Identificação dos Parâmetros de Design de Dutos de Luz Solar Através do Emprego da Simulação Computacional

G.E.Toledo[a,b], **A.V.Pelegrini**[b,c]

[o] ***getpadesign500@gmail.com***

[b] *Universidade Federal do Paraná (UFPR)*

Resumo

Os dutos de luz solar podem reduzir o consumo de energia gasta em iluminação, como também melhorar o conforto visual nos ambientes. Para a previsão do desempenho lumínico destes sistemas, recomenda-se a utilização de simulações computacionais, como o programa Troplux. O presente artigo tem como objetivo determinar os parâmetros de design para os dutos de luz solar através da simulação computacional. O método aplicado neste trabalho foi dividido em duas etapas. Na primeira etapa foi comparado o desempenho luminoso de três modelos virtuais de dutos de luz solar, com características ópticas iguais, mas com geometrias diferentes, visando identificar a geometria de duto mais eficiente. Na segunda etapa foi simulado o desempenho do duto de luz eleito, tendo como referência as especificações da CIE (Comissão Internacional de Iluminação) para os tipos de céu e incidência solar. Os resultados das simulações foram então empregados para identificar os principais parâmetros de design para o os dutos de luz solar.

Palavras-chave**: **Tubos solares, Simulação Computacional, Parâmetros de design

Design parameters Identification of Solar Tubes Using Computer Simulation

Abstract

Solar tubes can reduce the energy consumption spent on lighting, while also improving visual comfort in indoor environment. To predict the performance of these systems, it is recommended the use of computer simulations, such as the TropLux software. Through the use of computer simulation, this article aims to determine the design parameters for the solar tubes. The method applied in this study was divided into two stages. In the first stage, we compared the performance of three solar tube virtual prototypes, all of them with the same optical characteristics, but with different geometries, in order to identify which geometry was more efficient. In the second stage, it was simulated the performance for the elected solar tube, with reference to the specifications provided by the CIE (International Commission on Illumination) for the different types of sky and solar incidence. The results were then used to indicate the main design parameters for the solar tubes.

Keywords: Solar Tubes, Computer Simulation, Design Parameters.

1. INTRODUÇÃO

Diversos estudos tem evidenciado a eficácia do uso de tubos solares para reduzir o consumo de energia gasta em iluminação, aumentar o nível das iluminâncias e melhorar o conforto visual nas edificações [7, 10, 11, 12, 14]. Para a previsão desta eficiência, pode ser utilizada a simulação e, desta forma, poder modificar o design dos dutos, como a geometria e as características ópticas dos sistemas.

Os tubos de luz tem achado aplicação prática em diferentes edificações, porque permitem melhorar o nível de iluminação no interior dos ambientes [12].

Os tubos solares são sistemas avançados de iluminação natural zenital. Estes dispositivos conduzem a luz natural ao interior das edificações mediante superfícies altamente refletivas [1]. A função deste sistema é baseada no princípio de multirreflexões em superfícies especulares [7, 12].

Os tubos solares são geralmente constituídos por três partes fundamentais: uma abertura para a entrada de luz natural; um sistema de transmissão e distribuição da luz e um sistema de difusão de luz (Figura 1). A eficiência de transmissão de luz de cada um destes componentes é fundamental para determinar o desempenho deste sistemas [18].

Como alternativa, é possível encerrar a entrada de luz natural através de um sistema mecânico acionado mediante um interruptor [11]. Estes sistemas podem estar integrados com o sistema de iluminação elétrica mediante controles para ativar a luz quando é necessário. Neste caso, é um sistema híbrido. Ante a ausência de luz solar direta ou horários noturnos, entra em ação o sistema artificial [11].

No âmbito nacional, as pesquisas sobre os dutos de luz solar ainda são poucas [16]. As informações existentes dos tubos solares são das empresas que comercializam os tubos

no Brasil, as quais limitam-se à relação da área de iluminação a ser coberta pelo sistema e ao diâmetro do tubo.

