



ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE O RTQ-C E A ASHRAE 90.1 PARA AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO

**Rovy P. P. Ferreira (1); Gustavo P. Fontes (2); Greici Ramos (3); Roberto
Lamberts (4)**

(1) Acadêmico de Arquitetura e Urbanismo, rovy@labeee.ufsc.br

(2) Acadêmico de Arquitetura e Urbanismo, gugapfontes@labeee.ufsc.br

(3) Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, greici@labeee.ufsc.br

(4) PhD, Professor do Departamento de Engenharia Civil, lamberts@labeee.ufsc.br

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil, Laboratório de Eficiência
Energética em Edificações, Cx Postal 476, Florianópolis-SC, 88040-900, Tel.: (48) 3721 5184

RESUMO

Este artigo procura comparar o método de avaliação da eficiência energética de sistemas luminotécnicos do Regulamento Técnico da Qualidade em Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos com o método apresentado na norma Estadunidense ASHRAE 90.1. Procura-se ressaltar as vantagens e desvantagens de ambos os procedimentos, esclarecendo as diferenças entre cada metodologia. Será estudado o processo de elaboração do método de avaliação do RTQ-C e as limitações encontradas em sua aplicação, com o objetivo de identificar os fatores que causam tais dificuldades. A norma ASHRAE 90.1 será examinada com enfoque nos seus aspectos complementares ao RTQ-C, ressaltando as vantagens que sua aplicação apresenta. Observa-se que projetos utilizando luminárias com aletas ou herméticas atingem níveis de eficiência demasiadamente baixos quando avaliados pelo método do RTQ-C, mesmo usando os melhores equipamentos da categoria. Algumas limitações prejudicam a aplicação deste método, como a impossibilidade de avaliar ambientes com diferentes tipos de luminárias. Além do mais, enfrenta-se certa dificuldade ao solicitar os dados necessários para a avaliação. Conclui-se que o método utilizado no Regulamento Técnico da Qualidade apresenta incompatibilidades com a realidade do processo de elaboração de projetos luminotécnicos. Limitando-se a um único método de análise, a avaliação da eficiência energética de sistemas luminotécnicos se revela em certos casos inadaptada ao conferir níveis muito baixos à projetos especiais. Por outro lado, os limites de Densidade de Potência de Iluminação para cada ambiente da ASHRAE 90.1 permitem considerar os equipamentos e os níveis de iluminância específicos para cada atividade.

Palavras chaves: eficiência energética, iluminação artificial, Regulamento Técnico da Qualidade, ASHRAE 90.1

1. INTRODUÇÃO

Num contexto mundial de interesse crescente nas energias renováveis e no consumo responsável desses recursos, se fortalecem em diversos países políticas de conservação de energia. O Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) é uma iniciativa do Ministério de Minas e Energia em conjunto com a Eletrobrás, através do PROCEL EDIFICA e desenvolvida pelo LabEEE, para ajudar a reduzir o consumo energético no Brasil. Nos Estados Unidos, a norma vigente que regulamenta os gastos energéticos em edifícios comerciais e públicos é a ASHRAE 90.1 (*American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers - Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings*).

Os edifícios comerciais e públicos gastam juntos 22,7 % da energia elétrica utilizada no Brasil (BEN, 2007), sendo que 22% dessa energia é dedicada à iluminação desses edifícios (CORREIA, 2007^a). Admite-se então a necessidade de oferecer uma maior eficiência energética a projetos de iluminação artificial, sem no entanto sacrificar as qualidades de conforto na iluminação dos ambientes. O método de avaliação do RTQ-C classifica os projetos em função de sua eficiência energética em níveis indo de A a E, sendo A o mais eficiente e E o menos eficiente. Já na ASHRAE 90.1, existe um limite de potência instalada por metro quadrado que precisa ser atingido para atender a norma, sem classificação em níveis.

Para comparar ambos os métodos de avaliação, foram analisados os métodos de elaboração, e foram modelados ambientes testes para serem analisados em função dos procedimentos de avaliação da eficiência energética de sistemas de iluminação.

