

Fator de manutenção e energia para produzir luz artificial em interiores: duas tecnologias concorrentes para espaço expositivo

ELVO CALIXTO BURINI JUNIOR

Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo - SP – Brasil

elvo@iee.usp.br

LILIAN NAKAYAMA

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo/USP – SP – Brasil

lilian.nkm@gmail.com

Resumo - Este artigo foi elaborado a partir de resultados de simulação por software aberto para iluminação em interiores, na área geral e dois planos de trabalho de um espaço expositivo, para duas tecnologias de fonte de luz. Luminárias com a tecnologia de geração de luz por eletroluminescência (do inglês *Solid State Light – SSL, LED*) foi comparada em relação à tecnologia fluorescente tubular T8, o SSL possibilita a menor potência elétrica instalada e menor desembolso mensal para produzir luz (sem considerar os custos iniciais). Ao assumir valor para o fator de manutenção menor que a unidade em cálculo auxiliado por computador não fica transparente ao projetista a elevação tanto na potência instalada, quanto iluminância inicial e aumento no consumo de energia elétrica.

Palavras-chave: Produção de luz, fator de manutenção (perdas luminosas), iluminação de interiores, LED, eletroluminescência (SSL).

Abstract - *This article was drawn from simulation results obtained by open software for interior calculations of general lighting and at two work plans. The light generation by electroluminescence (Solid State Light – SSL, LED) technology when compared with the tubular fluorescent T8 technology enables lower power and lower electricity monthly cost for the user and disbursement to produce light (the initial cost was not considered). By assuming maintenance factor with value less than the unity, the computer-aided simulation does not show to the designer the need to increase the installed power, the bigger initial illuminance values and the increase in electricity consumption that occurs.*

Keywords: *Lighting, maintenance factor (light loss), interior lighting, LED, electroluminescence (SSL).*

1. Introdução

No setor de comércio e serviços a iluminação é uso final de energia importante, representa fração substancial do consumo de energia elétrica. E tem sido feita com base em fontes que contém o elemento Mercúrio. Portanto, investigar fonte de luz elétrica artificial alternativa para esse setor, como o diodo emissor de luz (do inglês, *Light Emitting Diode* - *LED*) inorgânico apresenta-se como uma atividade importante tanto do ponto de vista energético quanto ambiental. A avaliação na capacidade da produção de luz pela fonte primária (TB-23/1991, p.31) geralmente é feita com foco no consumo de energia elétrica e demais custos associados.

O fator de manutenção (FM) é uma variável a ser considerada na fase do projeto para a iluminação, que possui efeito direto no consumo da instalação. É parâmetro estabelecido pelo projetista, em algumas situações, mecanicamente. Na busca por melhorias no entendimento sobre os efeitos e alcance de uma decisão sobre o FM¹. Esse trabalho faz foco em tópicos associados ao “fator de perdas luminosas (TB-23/1991, p.41, item 3.9.59)”, em particular, do ponto de vista do uso final da energia.

Perdas luminosas são aquelas decorrentes da depreciação ou redução no fluxo luminoso das lâmpadas durante o período de funcionamento, e demais depreciações como da refletância das superfícies contíguas, pelo acúmulo de poeira e sujeira nas luminárias, superfícies internas do ambiente considerado ao longo de um ciclo de manutenção.

A preocupação e a importância com o tema FM pode ser verificada de longa data na literatura (ver CLARK, F., 1966). Porém, no âmbito desse trabalho presente a discussão não deverá ficar restrita exclusivamente ao nível da terminologia (às vezes nacionalista, entre o novo e velho mundo), um foco está na realização de propostas de projeto e análise a partir das opções adotadas. O tema deve ser tratado com inteligência particularmente quando é sabido que manutenção pode significar intervenção apenas quando o ponto de luz está inoperante, após o setor competente ter sido comunicado, resultando geralmente na substituição ou troca da lâmpada. A limpeza da luminária não é prática que possa ser verificada com frequência desejável/necessária ou prevista no projeto. Enquanto a diferença entre a quantidade de luz produzida pela fonte primária, entre o início e fim da vida útil é reduzida, como ocorre com o tipo a halogênio (da ordem de 5 %) o FM poderá ter relevância diminuta. A relevância poderá aumentar conforme aumenta o tamanho da vida útil da fonte. Nas situações onde não ocorre manutenção ou limpeza e é feita a utilização de fonte de luz cuja depreciação seja elevada (digamos 20 % ou mais), mesmo sendo utilizada fonte que possui eficiência elevada, aumento no consumo de energia elétrica poderá ocorrer. Outra consequência indesejada poderá ser o funcionamento dos equipamentos sem prover a necessária iluminação, abaixo do nível de iluminância mínima recomendada para determinado plano de trabalho e tarefa.