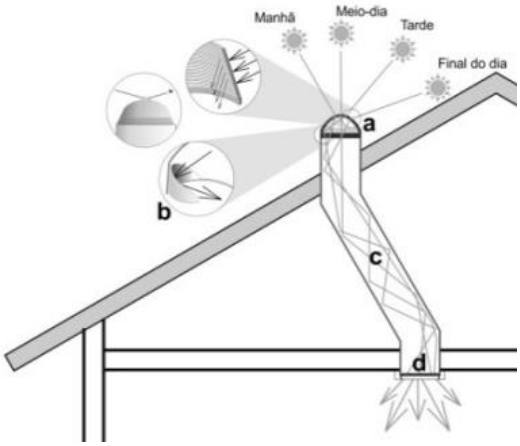


Figura 1: Partes de um tubo Solar
Fonte: Adaptado do IEA (2000)

Os parâmetros de design para sistemas avançados de iluminação, como os tubos solares, podem ser modificados ainda na etapa de simulação do desempenho. Com isto, podem-se simular e testar várias opções antes da configuração do tubo, evitando experimentos posteriores e economizando na etapa de desenvolvimento do produto.

Segundo Cabús [2], a simulação computacional é uma opção rápida e eficiente para pesquisas em iluminação natural. Um grande número de modelos matemáticos tem sido desenvolvido para prever a performance dos tubos de luz, os quais fornecem ferramentas úteis para eliciar o desenho mais eficaz sob condições climáticas diferentes [6].

Neste contexto, o objetivo deste artigo é determinar os principais parâmetros de design para dutos de luz solar através do auxílio da simulação computacional.

2. SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL PARA DETERMINAR PARÂMETROS DE DESIGN NOS DUTOS DE LUZ SOLAR

No âmbito nacional e internacional, diferentes trabalhos têm utilizado a simulação para determinar parâmetros no design de dutos solares, como também para fazer a eleição dos materiais que geram um melhor desempenho destes sistemas [6, 8, 9, 14].

Através da simulação computacional podem-se testar os tubos de luz sob diferentes parâmetros, como os parâmetros ambientais e geométricos; comparar a eficiência de diferentes configurações e definir as melhores opções de design destes sistemas em climas determinados [6, 8].

Kocifaj [8] avaliou o desempenho do uso de dois elementos ópticos num tubo de luz: Um difusor Lambertiano e um vidro transparente. Para isto utilizou a simulação computacional. As distribuições das iluminâncias nos dois componentes ópticos e o plano de trabalho foram calculados simultaneamente. Foi determinado, com base nas simulações, que o uso conjunto destes dois elementos ajuda a melhorar a distribuição da luz no interior dos ambientes, especialmente em tubos de luz com grande comprimento.

Kocifaj et al [9] utilizaram a simulação para determinar a influência do uso de cotovelos na eficiência de transmissão de luz nos tubos solares. Permitiu-se determinar a eficiência de transmissão de luz sob múltiplas condições de luz exterior e céu. Assim, foram determinados parâmetros no uso de cotovelos em regiões temperadas e subtropicais.

Soto [14] utilizou o software Troplux para avaliar o desempenho de três configurações de tubos solares em três diferentes latitudes e com duas refletâncias internas diferentes para cada tubo. Com base nestas simulações e comparações, foi possível determinar a influência de cada um dos parâmetros de configuração no desempenho dos tubos.

A Tabela 1 mostra o resumo dos principais parâmetros determinantes para a definição do desempenho dos dutos solares nas simulações.