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é comparar o método de avaliação da eficiência energética de sistemas de iluminação do RTQ-C com o da norma ASHRAE 90.1.

3. REVISÃO METODOLÓGICA

3.1. O método de avaliação do Regulamento

O método de avaliação do desempenho energético de sistemas de iluminação pelo RTQ-C consiste em determinar a densidade de potência de iluminação relativa final (DPI_{RF}) de determinado projeto luminotécnico e compará-la a limites pré-estabelecidos de densidades de potência de iluminação relativa (DPI_{RL}). Os limites são específicos para diferentes índices de ambiente K e níveis de eficiência. Existem cinco níveis de eficiência, indo de A para o sistema mais eficiente a E para o menos eficiente.

A avaliação se baseia no método dos lumens ou método dos fluxos, que permite dimensionar um projeto luminotécnico a partir de cálculos manuais simples. A precisão obtida com este método é relativamente baixa. Os dados obtidos se referem a projetos de iluminação geral distribuída iluminando um plano de trabalho horizontal que corresponde à área do ambiente. Supõe-se que as luminárias estejam dispostas uniformemente pelo recinto. O índice de ambiente K corresponde às características geométricas do recinto que irão influenciar a propagação da luz através do ambiente. Ele é calculado segundo a equação:

$$K = \frac{\sum (A_{teto} + A_{pl.\text{trabalho}})}{\sum A_{paredes}} \quad \text{Equação 1}$$

O índice do ambiente será cruzado com as refletâncias de teto, paredes e piso para determinar o fator de utilização (Fu) das luminárias utilizadas no projeto. O DPI_{RL} para cada nível de eficiência também será definido em função do valor do K (tabela 2). O Fu permite avaliar a eficiência luminosa da luminária e do recinto, desempenhando um papel fundamental na determinação do nível de eficiência energética.

Com o método dos lumens avalia-se a quantidade de luz fornecida por uma determinada fonte de iluminação e sua incidência no plano de trabalho em um ambiente considerado como fechado e com uma determinada refletância. É preciso dispor de diversas especificações técnicas de lâmpadas, luminárias e dos reatores para efetuar os cálculos necessários à determinação do nível de eficiência do sistema de iluminação:

Para as lâmpadas:

- Tipo de lâmpada
- Potência;
- Fluxo luminoso;

Para as luminárias:

- Tipo de luminária (número de lâmpadas por luminária);
- Tabela com fatores de utilização;

Para os reatores:

- Tipo de reator;
- Potência total do sistema com reator.

Além do mais, outros dados referentes ao projeto são requeridos, como o índice de ambiente K, as refletâncias de teto, chão e parede e o fator de depreciação – cujo valor é de 0,80 pelo RTQ-C.

A avaliação de cada sistema é realizada a partir da potência instalada por m² para fornecer 100lux de iluminância (densidade de potência de iluminação relativa DPI_R , em W/m².100lux). A adoção desta unidade permite aplicar o mesmo método e usar os mesmos limites de DPI_R em ambientes diferentes independente do uso e da iluminância necessária para realizar determinada atividade. Ao analisar a equação para cálculo do DPI_{RF} , é possível simplificar-la e obter uma equação mais concisa.

$$DPI_{RF} = DPI \cdot \frac{100}{E_F}$$

Equação 2

Onde:

A, área de piso do ambiente (m²);
 DPI_{RF} , densidade de potência de iluminação relativa final (W/m².100lx);

$$DPI = \frac{N \cdot P}{A}$$

Equação 3

DPI, densidade de potência de iluminação absoluta (W/m²);

$$E_i = \frac{N \cdot \Phi \cdot F_u}{A}$$

Equação 4

E_i , iluminância inicial (lx);

$$E_f = E_i \cdot F_d = \frac{N \cdot \Phi \cdot F_u \cdot F_d}{A}$$

Equação 5

E_f , iluminância final (lx);

E_p , iluminância de projeto (lx);

F_d , fator de depreciação;

F_u , fator de utilização da luminária (catálogo);

N, número de luminárias;

P, potência do sistema de iluminação;

