresentam estes índices calculados a partir de medições feitas em prédios públicos comparados com o parâmetro desenvolvido por HUNT (1980), que prevê a probabilidade de ligar o sistema de iluminação a partir de um modelo empírico. Os resultados mostram que CELN calculado a partir do modelo de HUNT é em média, de 27,0%, enquanto o CELN calculado a partir das medições feitas é de 3,96%. Os autores afirmam que este resultado destaca a importância de considerar o acompanhamento do usuário durante todo o tempo de uso do local (não apenas quando o usuário entra na sala), o compromisso do usuário com políticas de conservação de energia, e considerações regionais nos modelos de aproveitamento de luz natural.

## **4. METODOLOGIA DE ANÁLISE**

### **4.1 Considerações gerais**

A metodologia aplicada nesse trabalho será baseada nos procedimentos adotados por Souza (2003). Serão utilizados os dados de iluminância obtidos pelo mesmo autor através de simulação computacional para três condições de céu (claro, parcial e encoberto) e para 7 datas que representam o percurso anual do sol, mês a mês: 22 de dezembro; 28 de janeiro, representativo de 15 de novembro; 28 de fevereiro, representativo de 15 de outubro; 21 de março, representativo de 23 de setembro; 15 de abril, representativo de 30 de agosto; 15 de maio, representativo de 30 de julho; e 22 de junho.

Souza (2003) menciona que muitas vezes a escolha da estratégia de controle apropriada é mais importante que a definição do tamanho e localização das zonas de iluminação. Desta forma, serão realizados os cálculos dos potenciais de economia, de acordo com os métodos escolhidos, para dois sistemas de controle:

- a) Interruptor automático liga/desliga;
- b) Controlador automático dimerizável.

### **4.2 Índices de avaliação selecionados**

A partir da revisão apresentada no item 3, foram escolhidos alguns dos índices de avaliação do aproveitamento da luz natural para serem aplicados a um ambiente específico:

- a) Percentual de Aproveitamento da luz Natural (PALN);
- b) Daylight Coolness Index (DCI);
- c) Daylight Autonomy (DA);
- d) Índice de Necessidade Relativa de Exposição à Luz (HLLE);
- e) Potencial da Sala (RP);
- f) Potencial do Sistema (SP).

Esses índices foram escolhidos em detrimento aos demais, uma vez que os métodos de cálculos utilizados estão diretamente relacionados a valores de iluminância interna. Além disso, eles são independentes do fator humano e de constantes de correlação.

### 4.3 Características do ambiente escolhido

A aplicação dos índices será realizada em um modelo com características pré-definidas conforme proposto por Souza (2003). Este modelo possui 6 metros de largura e 8 metros de profundidade. A janela é total e unilateral e a fachada principal está voltada para a orientação norte (Figura 1).

Para as refletâncias internas foram adotados os seguintes valores: 20% para o piso; 50% para as paredes e 70% para o teto. A iluminância de projeto foi definida em sendo igual a 500 lux e o período de ocupação estabelecido compreende o intervalo das 8h às 18h.

O ambiente foi dividido em quatro zonas de iluminação, de acordo com a metodologia proposta por Souza (2003). A Figura 2 apresenta as zonas de iluminação: a zona 1, mais próxima à janela, e a zona 2 possuem 1,6m de profundidade. A zona 3 e a zona 4 possuem respectivamente 2,0m e 2,8m de profundidade. Cada uma das zonas ocupa um determinado percentual da área do ambiente (20%, 20%, 25% e 35%, respectivamente).

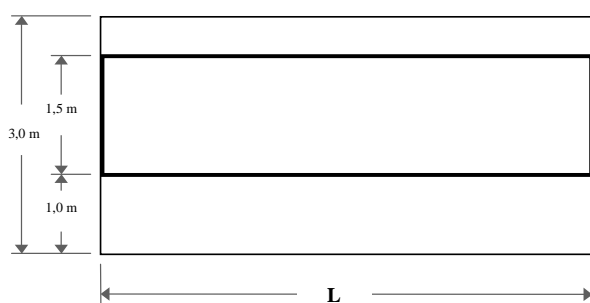


Figura 1. Modelo com janela total e unilateral (Souza, 2003).