Tabela 1: Parâmetros para a definição do desempenho dos dutos solares nas simulações

Parâmetros Geométricos do duto	**Parâmetros Geométricos da Sala**	**Componentes Ópticos**	**Parâmetros ambientais**
Forma do duto	Sistemas de Iluminação existentes na sala	Refletâncias e transmitâncias dos materiais dos tubos	Coordenadas Geográficas
Uso de Cotovelos	Geometria da sala	Refletâncias e transmitâncias da sala	Azimute
Diâmetro do Tubo	Plano de trabalho	Uso de elementos ópticos adicionais no coletor	Datas e horas simuladas
Forma do Difusor	Fontes obstrutoras de luz	Uso de elementos ópticos adicionais no difusor	Tipos de Céu
Forma do Coletor			Tipo de Radiação Solar e Componente Solar

O *software* Troplux foi escolhido para realizar as simulações neste trabalho. Este programa permite a construção de protótipos virtuais dos dutos de luz solar, possibilitando simulações com diferentes condições de céu e luz de dia, conforme as especificações da CIE (Comissão Internacional de Iluminação). O programa também orienta na definição das diferentes características ópticas dos materiais, bem como na configuração geométrica dos dutos de luz solar [2,5].

3. MÉTODO

O método aplicado neste trabalho foi dividido em duas etapas. Na primeira etapa, foi comparado o desempenho luminoso de três modelos de tubos solares com características ópticas iguais, mas com geometrias diferentes, para fazer a eleição do tubo mais eficiente. A partir da obtenção deste resultado, na segunda etapa, foi simulado o duto de luz eleito, com as características do ambiente real onde seria instalado o mesmo, para definir possíveis modificações na configuração do sistema. Para estas

simulações, foi utilizado o *software* Troplux. Na sequência, são apresentadas as etapas metodológicas utilizadas.

3.1 Comparação do Desempenho de três tubos de luz solar.

Inicialmente foi feita a avaliação e comparação do desempenho luminoso de três modelos de tubos solares com características ópticas iguais, mas com geometrias diferentes.

De acordo com a carta solar de Curitiba, foi analisada qual seria o melhor ângulo de inclinação do tubo, para evitar a radiação solar direta no ambiente, ao meio dia no solstício de verão em base a isto se dá a inclinação dos tubos.

A partir da análise da carta solar de Curitiba (Figura 2), foram consideradas três configurações distintas dos tubos solares.

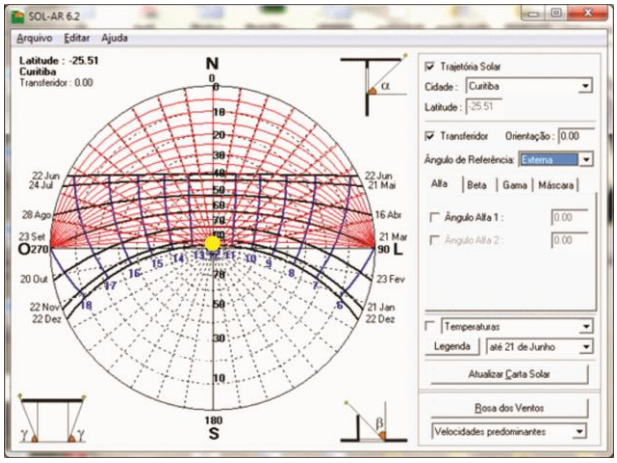


Figura 2. Carta Solar de Curitiba.
Fonte: Adaptado do SOL–AR (2012)

Kocijaf el al [13] considera que a eficiência de transmissão de luz torna-se mais elevada se o limite superior do tubo é posicionado com direção ao sol. Por esta razão os três tubos configurados estão orientados para o norte.

Foram considerados, três ângulos de orientação, o primeiro tubo é reto, isto é, sem nenhum ângulo de orientação, mas com o coletor orientado para o norte, o segundo orientado a 30^0, a melhor inclinação, de acordo com a carta solar de Curitiba, por não receber radiação solar direta no solstício de verão, no horário do meio dia, onde a altitude solar é de 85^0, sendo 30^0 a melhor orientação para evitar esta altitude nesta data e hora e o terceiro estará orientado a partir da metade do tubo com um ângulo de 30^0 (Figura 3).