Φ , fluxo luminoso da lâmpada (catálogo).

$$DPI_{RF} = \frac{N \cdot P}{A} \cdot \frac{100 \cdot A}{N \cdot \Phi \cdot F_u \cdot F_d}$$

$$DPI_{RF} = \frac{100 \cdot P}{\Phi \cdot F_u \cdot F_d}$$

Equação 6

Segundo a equação 5, as variáveis que definem o DPI_{RF} são a potência P, o fluxo luminoso do kit de iluminação utilizado Φ , o fator de utilização F_u e o fator de depreciação F_d . A área do ambiente e o numero de luminárias não aparecem no calculo simplificado.

Para elaborar os limites de densidade de potência de iluminação relativa foram testados diversos conjuntos de lâmpadas, luminárias e reatores que foram avaliados em função da eficiência energética

atingida e do custo de implantação. As DPI_{RL} foram estabelecidas a partir de ambientes com 70% de refletâncias para o teto, 50% para as paredes e 10% para o piso. Quatro conjuntos de equipamentos com desempenhos diferentes foram escolhidos.

Tabela 1 - Sistemas utilizados

Equipamento	A	B	C	D
Luminária	Com refletor e aletas	Com refletor	Sem refletor	Sem refletor
Lâmpada	28W 2900lm	32W 2700lm	32W 2700lm	40W 2600lm
Reator	Eletrônico perda de 6W	Eletrônico perda de 6W	Eletromagnético perda de 12,5W	Eletromagnético perda de 15W
Potência total (W)	62,00	70,00	76,50	95,00
Eficiência Energética (lm/W)	93,55	77,14	70,59	54,74
Fator de utilização para $K=0,60$	0,47	0,34	0,33	0,33

As DPI_{RL} para cada nível correspondem a um determinado tipo de sistema luminotécnico para cada nível de eficiência, na medida em que os equipamentos estão classificados em ordem decrescente de eficiência energética e de fatores de utilização no caso escolhido. Sendo o sistema A o mais eficiente, este foi usado para determinar os limites para o nível A. Os limites do nível B provêm dos resultados obtidos com o sistema B, o nível C com o sistema C e o nível D com o sistema D.

Observa-se que tanto a potência total quanto a eficiência energética dos sistemas B e C são mais próximas, e que os fatores de utilização dos sistemas B, C e D são praticamente semelhantes. Na medida em que as diferenças de potência, de eficiência energética e de fatores de utilização entre cada sistema não são proporcionais, o método não irá apresentar uma completa regularidade entre os diferentes níveis de eficiência.

Tabela 2 –Limites máximos de densidade de potência de iluminação relativa (DPI_{RL}) para o nível pretendido.

Índice de ambiente (K)	Densidade de Potência de Iluminação relativa W/m ² /100lux (Nível A)	Densidade de Potência de Iluminação relativa W/m ² /100lux (Nível B)	Densidade de Potência de Iluminação relativa W/m ² /100lux (Nível C)	Densidade de Potência de Iluminação relativa W/m ² /100lux (Nível D)
0,60	2,84	4,77	5,37	6,92
1,00	2,27	3,38	3,77	4,86
2,50	1,83	2,38	2,57	3,31
4,00	1,73	2,16	2,33	3,00
5,00	1,71	2,09	2,24	2,89

Os DPI_{RL} foram estabelecidos a partir de diversas luminárias e compilados em uma única tabela, com limites que variam em função do K (que vai de 0,60 a 5) e em função do nível de eficiência. Essa tabela é válida para todos os projetos luminotécnicos, independente do tipo de luminária, na medida em que é analisada a densidade de potência de iluminação para produzir 100 lux.

3.2. O método de avaliação da ASHRAE 90.1

A norma ASHRAE 90.1 apresenta dois modos diferentes de avaliação, ambos baseados na análise da Densidade de Potência de Iluminação (DPI). No primeiro método, da área do edifício (*building area method*), é preciso considerar a DPI da edificação como um todo. Já no método por ambiente (*space by space method*), considera-se a densidade de potência de iluminação de cada ambiente separadamente.