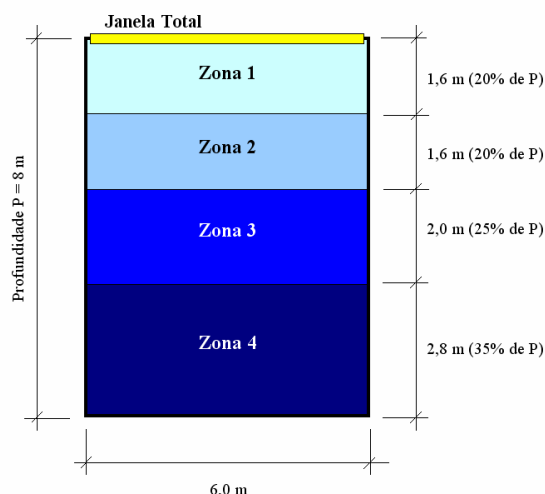


Figura 2. Divisão do ambiente em zonas de iluminação (Souza, 2003).

### 4.4 Considerações de cálculo

Após o cálculo dos índices para cada zona, será realizada uma ponderação dos valores obtidos em função da ocorrência do tipo de céu (claro, encoberto e parcial) e em função da área de cada zona. O cálculo do índice ponderado pela ocorrência do tipo de céu é apresentado na eq. [1]:

$$\hat{Índice}_P = [(\hat{Índice}_{CC} \cdot \rho_{CC}) + (\hat{Índice}_{CP} \cdot \rho_{CP}) + (\hat{Índice}_{CE} \cdot \rho_{CE})] \quad \text{eq. [1]}$$

Onde:

$\hat{Índice}_{CC}$  é o valor calculado usando o tipo de céu claro;

$\hat{Índice}_{CP}$  é o valor calculado usando o tipo de céu parcialmente encoberto;

$\hat{Índice}_{CE}$  é o valor calculado usando o tipo de céu encoberto;

$\rho_{CC}$  é a probabilidade de ocorrência de céu claro;

$\rho_{CP}$  é a probabilidade de ocorrência de céu parcialmente encoberto;

$\rho_{CE}$  é a probabilidade de ocorrência de céu encoberto.

O somatório das probabilidades de ocorrência de cada tipo de céu é 1, ou seja,  $\rho_{CC} + \rho_{CP} + \rho_{CE} = 1,0$ .

Os resultados serão apresentados como um valor anual, que será calculado como a média aritmética dos valores obtidos para os diferentes meses do ano, conforme a eq. [2].

$$\hat{Índice}_{P-Anual} = \frac{\sum_{1}^{12} \hat{Índice}_{P-MENSAL}}{12} \quad \text{eq. [2]}$$

O valor final dos índices, considerado o valor anual do índice para o ambiente, leva em consideração a área de cada zona. Ou seja, é a média ponderada do índice calculado para cada zona pela área da zona, como mostra a eq. [3].

$$\hat{Índice}_{SALA} = \frac{[(\hat{Índice}_{P-ANUAL-1} \cdot A_1) + (\hat{Índice}_{P-ANUAL-2} \cdot A_2) + \dots + (\hat{Índice}_{P-ANUAL-n} \cdot A_n)]}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad \text{eq. [3]}$$

Onde:

$\hat{Índice}_{P-ANUAL-1}$ ,  $\hat{Índice}_{P-ANUAL-2}$  e  $\hat{Índice}_{P-ANUAL-n}$  são os percentuais de aproveitamento da luz natural anual ponderados de cada zona;

$A_1$ ,  $A_2$  e  $A_n$  são as áreas de cada zona de iluminação que somadas representam a área total do modelo.

Especificamente para o cálculo do DCI (Daylight Coolness Index) atribuiu-se o valor 1 para o Coeficiente de sombreamento do vidro.