¹Ainda que o termo “fator de manutenção” (FM) esteja indicado como obsoleto pela norma brasileira em vigor (também pela IEC 50(845)/1987), esse termo está mantido no trabalho devido à similaridade com o termo atualmente utilizado na literatura, língua inglesa, “*maintenance factor*”. A terminologia que está indicada é “fator de perdas luminosas (TB-23/1991, p.41, item 3.9.59)”; também o termo correlacionado “fator de depreciação” (corrente na língua francesa, conforme documento IEC citado), é designação considerada antiga (ver ABNT NBR 5461 ou TB-23/1991) como “fator de manutenção”. Na IEC 50(845)/1987, o termo similar fixado na língua inglesa é “*light loss factor*”.

2. Referencial Teórico

O tipo de fonte de luz primária (TB-23/1991, p.31) atualmente utilizado para a iluminação de interiores poderá passar por mudanças significativas. A lâmpada incandescente convencional está tendo a produção descontinuada. Isso já ocorreu para potência nominal a partir de 100 W; a tecnologia fluorescente (e HID) que propicia maior eficácia para conversão de energia elétrica em energia luminosa ainda carrega todas as inconveniências associadas ao elemento Mercúrio. A tecnologia baseada na eletroluminescência (do inglês, *Solid State Lighting - SSL*), emergente, se apresenta como uma alternativa a ser investigada tecnicamente. O fator de manutenção do fluxo luminoso no plano de trabalho (FMFL_{PT}) ou simplesmente fator de manutenção (FM) é parâmetro de projeto cuja definição poderá afetar o consumo de energia, por esse motivo está recebendo consideração no presente trabalho. A dependência referente ao aumento da potência elétrica instalada para prover iluminação num recinto, e em relação ao fator de manutenção (fator de perdas luminosas) tem sido apresentado na literatura por poucos fabricantes. O FM unitário é uma situação ideal (e/ou inicial), pode ser interpretada como existir aumento nulo de potência elétrica, seja para propiciar a iluminância inicial prevista, seja para que após determinado período de tempo a iluminância fique mantida conforme limite fixado. Em geral o projetista irá fixar um valor de FM, inferior ao unitário a partir de condições acessadas em ábacos ou tabelas, e assumir que tais condições irão ocorrer. Talvez possa fixar o FM numa condição extrema, aquela do pior caso, com objetivo de manter a iluminância dentro de limites prescritos até o final de um ciclo, mas a questão que se coloca: o que irá ocorrer com a iluminância média no plano de trabalho? Com base nas informações da Figura 1 é possível estimar aumento da potência elétrica instalada (e conseqüente consumo) que advirão da condição estabelecida pelo fator de manutenção em valores típicos de 0,85 e 0,70; e no caso de 0,50, ocorrerá o dobro da potência elétrica para prover a iluminância fixada em projeto.

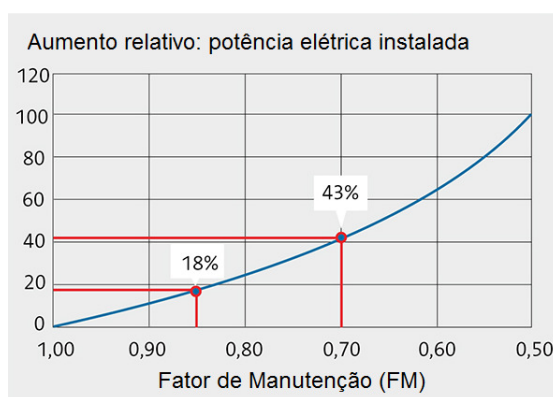


Figura 1 – Uma relação de dependência entre potência elétrica de equipamento necessária para iluminação de interiores (e conseqüente consumo de energia) conforme o fator de manutenção.

Fonte: Support-Fagerhult, 2013.