As densidades de potência de iluminação são calculadas usando o método dos lumens, o que requer informações similares às necessárias para avaliação pelo método do Regulamento. Será então preciso conhecer as características do sistema de iluminação como a potência das lâmpadas e do reator e o fator de utilização das luminárias. Entretanto, o fator de depreciação é determinado de forma diferente; são combinados os fatores de depreciação de poeira de superfície (*room surface dirt depreciation*), de poeira de luminária (*luminaire dirt depreciation*) e o fator de fluxo luminoso (*lamp lumen depreciation*) em um fator de perda total (*light loss factor*) que varia entre 0,55 e 0,74, permanecendo sempre inferior ao valor de 0,80 usado no Regulamento.

Para garantir a coerência com a prática real de projeto de iluminação, os sistemas são projetados em conjunto com um grupo de profissionais especializados (RICHMAN, JONES & LINDSLEY, 1998) Cada tipo de ambiente é dimensionado de acordo com aplicações reais, obtendo-se então exemplos com dimensões e características representativas dos ambientes geralmente projetados. Classificam-se os ambientes segundo o índice de ambiente K, considerando certa regularidade nas dimensões de ambientes de mesmo uso. As três categorias são para índices de ambiente até 0,5, de 0,5 a 1,4 e acima de 1,4. Outra característica definida em conjunto com projetistas profissionais é o tipo de sistema de iluminação utilizado. O nível de iluminância (e portanto de potência instalada) é dividido em porcentagem segundo diversos sistemas de iluminação. São escolhidos três sistemas diferentes para cada ambiente, com iluminação geral e de tarefa, para que os níveis sejam compatíveis com a grande variedade de possibilidades de projeto.

4. METODOLOGIA

Para evidenciar as diferenças de análise dos dois procedimentos de avaliação da eficiência energética, diversos ambientes foram elaborados para comparar o nível de eficiência atingido pelo projeto luminotécnico usando o método do RTQ-C à conformidade com a norma ASHRAE 90.1. Para cada ambiente foram testados diversos sistemas de iluminação, de acordo com os equipamentos disponíveis no mercado. Foram escolhidas duas categorias de uso com quatro ambientes distintos modelados para cada uso, modificando em cada caso o projeto luminotécnico de acordo com os equipamentos usados nesses casos específicos. Para cada uso foram então testados quatro sistemas de iluminação, muitas vezes semelhantes, para garantir a compatibilidade com o que se encontra no mercado. Os projetos foram elaborados a partir do método dos lumens, com um único tipo de luminária para cada ambiente, e com refletâncias de 70% para as paredes, 50% para o teto e 10% para o piso.

Os primeiros ambientes são escritórios em planta livre, situação comum em edifícios avaliados, e são no presente caso nomeados EPL1, EPL2, EPL3 e EPL4 na tabela 3. Por serem em planta livre, os índices de ambiente apresentam valores altos. Os testes foram elaborados com luminárias sem aletas para os ambientes EPL1 e EPL2, as mais eficientes, e com aletas, para garantir o conforto dos usuários pela redução do ofuscamento que luminárias sem aletas produzem. Os modelos escolhidos apresentam uma boa eficiência, com fatores de utilização relativamente elevados. As lâmpadas usadas são de 32W ou de 28W, ambas com 2900 lumens de fluxo luminoso, configurando respectivamente o caso mais comum de ser encontrado e a opção mais eficiente. A iluminância de projeto foi fixada em 500 lux, segundo a NBR5413. Os limites que irão definir o nível de eficiência segundo o RTQ-C são os DPI_{RL} da tabela 2. Segundo a norma ASHRAE, atinge-se um satisfatório nível de eficiência energética abaixo de 10,5 W/m² em ambientes de escritórios.