Para o cálculo dos índices com estratégia de controle dimerizável, considerou-se um sistema ideal, ou seja, este sistema complementa o valor da iluminância produzida pela luz natural até que seja atingido o valor da iluminância de projeto. Esta suposição representa um controlador de diminuição contínua do fluxo luminoso, variando entre um de um limite mínimo de fluxo igual a zero (quando não há necessidade de complementar a luz natural o sistema artificial é desligado) até um limite máximo de fluxo luminoso que atenda a iluminância de projeto (quando não há nenhuma contribuição da luz natural).

## 5. RESULTADOS

A seguir são apresentados os resultados obtidos a partir aplicação dos índices selecionados no item 4.2 para avaliar o aproveitamento de luz natural na sala em função dos sistemas liga/desliga e dimerizável. É importante ressaltar que enquanto PALN, HLL, RP E SP estão associados ao sistema de controle, DCI e o DA não consideram o tipo de sistema de controle, embora basicamente o DA represente uma situação de sistema liga/desliga. Apesar disso, os resultados calculados para DA e DCI serão enquadrados juntamente com os demais valores apresentados no item 5.1.

### 5.1 Resultados para o sistema liga/desliga

A Tabela 1 apresenta as médias anuais para cada índice considerando o sistema de controle liga/desliga. Observa-se que os 3 índices que caracterizam o potencial de contribuição de luz natural (PALN, RP, DA) apresentam um resultado semelhante em cada zona e também para em relação ao valor médio da sala (próximo de 21%). O valor do DCI, embora não possa ser comparado diretamente, também se encontra próximo ao valor médio observado nos 3 índices citados anteriormente.

O índice HLLE e o SP embora apresentem valores semelhantes (78,8%), diferem no fato de que o primeiro descreve atributos de necessidades visuais e o outro de necessidade energética. O índice HLLE descreve o requerimento de luz natural no ambiente, sendo assim seu valor representa o complemento dos resultados do PALN, RP, DA.

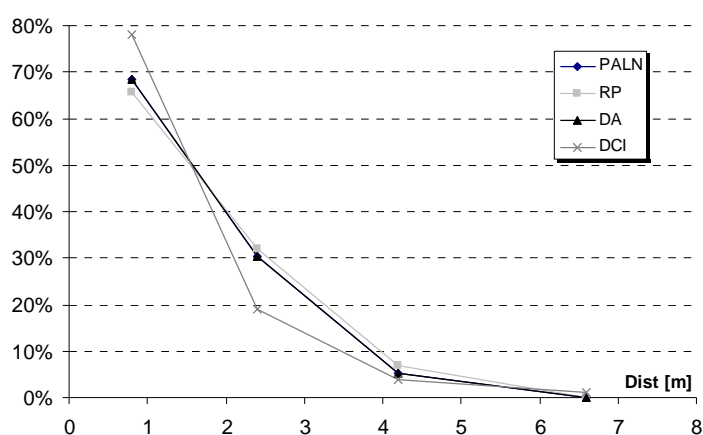
**Tabela 1 – Médias anuais da avaliação do aproveitamento da luz natural (sistema liga/desliga)**

Zona	PALN	HLLE	RP	SP	DA	DCI	(100% - HLLE)	(100% - SP)
1	68,5%	34,2%	65,8%	34,2%	68,5%	78,0%	65,8%	65,8%
2	30,3%	68,1%	31,9%	68,1%	30,3%	19,0%	31,9%	31,9%
3	5,3%	93,2%	6,8%	93,2%	5,3%	4,0%	6,8%	6,8%
4	0,0%	100,0%	0,0%	100,0%	0,0%	1,0%	0,0%	0,0%
<b>Total</b>	<b>21,1%</b>	<b>78,8%</b>	<b>21,2%</b>	<b>78,8%</b>	<b>21,1%</b>	<b>20,8%</b>	<b>21,2%</b>	<b>21,2%</b>

As diferenças observadas entre cada índice (PALN, RP, DA, DCI) podem ser explicadas pelas considerações de cálculo específicas de cada um deles. Porém, a pequena variação entre um índice e outro indica que essas características têm um impacto menor comparado com os níveis de iluminância atendidos pela luz natural (parâmetro comum para os quatro índices). Assim por exemplo, especificamente para o caso aqui analisado, a influencia do ganho de calor através da janela (e aumento das cargas térmicas de resfriamento) não aparece como um fator relevante no resultado do DCI.