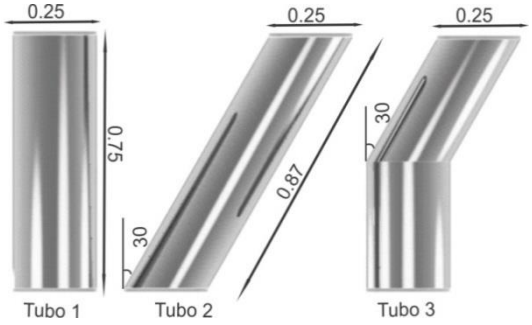


Figura 3: Modelos dos três tubos configurados no software Troplux

Os captadores de luz solar foram orientados ao norte nos três modelos de simulação, com direção à linha do Equador para aproveitar a máxima radiação solar [8].

Como parâmetros para os dados de entrada, foram utilizados parâmetros exteriores e interiores, entre os parâmetros exteriores estão: a localização da cidade, tipos de céu, hora e data, azimute do eixo x e método de cálculo da iluminância horizontal, nos parâmetros interiores, está a configuração do quarto simulado e dos tubos, como as características dos materiais destes sistemas.

O ambiente eleito para simulação corresponde à sala de jantar e sala de estar de uma casa de teste, a casa 1.0 localizada no campus Politécnico da Universidade Federal do Paraná. Este ambiente tem como dimensões 2,40 m x 3,80 m (Figura 4). Para estas simulações se efetuou, a construção deste ambiente sem janelas, porque o objetivo desta etapa das simulações é comparar a eficiência entre tubos com três alternativas geométricas diferentes.

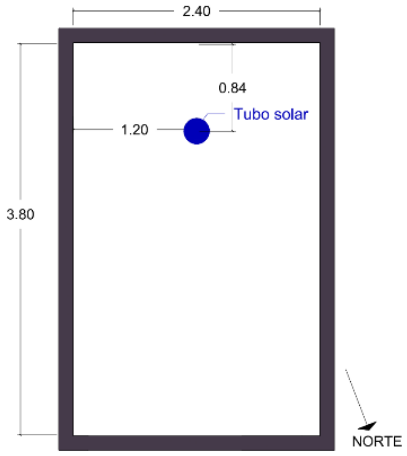


Figura 4: Medidas do ambiente simulado.

Entre as características dos materiais para o quarto, foram tomadas as refletâncias que teriam os materiais reais da casa de teste, o material dado para o piso tem refletância difusa de 0.45, para as paredes a refletância foi de 0.7, o teto tinha 0.25 de refletância difusa. Neste caso foram tomados os materiais mais próximos aos materiais reais da casa de teste.

Um parâmetro importante para determinar a eficiência do tubo é o comprimento do mesmo. O tubo é mais eficiente quando tem menor comprimento, dependendo isto também da ubiquação onde será instalado o tubo, se a localidade está ou não distante da linha do Equador [9, 10].

A relação diâmetro/comprimento dos três tubos é de aproximadamente 1:3. Os três dutos simulados têm as mesmas características, 25 cm de diâmetro para o coletor e difusor, variando a medida do comprimento de acordo com a inclinação do segundo e terceiro tubo com a angulação de 30^0 (Figura 3).

Para os três modelos simulados foram dadas as mesmas características ópticas dos materiais, o revestimento interno do tubo, tem refletância especular 0.98 e para o coletor e difusor foram dadas as mesmas características, transmitância especular de 0.9, considerando como material o policarbonato. A Tabela 2 mostra as características ópticas dos materiais considerados na simulação.

Os modelos simulados consideram a latitude e longitude da cidade de Curitiba, para este caso a latitude é de -25.51^0 e a longitude é de -49.27^0, a programação de diversas

cidades do Brasil é uma ferramenta do software. Foram eleitos três tipos de céu padronizados pela Comissão Internacional de Iluminação [3] e que estão disponibilizados no software. Foram selecionados os céus 5, 10 e 15, o céu tipo 5 corresponde ao céu encoberto, o céu tipo 10 corresponde ao céu parcialmente nublado e o céu 15 ao céu claro. Estes três tipos de céus são suficientes para definir as condições de luz natural num clima [14].