Os ambientes seguintes são quartos de hospitais, nomeados QH1, QH2, QH3 e QH4, e apresentam índices de ambiente médios. Nos casos testados, admitiu-se a necessidade de usar equipamentos específicos ao uso do ambiente, empregando por uma questão de higiene luminárias herméticas. Os fatores de utilização, mais baixos que nos ambientes de escritório, são característicos deste tipo de luminárias. Luminárias sem aletas também foram testadas nos ambientes QH1 e QH2. Foram empregadas as mesmas lâmpadas e as mesmas refletâncias dos casos precedentes para todas as luminárias, variando entre 32W e 28W em função do ambiente. As iluminâncias de projeto consideradas são de 150 lux. O nível de eficiência energética será aqui também definido pela tabela 2

para o RTQ-C, enquanto a ASHRAE estipula um valor de DPI Maximo diferente, equivalente a 6,7 W/m² para quartos de hospital.

Um ambiente de banheiro foi modelado, necessitando de somente uma única luminária. O modelo utilizado não possui aletas e comporta duas lâmpadas de 28W com 2900 lumens de fluxo luminoso.

Além da elaboração de projetos luminotécnicos pelo método dos lumens, estuda-se as variáveis utilizadas pelo programa DIALux através do assistente DIALux Light. Sendo este um programa computacional de uso profissional para projetos luminotécnicos, as variáveis são então comparadas com as definidas no RTQ-C.

Tabela 3– características dos ambientes testados e dos sistemas de iluminação utilizados

Ambiente	Luminária	Dimensões (m)	A (m ²)	K	Pot. total (W)	Fu	Refl.	Φ lamp (lm)	Ep (lux)
EPL1	Com aletas (2x32W)	22,0X14,0	308,0	3,98	65,0	0,72	751	2900	500
	Sem aletas (2x32W)				65,0	0,81		2900	
EPL2	Com aletas (2x28W)	15,0X12,0	180,0	3,10	63,0	0,72	751	2900	500
	Sem aletas (2x28W)				63,0	0,81		2900	
EPL3	Com aletas (2x28W)	15,0X15,0	225,0	3,49	63,0	0,68	751	2900	500
EPL4	Com aletas (2x32W)	22,0X23,0	506,0	5,23	65,0	0,73	751	2900	500
QH1	Hermética (2x32W)	6,0X4,0	24,0	1,12	65,0	0,51	751	2900	150
	Sem aletas (2x28W)				63,0	0,68		2900	
QH2	Hermética (2x28W)	5,0X7,0	42,0	1,50	63,0	0,42	751	2900	150
	Sem aletas (2x28W)				63,0	0,65		2900	
QH3	Hermética (2x28W)	6,0X5,0	30,0	1,27	63,0	0,37	751	2900	150
QH4	Hermética (2x28W)	3,5X5,5	19,25	0,99	63,0	0,32	751	2900	150
Banheiro	Sem aletas (2x28W)	2,5X2,0	5,0	0,6	63,0	0,54	751	2900	150

5. RESULTADOS

Foram analisadas as densidades de potência de iluminação absoluta DPI para verificar a conformidade com a norma ASHRAE 90.1 e as densidades de potência de iluminação relativas finais para estabelecer o nível de eficiência atingido pelo RTQ-C.

Tabela 4– densidades de potência de iluminação obtidas e conformidade com a norma ASHRAE e o RTQ-C

Ambiente	Luminária	Ei (lux)	Ef (lux)	Ashrae 90.1		RTQ-C	
				DPI _{FIN} (W/m ²)	DPI _{LIMITE} (W/m ²)	DPI _{RF} (W/m ² .100lux)	Nível Eficiência
EPL1	Com aletas (2x32W)	637,25	509,80	9,9	10,5	1,95	B
	Sem aletas (2x32W)	625,38	500,3	8,7	10,5	1,72	A
EPL2	Com aletas (2x28W)	626,40	501,12	9,5	10,5	1,89	B
	Sem aletas (2x28W)	626,40	501,12	8,4	10,5	1,67	A
EPL3	Com aletas (2x28W)	631,04	504,83	10,1	10,5	2,00	B
EPL4	Com aletas (2x32W)	627,57	502,06	9,6	10,5	1,92	B
QH1	Hermética (2x32W)	246,50	197,20	5,4	6,7	2,75	B
	Sem aletas (2x28W)	328,67	262,93	4,8	6,7	1,80	A
QH2	Hermética (2x28W)	232,00	185,60	6,0	6,7	3,23	D
	Sem aletas (2x28W)	195,84	156,67	3,3	6,7	2,10	A
QH3	Hermética (2x28W)	214,60	171,68	6,3	6,7	3,67	D
QH4	Hermética (2x28W)	192,83	154,26	6,5	6,7	4,24	D
Banheiro	Sem aletas (2x28W)	626,4	501,1	12,6	10,5	2,51	A