A depreciação do fluxo luminoso, geralmente, guarda relação com a tecnologia da fonte de luz e pode ser dominante em relação ao fator de manutenção da luminária (FML), conforme o tipo de fonte utilizado e local

considerado. Fontes com expectativa de vida útil muito longas, como aquelas contidas nos catálogos de LEDi(diodo emissor de luz inorgânico, em dezenas de kh) poderão levar a valores recomendados menores para o FM.

3. Metodologia

O trabalho considera duas alternativas de projeto para a iluminação do espaço expositivo do museu no Instituto de Geociências (IGc) da Universidade de São Paulo. A área considerada é de aproximadamente 396 m², tendo por objetivo de projeto atender nível de iluminância da iluminação geral e para duas áreas de trabalho em bancada (em altura 0,8 m do piso). As simulações de projeto foram realizadas pela utilização de software aberto, marcaDIALux, a altura entre o piso e o teto é de 3,9 m, utilizados diferentes FM. Os arquivos fotométricos e dados das luminárias foram fornecidos pelos fabricantes (Guarilux e Intral). Os níveis de iluminância média objetivo² foram fixados em 150 lux para a iluminação geral e 300 lux para as duas áreas de trabalho (numa mesa e uma bancada) no recinto. Após ter sido feita definição de uma configuração espacial básica para a fixação dos pontos de luz (luminárias), respeitando condições de contorno do local (com teto pintado na cor preta fosca). Foram realizados cálculos para a distribuição de iluminâncias, tendo por entrada o arquivo fotométrico da luminária considerada. Os quatro diferentes valores para o FM foram de: (0,8; 0,67; 0,6 e 0,4). Os valores de iluminância média no piso e áreas de trabalho, potência elétrica/área/100 lux foram obtidos e estão plotados em relação ao FM. Para cada conjunto de dados foi determinada equação e ajustada curva (critério: maximizar o parâmetro R² de regressão). Os dois gráficos construídos a partir dos resultados obtidos com auxílio de software e variação de parâmetro foram utilizados para realizar estimativas e discussões, tanto sobre os requisitos de iluminância fixados inicialmente quanto para referenciais na comparação entre as duas tecnologias.

4. Resultados e Discussão

A recomendação coligida: com indicação que deve ser utilizado o valor praticável mais elevado para o fator de manutenção, ainda que esteja vinculada a trabalho realizado para a iluminação em exteriores (McDONALD, Mott, 2008), ela é fundamental, seja aos olhos do projetista, seja aos agentes públicos, que deverão ter isso em consideração quando for realizada avaliação visando aprovação de projeto para iluminação. Um FM reduzido poderá acarretar em dispêndios de energia e custos elevados.

Em anexo são apresentados alguns resultados, em detalhes, sobre os cálculos e informações para as duas opções de projeto; marca, modelo e outros dados de equipamentos, conforme obtido diretamente dos fabricantes. Algumas simulações iniciais foram realizadas para estabelecer a melhor distribuição dos pontos de luz (luminárias) no teto do museu. Atualmente o espaço possui

²A indicação sobre a definição de iluminância média mínima, a ser mantida em serviço, partiu da ABNT NBR 5413 (item 5.3.61 Museus), para atividades em bancada o critério de idade dos usuários considerado foi inferior a 40 anos, a velocidade e precisão da tarefa foram consideradas sem importância, e refletância do fundo entre (30 a 70) %. Para a iluminação geral a probabilidade de ocorrer condição de maior severidade foi considerada. Também cabe uma nota, o valor de 300 lx (valor igualmente estabelecido em ABNT PROJETO 03:034.04-100, 2012) é seis vezes superior ao limite normalmente estabelecido para peças sensíveis, cuja degradação pode ficar acelerada quando sob determinada banda do espectro da luz visível.

iluminação geral na área expositiva idealizada a partir de luz indireta (rebatimento em teto, anteriormente rebaixado e na cor branca), constituída a partir de módulos contendo duas lâmpadas multivapores metálicos 150 W nominais. Nesta configuração a densidade de potência elétrica atual está estimada em 16 W/m².

A Figura 2 apresenta o resultado obtido para a iluminância média calculada a partir de software, no plano do piso e a 0,8 m de altura, para dois tipos de luminárias e quatro diferentes valores de FM.