Tabela 2: Refletâncias e Transmitâncias dos materiais adotados nas simulações

Material	Transmitância Especular	Refletância Especular
Lâmina - interior do duto solar (mylar®)	----	0.98
Coletor policarbonato	0.90	0.08
Difusor Policarbonato	0.90	0.08

Foram realizadas as simulações no período entre 07h e 17h, hora solar, nos solstícios de inverno e verão (22/06, 22/12), além do equinócio de outono e primavera (22/03, 22/9), datas correspondentes ao hemisfério Sul, com a finalidade de determinar a eficácia do sistema ao longo do ano.

Como azimute com respeito ao eixo x, foi tomado 21^0, por ser esta a orientação da casa do teste com relação ao norte. Para a análise do desempenho dos sistemas, foi definida uma malha de 20 pontos localizados à altura do plano de trabalho de 0,75m, como está indicado na Figura 5.

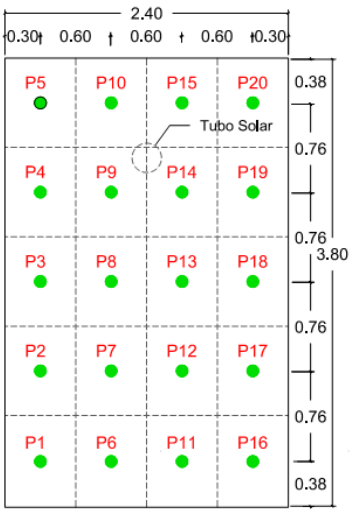


Figura 5: Esquema do ambiente e pontos de análise utilizados para a simulação.

Os dados de saída obtidos no software Troplux por meio de tabelas foram exportados para o programa Excel 2010, uma opção de dados de saída do programa [17], para tabular e organizar os resultados. Neste caso foi analisada a distribuição da luz nas horas úteis sobre o plano de trabalho e a saída gráfica de coeficientes de luz natural.

O programa Troplux apresenta, sob a forma de tabelas, os valores de iluminâncias para todos os pontos processados no ambiente, segundo a configuração de sua posição relativa na sala, a orientação do modelo, o dia, o horário e o padrão de céu [14]. Em este caso os resultados foram organizados segundo o tipo de céu e data, fazendo a comparação dos três tubos. A margem de erro do programa Troplux na análise dos resultados é de 5 % [17]. Dos 20 pontos tomados (Figura 5) foi calculada a média destas 20 iluminâncias para cada hora processada na simulação.

Na seguinte etapa foi feita a simulação do tubo mais eficiente com a janela existente na casa de teste para analisar o nível das iluminâncias no ambiente real de uso.

3.2 Desempenho lumínico do tubo solar em ambiente real de uso

Na segunda etapa, foi simulado o duto de luz eleito. Neste caso, com as características do ambiente real onde seria instalado, onde deve-se considerar a luz da janela existente na casa de teste. Desta forma, foi possível definir algumas adaptações, principalmente no difusor do sistema, para potencializar o desempenho do duto.

Este ambiente real onde foi instalado o tubo tem 29 % de PJF (percentual de janela na fachada). As dimensões da janela são 1.5 x 1.2 metros. Para esta etapa foram consideradas duas zonas, as quais estão separadas de acordo com a malha dos pontos de análise usados no *software*. As características geométricas desta sala estão na Figura 6.

Nesta etapa, foram considerados os mesmos parâmetros ambientais da etapa anterior. A malha de análise no plano de trabalho está localizada à altura do plano de trabalho de 0,75m (Figura 6). Ao igual que nas simulações anteriores, foram considerados os três tipos de céu 5, 10 e 15. As 4 datas tomadas correspondem da mesma forma aos equinócios e solstícios.