Os resultados dos testes evidenciam algumas diferenças entre os métodos na avaliação da eficiência energética dos ambientes testados. Nos ambientes de escritório, as DPI_{RF} são superiores às DPI_{RL} para o nível A do Regulamento quando se usa luminárias com aletas. Consequentemente, nenhuma dessas configurações chega ao nível A, permanecendo no nível B apesar dos elevados índices de ambiente, como visto nos ambientes EPL1, EPL2, EPL3 e EPL4. Entretanto, nos testes onde foram empregadas luminárias sem aletas consegue-se alcançar o nível A de eficiência energética (ambientes EPL1 e EPL2). Nota-se que os fatores de utilização são significativamente maiores para as luminárias sem aletas, passando em ambos os casos de 0,72 a 0,81, o que explica os maiores níveis de eficiência atingidos.

Se tomarmos como referência os critérios de avaliação da ASHRAE 90.1, nota-se que os mesmos ambientes e equipamentos atendem todos aos critérios de eficiência energética. As densidades de potência de iluminação atingidas estão todas abaixo do nível estipulado pela norma estadunidense, de 10,5 W/m², independente do modelo de luminária testado. As luminárias com aletas atingem DPI superiores: de 9,5 W/m² para o ambiente EPL2 a 10,1 W/m² para o ambiente EPL3. As luminárias sem aletas atingem DPIS inferiores de 8,4 W/m² e 8,7 W/m² nos ambientes EPL2 e EPL1, mas não há nesse caso classificação entre a eficiência dos ambientes, fazendo com que todos os ambientes estejam em conformidade com os requisitos de eficiência energética da ASHRAE 90.1.

Nos quartos de hospital, os níveis atingidos pelas luminárias herméticas são ainda mais baixos. Três ambientes atingiram o nível D de eficiência energética (ambientes QH2, QH3 e QH4), e um só conseguiu o nível B, o ambiente QH1, com o modelo de luminária com altos fatores de utilização. Nos ambientes QH1 e QH2 atinge-se o nível A de eficiência energética quando empregadas luminárias sem aletas. Já se analisarmos o resultado através do método da ASHRAE, usando como referência as densidades de potência de iluminação, todos os ambientes testados apresentam DPIS inferiores aos 6,7W/m² necessários.

No ambiente de banheiros, nota-se que a iluminância final é 334% maior que a iluminância requerida na NBR 5413, atingindo 501,1 lux no lugar dos 150 lux da norma. Entretanto, o ambiente consegue atingir o nível A de eficiência energética quando avaliado pelo RTQ-C. Porém o mesmo ambiente não alcança os requisitos de eficiência da ASHRAE 90.1, atingindo um DPI de 12,6 W/m² que ultrapassa os 10,5 W/m² estabelecidos na norma.

Outras limitações foram observadas no método de avaliação do RTQ-C, devido ao uso exclusivo do método dos lumens. Se for seguido o método apresentado nas equações 1 a 5, exclui-se a possibilidade de ter outro tipo de luminária no recinto já que implicará em outro padrão de distribuição luminosa e outros fatores de utilização. O dimensionamento e a avaliação de projetos luminotécnicos com diversos modelos de sistemas de iluminação não podem ser feitos usando o método dos lumens, limitado a projetos de iluminação geral distribuída empregando um único tipo de luminária.