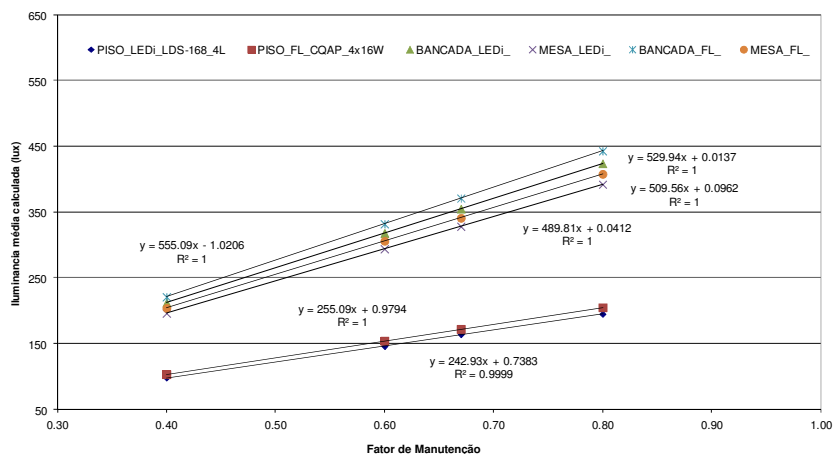


Figura 2—Iluminância média ao nível do piso e em área delimitada por duas superfícies (0,8 m altura) de trabalho, duas opções de equipamentos (fluorescente tubular e LEDi) em relação ao fator de manutenção.

No caso do resultado de cálculo para iluminância média ao nível do piso, o valor prescrito-objetivo de 150 lx é verificado para o sistema fluorescente (quatro lâmpadas potência nominal 16 W e difusor) para o FM igual ou superior a 0,6. O valor de iluminância média obtido por extrapolação e para o FM igual à unidade pode ser interpretado como o valor de iluminância a ser fornecido pela instalação no instante inicial. Com o auxílio das equações ajustadas a partir dos resultados, cada iluminância instantânea inicial foi calculada e estão apresentadas na Tabela 1, conjuntamente com a variação relativa identificada entre as duas tecnologias (na última coluna, à esquerda, em porcentagem).

Tabela 1 –Iluminância média inicial calculada e variação relativa entre as tecnologias de equipamentos propostos para iluminação interior.

Local (plano)	FL (lx)	LEDi (lx)	Variação (%)
Piso	244	256	4,9
Mesa	510	490	4,1
Bancada	554	530	4,5

O cálculo da variação relativa entre as duas alternativas de tecnologia utilizadas, na condição inicial, indica variação máxima inferior a 5%. Este é um valor típico de incerteza presente nos luxímetros disponíveis a partir do mercado local. E indica que será difícil identificar, por meio instrumental e classe referida, a

diferença estimada/calculada. Outra observação importante é relativa aos níveis de iluminância avaliados para a condição inicial, ao nível do piso ou bancada, a melhor situação mais favorável apresenta patamar com aumento superior a 60 % em relação ao valor objetivo fixado inicialmente (150 lx no caso do piso).

A opção com tecnologia fluorescente apresentou valores de iluminância ligeiramente superior a opção com tecnologia LEDi. Não ocorreu cruzamento entre as curvas, provavelmente, isto se deve a ter sido utilizado igual valor para o FM, ou seja, não ter sido incorporado ao FM as diferentes taxas de depreciação conforme o tipo de fonte. Tais dados ainda não puderam ser acessados.

A Figura 3 apresenta o resultado obtido, a partir de software, duas opções de equipamentos (fluorescente tubular e LEDi) para a potência elétrica a ser instalada por unidade de área (densidade) para produzir 100 lux no espaço considerado e em relação ao fator de manutenção fixado.

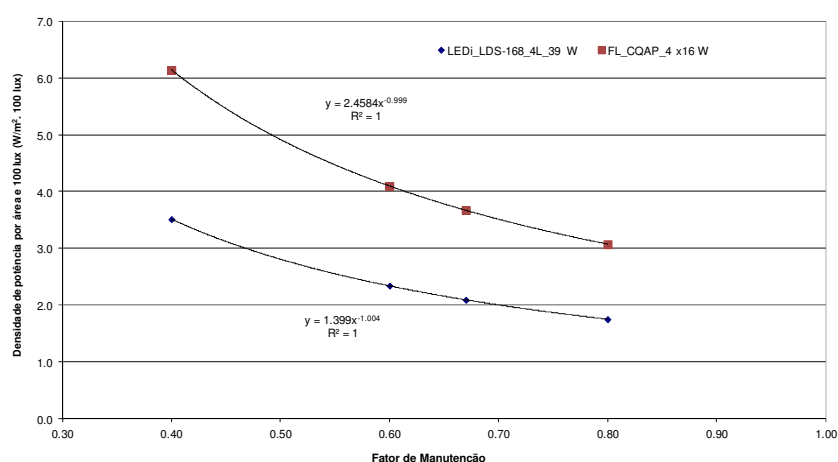


Figura 3 – Densidade de potência elétrica a ser instalada por unidade de área e iluminância (100 lux) para cada opção de equipamento (fluorescente tubular e LEDi) em relação ao fator de manutenção