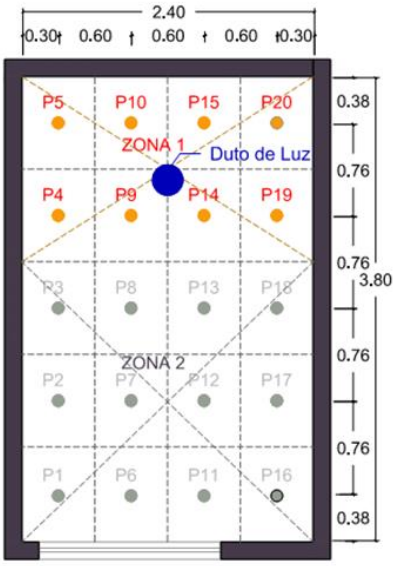


Figura 6: Ambiente com a janela e as duas zonas de análise.

4. RESULTADOS

4.1 Comparação do Desempenho de três tubos de luz solar.

4.1.1 Comparação entre os três tubos para céu tipo 5

A Figura 7 apresenta a distribuição da luz para o céu tipo 5 nos meses de março e setembro. Pode ser observado na Figura 7 que o melhor desempenho luminoso para o céu 5 nos meses de março e setembro é apresentado no tubo 1, seguido do tubo 3 e finalmente o tubo 2 tem os menores valores de iluminâncias.

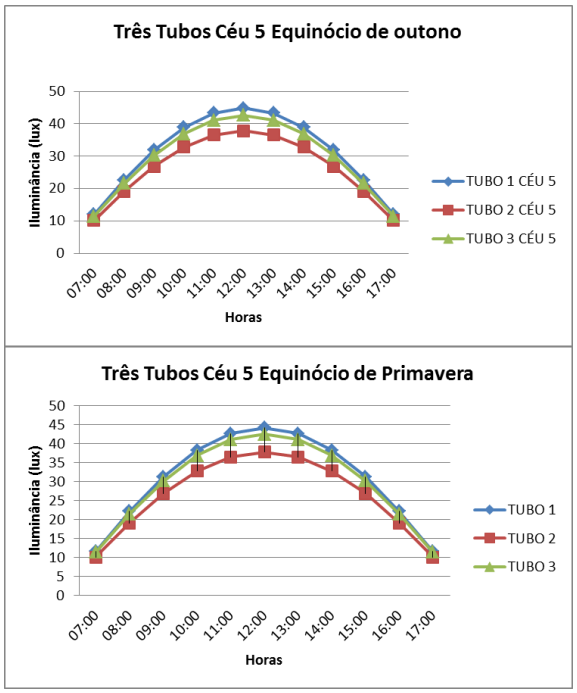


Figura 7: Distribuição da luz natural nos equinócios para os três tubos em céu tipo 5

A Figura 8 apresenta a distribuição da luz para o céu tipo 5 nos meses de dezembro e junho. Na figura 13 observa-se que o melhor desempenho luminoso, no céu 5 nos meses de junho e dezembro é para o tubo 1, seguido do tubo 3 e finalmente o tubo 2 tem os menores valores de iluminâncias, apresentando os valores mais altos das iluminâncias ao meio dia.

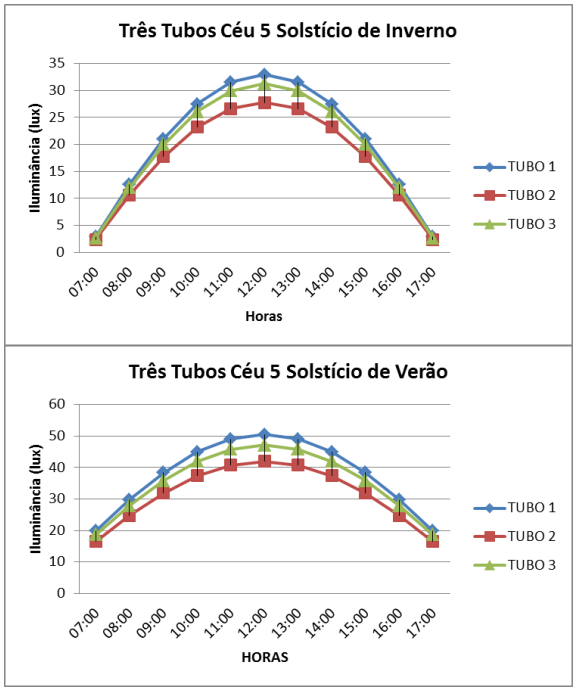


Figura 8: Distribuição da luz natural nos solstícios para os três tubos em céu tipo 5