Outra dificuldade encontrada na avaliação pelo Regulamento é a falta de especificações técnicas fornecidas pelos fabricantes, já que os dados requisitados na avaliação não são unanimemente utilizados na elaboração de projetos. Este problema atinge principalmente as luminárias e as tabelas de fatores de utilização, sem as quais é impossível aplicar o método dos lumens e avaliar o sistema luminotécnico. Os fatores de utilização indicam a quantidade de luz que atinge o plano de trabalho em função da geometria do recinto e das refletâncias de suas superfícies. Muitos fabricantes não realizam os testes necessários para a obtenção desses dados indicando se a luminária esta refletindo a luz das lâmpadas de forma eficiente, o que denota de certo atraso da indústria em termos de qualidade e de eficiência energética.

Existe ainda uma incompatibilidade dos dados requisitados pelo RTQ-C com os empregados em programas de simulação, muito usados em projetos luminotécnicos. O programa analisado, DIALux Light, estabelece diversos valores para o fator de depreciação (chamado de fator de redução), apresentados na tabela 5.

Tabela 5 – fatores de redução usados pelo programa DIALux Light

	Fator de redução
Sala muito limpa, duração de utilização anual limitada	0,80
Sala limpa, ciclo de manutenção trienal	0,67
Instalação externa, ciclo de manutenção trienal	0,57
Local interno ou externo, alto grau de poluição	0,50

O fator de depreciação Fd é de 0,80 no RTQ-C, e corresponde ao mais alto fator usado pelo programa testado. Os fatores de redução variam entre 0,80 e 0,50, com uma média de 0,64 nitidamente inferior ao valor usado no regulamento. Na norma ASHRAE 90.1 o fator usado (*Light Loss Factor*) é de 8 a 31% menor do que o fator de depreciação do RTQ-C, e é estabelecido em função das características de uso e manutenção dos ambientes.

6. CONCLUSÕES

Os problemas encontrados dificultam a avaliação de projetos luminotécnicos pelo método do RTQ-C, prejudicando a adesão à etiqueta por parte dos projetistas. Havendo uma única tabela de DPI_{RL} usada para qualquer tipo de ambiente, os critérios de avaliação perdem em flexibilidade. Os limites para o nível A foram estabelecidos com luminárias muito eficientes, apresentando bons fatores de utilização. Este procedimento não leva em consideração que certos ambientes podem necessitar de equipamentos específicos com performances energéticas variáveis. Em edifícios de escritório, por exemplo, serão usadas luminárias com aletas para evitar o ofuscamento, assim como edifícios hospitalares podem requisitar luminárias com vedação hermética para evitar problemas de contaminação.

Projetos luminotécnicos com equipamentos desse tipo terão dificuldades para atingir os níveis mais altos de eficiência, como visto nos ambientes testados. Luminárias sem aletas e com refletores de alumínio apresentam fatores de utilização mais elevados e atingem o nível A com mais facilidade. Apesar dos valores de DPI_{RL} para este nível terem surgido de um modelo com aletas, luminárias desse

tipo apresentam maiores dificuldades para atingir o nível A, devido ao alto desempenho do modelo escolhido para a elaboração dos limites. As aletas são fundamentais para evitar o ofuscamento em ambientes de trabalho prolongado, mas acabam interferindo na propagação da luz no ambiente diminuindo consequentemente os fatores de utilização e possivelmente o nível de eficiência. A vedação presente nas luminárias herméticas piora drasticamente a eficiência do sistema de iluminação, diminuindo de forma acentuada os fatores de utilização da luminária. Esse tipo de equipamento atinge então níveis baixos de eficiência, chegando a E em certos casos, quando na verdade se trata de um equipamento necessário em determinados projetos como no caso dos hospitais.

O método de avaliação de sistemas de iluminação prejudica de forma exagerada certos projetos luminotécnicos sem levar em consideração a necessidade de usar equipamentos com menor eficiência em função do conforto ou da saúde. Avaliar equipamentos específicos a certos projetos como luminárias com aletas ou luminárias herméticas a partir de uma única tabela de DPI_{RL} irá inevitavelmente resultar em um nível mais baixo para projetos com equipamentos específicos ao uso do ambiente. Essas características do método de avaliação podem incitar os projetistas a escolher os equipamentos em função do nível que irão atingir e não em função de outros dados importantes como saúde ou conforto, sacrificando a qualidade do projeto.