A potência elétrica a ser instalada, calculada para cada opção de equipamento e igual período de utilização demonstra que a tecnologia fluorescente tubular irá apresentar consumo de energia superior a tecnologia LEDi, independentemente, do patamar de fator de manutenção que foi atribuído. Tomando o instante inicial como limite pode ser verificado valores para a densidade de potência elétrica de 1,40 W/m².100 lux para o equipamento à LEDi e 2,46 W/m².100 lux para o equipamento fluorescente 16 W nominais. Desde o instante inicial (TM = 1) a diferença relativa é da ordem de 57 % em favor do tipo de equipamento à LEDi utilizado. Para a condição de projeto onde for assumido o valor de FM igual a 0,5, pela Fig. 3 verifica-se que a densidade de potência deverá estar próxima ao dobro do valor calculado para a condição inicial.

Com base num custo para a energia elétrica de R\$ 0,35353/kWh, valor típico do setor residencial na cidade de São Paulo (consumo de 303 kWh, fatura Ago./2013), foi estimado custo relativo (FL/LEDi), em (R\$/Mlm.h) igual a 1,8.

Um caminho natural para a continuidade desse trabalho é incorporar demais os custos associados, incluindo valor da energia elétrica praticado pela instituição e buscar o custo do ciclo de vida, comparando as diferentes soluções.

Outra possibilidade é o estudo sobre a viabilidade e benefício da adição de um sistema de controle para manter a iluminância constante no plano de trabalho.

5. Conclusões

Foram elaboradas propostas de projeto para iluminação de área expositiva de museu universitário e o estabelecimento de referenciais para a comparação entre duas tecnologias, fluorescente tubular T8 e LEDi, considerando fatores e dados de produto disponibilizados pela empresa responsável pela fabricação.

Entre as duas opções que foram consideradas nesse trabalho, seja qual for a tecnologia a ser escolhida para a nova iluminação geral e bancadas no espaço expositivo do IGc/USP, existirá redução significativa na densidade de potência elétrica por unidade de área e custo pela energia consumida.

A disponibilidade da luz do dia não foi considerada em razão da estratégia declarada pretendida para a área expositiva (o teto recebeu tinta preta fosca), também a taxa de depreciação da tecnologia LEDi, nem o período diário da ocupação estão incorporados. Em geral maiores períodos de utilização permitem abreviar períodos de retorno sobre investimentos iniciais mais elevados.

Para valor do fator de manutenção (FM) igual a 0,50, os cálculos que foram realizados confirmaram informação coligida da literatura, que indica ser necessário o dobro da potência elétrica instalada para prover a iluminância prescrita a partir das alternativas de projeto consideradas.

Na utilização de software, o qual permite simplificar, em parte, o trabalho de simulação pelo projetista, ao assumir o fator de manutenção em valor menor que a unidade, não fica explícito o aumento na potência instalada, iluminância no instante inicial e conseqüente aumento no consumo de energia elétrica pela instalação projetada.

Referências

ABNT (NBR 5461) TB-23, Iluminação – Terminologia, 68p, (elaborada com base na IEC 50(845)/1987), Dez., 1991.

ABNT NBR 5413, Iluminância de interiores – Procedimento, 13p., Abr., 1992.

ABNT PROJETO 03:034.04-100, Iluminação de ambientes de trabalho – Parte 1: Interior, p.27, (baseado no documento ISO 8995-1:2002 - CIE S 008/E e Correção.1:2005), Ago., 2012.

CLARK, Francis (1966), "*Accurate Maintenance Factors-Part Two (Luminaire Dirt Depreciation)*", ILLUMINATING ENGINEERING, p.37-46.

McDONALD, Mott. Review of Luminaire Maintenance Factors. London: Transport for London Road Network Development (South), 2008. (Relatórios de Pesquisa).