4.1.2 Comparação entre os três tubos para céu tipo 10

A Figura 9 apresenta a distribuição da luz para o céu tipo 10 nos meses de março e setembro. Na figura 14 observa-se que o melhor desempenho luminoso, no céu 10 nos meses de março e setembro é para o tubo 1, seguido do tubo 3 e finalmente o de menor desempenho é o tubo 2, exibindo o tubo 3 melhor desempenho nos horários das 7 horas às 9 horas e das 15 horas às 17 horas para ambas datas.

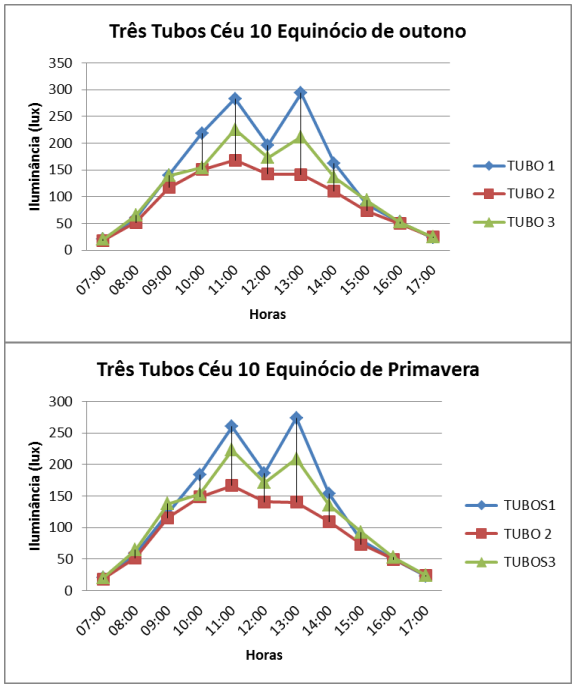


Figura 9: Distribuição da luz natural nos equinócios para os três tubos em céu tipo 10

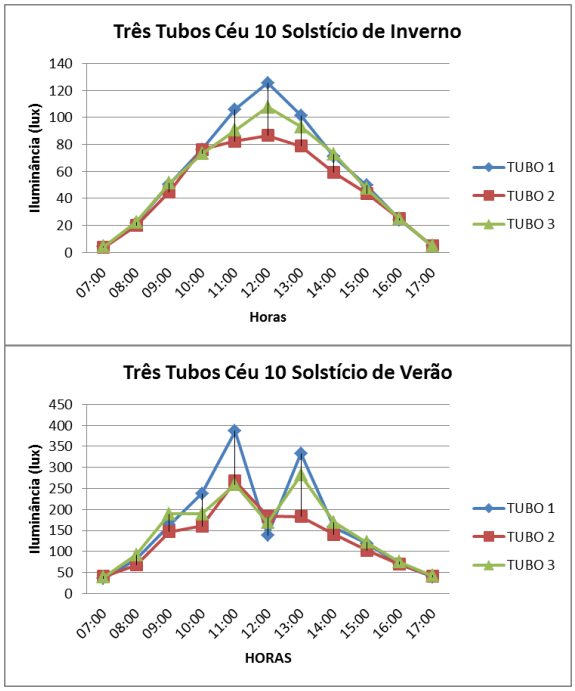


Figura 10: Distribuição da luz natural nos solstícios para os três tubos em céu tipo 10

A Figura 10 apresenta a distribuição da luz para o céu tipo 10 nos meses de junho e dezembro. Neste caso o melhor desempenho luminoso, no céu 10 no mês de junho é para o tubo 1, seguido do tubo 3 e finalmente o de menor desempenho é o tubo 2, mas o tubo 3 tem melhor desempenho para o dia 22 de dezembro no decurso das horas, com exceção das 10, 11 e 13 horas, onde o tubo 1 tem maiores níveis de iluminâncias.