Outro inconveniente do RTQ-C apontado pela equação 5 é a independência do nível de eficiência em relação à área do ambiente e ao numero de luminárias do sistema luminotécnico. Um projeto que não atende às iluminâncias prescritas na NBR 5413 pode atingir um bom nível de eficiência energética apesar de estar com iluminâncias muito acima do valor prescrito. Pode-se admitir que o atendimento à norma é responsabilidade do projetista e não do avaliador, permanecendo entretanto essa carência de controle no Regulamento.

O uso exclusivo do método dos lumens no RTQ-C é mais uma dificuldade na adaptação com a realidade dos projetos luminotécnicos atuais. Não poder avaliar ambientes com diversos tipos de luminárias limita de forma excessiva a abrangência do método, já que muitos projetos não seriam contemplados pelo procedimento. O valor do fator de depreciação sendo muito alto em relação ao usado na elaboração da ASHRAE 90.1 e diferente de programas computacionais de projeto luminotécnico como DIALux Light, os DPI_{RF} acabam incompatíveis com a prática de projeto. Essas diferenças de F_d influem diretamente no nível de eficiência atingido pelo sistema de iluminação, na medida em que este é uma variável do cálculo do DPI_{RF} (como visto na equação 6).

Já o emprego de valores limites de densidade de potência de iluminação na ASHRAE 90.1 para cada uso introduz soluções interessantes. Os DPI são estabelecidos de acordo com os equipamentos necessários à iluminação do ambiente, levando em consideração as especificidades do sistema de iluminação empregado e as iluminâncias requeridas na norma. Isso explica porque em ambientes de hospitais as luminárias herméticas conseguem atender à norma, assim como as luminárias com aletas nos ambientes de escritórios. A eficiência desses equipamentos é considerada comparada com os outros equipamentos da categoria, e não à totalidade dos equipamentos presentes no mercado.

O consenso profissional na elaboração de projetos padrões para cada uso de ambiente possibilita que os DPI limites tenham valores condizentes com a prática real de projeto luminotécnico. Projetos com iluminância maior do que requisitado não irão atender aos requisitos da norma já que a DPI irá ultrapassar o limite estabelecido, fazendo com que a ASHRAE 90.1 também inclua um forma de controlar a qualidade dos projetos luminotécnicos. Estabelecer limites fixos de DPI facilita a avaliação dos projetos na medida em que os únicos dados necessários são a potência instalada e a área do ambiente ou do edifício.

O RTQ-C demonstra diversas fraquezas em relação à adaptação com a grande diversidade de sistemas de iluminação e de métodos de projeto. Enquanto isso, a avaliação da eficiência energética de sistemas de iluminação a partir dos DPI usados na norma ASHRAE 90.1 oferece uma metodologia mais abordável e fácil de ser empregada, além de oferecer maior compatibilidade com a prática atual de projetos de iluminação.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5413 - Iluminância de interiores.** ABNT: Rio de Janeiro, 13p., 1992.
- CARLO, J., FERREIRA, R. & LAMBERTS, R. **Aplicação do regulamento técnico da qualidade em sistemas de iluminação.** Encac, 2009.
- DIAL GmbH, **DIALux 4.7.5.2.** Acesso em 14/12/2009. Disponível em: <http://www.dialux.com/>
- GHISI, E. & LAMBERTS, R. **Influência das características reflexivas da luminária e da refletância das paredes na potência instalada em sistemas de iluminação,** Entac, 1998.
- MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA - **Balanço Energético Nacional, 2009.** Disponível em <<https://ben.epe.gov.br/>> Acesso em: 07 de maio de 2010
- MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA – **Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos,** 2009, disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/eletrobras/etiquetagem/downloads.php>>
- RICHMAN, E., JONES, C. C. & LINDSLEY, J. **An Empirical Data Based Method for Development of Lighting Energy Standards,** 1998, disponível em: <http://lpd.ies.org/cgi-bin/lpd/lpdhome.pl>

8. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à ELETROBRAS/PROCEL pelos recursos financeiros aplicados no financiamento do projeto.