Suport-Fagerhult. The maintenance factor affects energy consumption. Disponível em: <<http://support.fagerhult.com/the-maintenance-factor-affects-energy-consumption/>>. Acesso em: 07Ago. 2013.

Anexo– Memorial de projeto e das propostas elaboradas

Detalhes construtivos (em 3D) para o espaço expositivo do museu IGc/USP e cada posição fixada para os pontos de luz estão apresentados pela Figura 4.

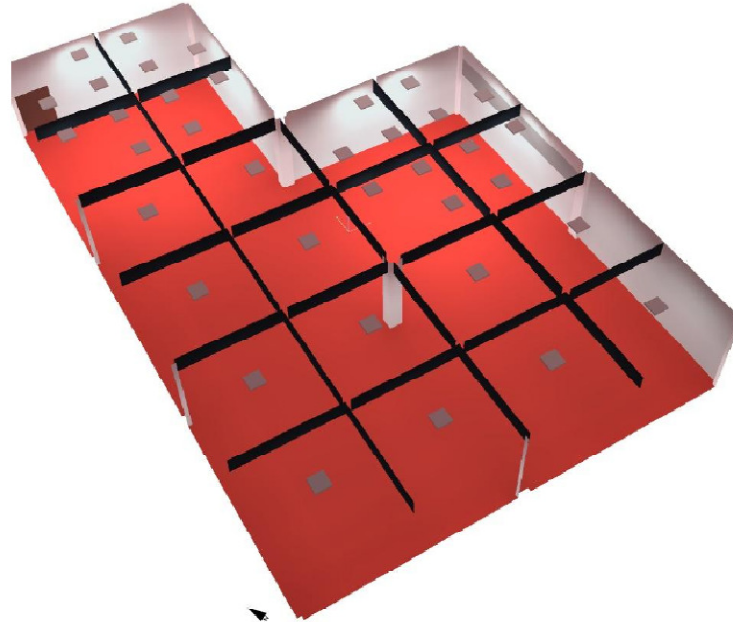


Figura 4 – Espaço (área $\approx 396 \text{ m}^2$) expositivo no museu IGc/USP, posição dos pontos de luz (luminárias): configuração utilizada para os cálculos realizados.

A distribuição de intensidade luminosa, em dois planos, elaborada a partir de dados fotométricos fornecido em arquivo eletrônico pelo fabricante, luminária marca Guarilux está apresentado pela Figura 5.

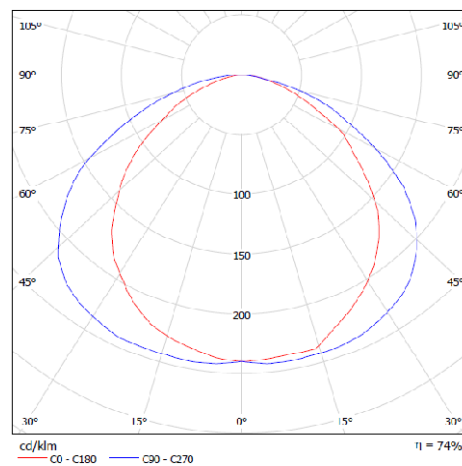


Figura 5 – Distribuição de intensidades luminosas da luminária marca Guarilux, modelo CQAP, fluorescente tubular T8, 4x16 W/840.

As curvas isolux (distribuição de iluminâncias) calculadas para as luminárias 36 marca Guarilux FM igual a 0,8 estão apresentadas pela Figura 6.