Na Tabela 1 é possível observar também que o valor dos índices (PALN, RP, DA, DCI), nas quatro zonas que formam o ambiente, diminui conforme a distância da janela aumenta. Na área mais próxima da janela (zona 1), o índice de aproveitamento de luz natural varia de 65,8% a 78,0%; enquanto na região mais distante da janela (zona 4) o aproveitamento é praticamente nulo.

A Figura 3 apresenta um gráfico da variação do percentual de aproveitamento de luz natural ao longo da profundidade da sala. Observa-se que a redução da contribuição de luz natural não apresenta um comportamento linear em função da distância à janela. A maior redução acontece entre a zona 1 e a zona 2 (42,3% em média). Entre a zona 2 e a zona 3 a perda é de 22,5% e entre a zona 3 e a zona 4 a perda é de 5,1%.



**Figura 3– Contribuição de luz natural ao longo da profundidade da sala no sistema liga/desliga.**

## 5.2 Resultados para o sistema dimerizável

A Tabela 2 apresenta as médias anuais calculadas para cada índice considerando um controle dimerizável no sistema de iluminação artificial. Nela são apresentados apenas os índices que podem ser associados a este tipo de sistema de controle (PALN, HLLE, RP e SP).

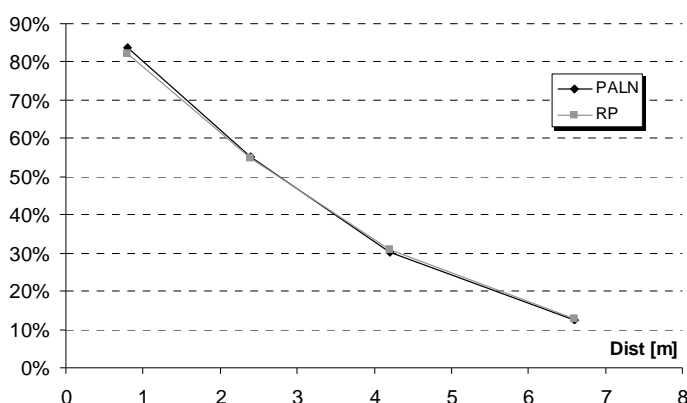


**Tabela 2 – Médias anuais da avaliação do aproveitamento da luz natural (sistema dimerizável)**

Zona	PALN	HLLE	RP	SP	(100% - HLLE)	(100% - SP)
1	83,6%	18,0%	82,0%	18,0%	82,0%	82,0%
2	55,3%	45,2%	54,8%	45,2%	54,8%	54,8%
3	30,1%	69,0%	31,0%	69,0%	31,0%	31,0%
4	12,4%	87,1%	12,9%	87,1%	12,9%	12,9%
<b>Total</b>	<b>39,7%</b>	<b>60,4%</b>	<b>39,6%</b>	<b>60,4%</b>	<b>39,6%</b>	<b>39,6%</b>

Comparando os valores da Tabela 1 com a Tabela 2 observa-se que o sistema dimerizável proporciona um melhor aproveitamento da luz natural se comparado com o sistema liga/desliga, em média 46,7% maior. Observa-se também na Tabela 2 que os índices (PALN-RP e HLLE-SP, respectivamente) apresentam valores semelhantes tanto nas médias anuais totais como por zonas.

Analisando a redução da contribuição de luz natural em função da distância da janela, observa-se uma tendência mais próxima a linear (Figura 4) se comparado com a situação de sistema liga/desliga. Além disso, o uso do sistema dimerizável permite aproveitar uma pequena fração (12%) de luz natural que chega no fundo do ambiente.