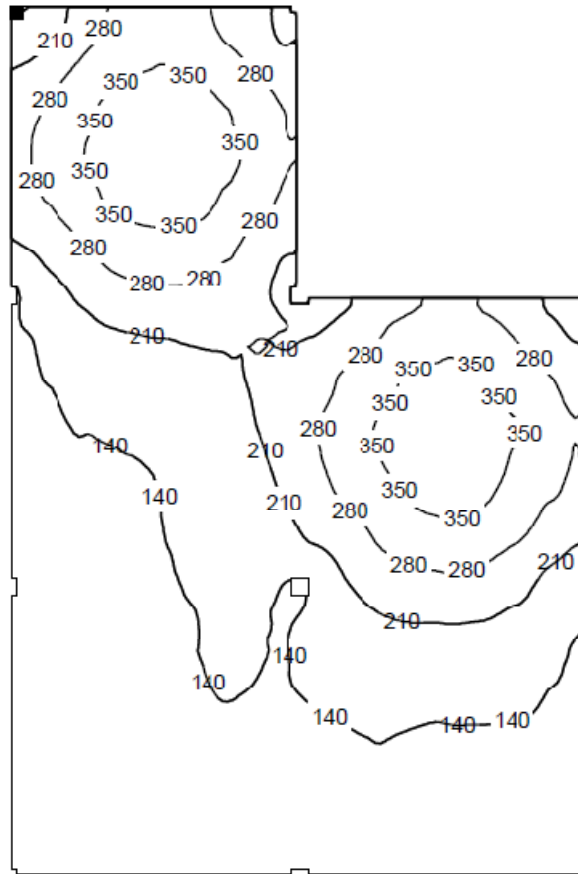


Figura6 – Distribuição de iluminância calculada (FM=0,8) para 36 luminárias marca Guarilux, modelo CQAP, fluorescente tubular T8, 4x16 W/840, (6,54 W/m²).

A distribuição de intensidade luminosa, em dois planos, elaborada a partir de dados fotométricos fornecido em arquivo eletrônico pelo fabricante, luminária marca Intral, LEDi está apresentada pela Figura 7.

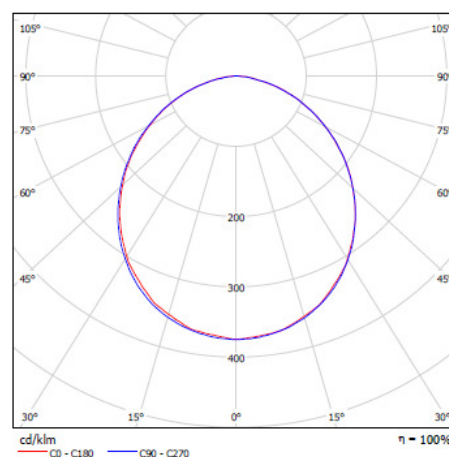


Figura 7 – Distribuição de intensidades luminosas da luminária marca Intral, modelo LDS-168 4L, código 09237, LEDi.

As curvas isolux (distribuição de iluminância) calculadas para as 36 luminárias marca Intral e FM igual a 0,8 estão apresentadas pela Figura 8.

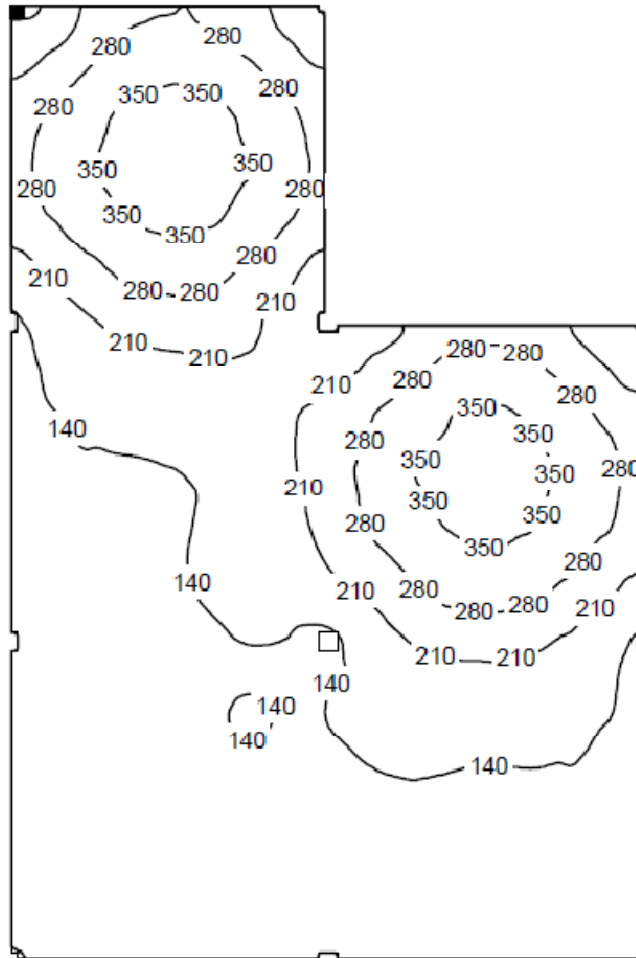


Figura 8 – Distribuição de iluminâncias calculada (FM=0,8), 36 luminárias marca Intral, modelo LDS-168 4L, código 09237, LEDi, (3,54 W/m²).