**Figura 4 - Contribuição de luz natural ao longo da profundidade da sala no sistema dimerizável.**

## 6. CONCLUSÕES E DISCUSSÕES

Neste trabalho foram apresentados diferentes índices que permitem a verificação do potencial de aproveitamento da luz natural no ambiente construído. Através deles é possível estimar a economia de energia elétrica em função da redução do uso da iluminação artificial. Porém, na metodologia desenvolvida para calcular estes índices, observou-se que a principal dificuldade para aplicação dos métodos é a determinação dos dados de iluminância interna devido à luz natural em diferentes pontos do ambiente. Isto requer uma quantidade significativa de recursos no caso de medições em campo ou de um modelo detalhado no caso de simulações computacionais.

Os resultados apresentados resumem as médias anuais para cada índice. É necessário ressaltar que estes valores não representam a distribuição de iluminância no ambiente ao longo do ano. Assim, os resultados das médias anuais servem como uma informação quantitativa ao projetista sobre o potencial de aproveitamento de luz natural que pode ser atingido de acordo com a geometria do ambiente, sistema de controle utilizado e condições locais.

Os índices calculados apresentaram resultados semelhantes ou complementares entre si, isso mostra que embora exista diferença na nomenclatura e no processo de cálculo os princípios de avaliação são similares, tendo como principal fator os níveis de iluminância gerados pela luz natural aplicados na substituição ou complementação da iluminação artificial.

## REFERÊNCIAS

- ARASTEH, D.; JOHNSON, R.; SELKOWITZ, S. Definition and use of a daylight “coolness” index. In: International Daylighting Conference, 1986, Long Beach, CA. **Proceedings...** Long Beach: 1988.
- ASSAF, L.; DE WILDE, M.I. Un procedimiento para mensurar la contribución energética efectiva del alumbrado natural en edificios. Congresso Panamericano sobre Iluminação, V, 2000, São Paulo, SP. **Anais...** São Paulo: LUXAMERICA, 2000.
- SOUZA, M. **Potencial de Aproveitamento da Luz Natural através da Utilização de Sistemas Automáticos de Controle para Redução do Consumo de Energia Elétrica.** 2003. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção e Sistemas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.
- BRANDÃO, R. S. Disponibilidade de luz natural: Avaliação de métodos para cálculos das iluminâncias externas. In: Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído, VII, 2003, Curitiba. **Anais...** Curitiba: ENCAC, 2003. p.575 - 582.
- CLARO, Anderson. **Modelo vetorial esférico para radiosidade aplicado à iluminação natural.** Tese (Doutorado em Engenharia de Produção e Sistemas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.
- HUNT, D.R.G. Predicting daylight use – a behavioral approach. **Lighting Research and Technology**, 1980.
- IEA (International Energy Agency), **Task 21, Subtask B, Application guide for daylight responsive lighting control.** Daylight in Buildings, 2001 Disponível em: <<http://www.iea-shc.org>>. Acesso em: dezembro 2005
- KNOOP T.; EHLING K.; AYDINLI S.; KAASE H. Investigation of daylight redirecting systems and daylight responsive lighting control systems. TU Berlin, Einsteinufer 19, sekr. EG, D-10587 Berlin, Germany, **Right Light**, Volume 2, 1997
- KRARTI, M.; ERICKSON, P. M.; HILLMAN, T. C. A simplified method to estimate energy savings of artificial lighting use from daylighting. **Building and Environment**, v. 40, p. 747-754, 2005.
- REINHART, C. F.; MORRISON, M. The lightswitch wizard – reliable daylight simulations for initial design investigation. In: Buildings Simulation, 2003, Eindhoven, The Netherlands. **Proceedings...** Eindhoven: BS, 2003. Vol. III. p.1093-1100.
- THE BUILDINGS GROUP. **Lightswitch Wizard** . Disponível em: <<http://www.buildwiz.com/lightswitch>> Acesso em: dezembro 2005.