4.1.3 Comparação entre os três tubos para céu tipo 15

A Figura 11 mostra a distribuição da luz para o céu tipo 15 nos meses de março e setembro. Pode-se observar que o melhor desempenho luminoso, no céu 15 no mês de março é para o tubo 1, seguido do tubo 3 e finalmente o de menor desempenho é o tubo 2, exibindo o tubo 3 maiores valores nos horários das 7 horas às 9 horas e das 15 horas às 17 horas. O dia 22 de setembro o tubo 1 apresenta maiores níveis de iluminâncias em comparação com os tubos 2 e 3 das 11 horas às 14 horas, o tubo 3 por outro lado apresenta maiores níveis de luz das 7 horas às 10 horas e das 15 às 17 horas em comparação com o tubo 1 e 2.

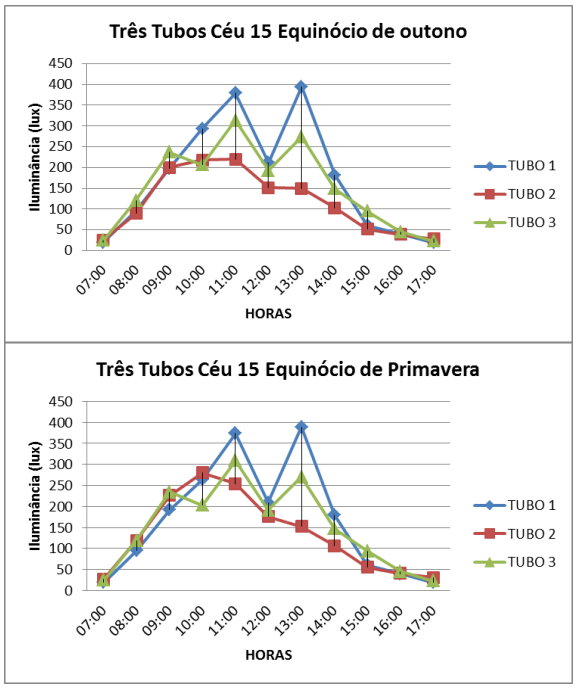


Figura 11: Distribuição da luz natural nos equinócios para os três tubos em céu tipo 15

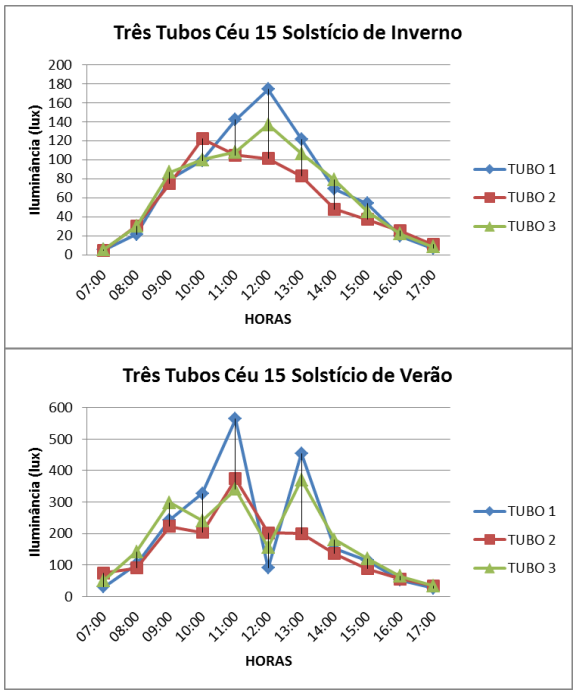


Figura 12: Distribuição da luz natural nos solstícios para os três tubos em céu tipo 15

A Figura 12 apresenta a distribuição da luz para o céu tipo 15 nos meses de junho e dezembro. Neste caso, no céu 15 no mês de junho, o tubo 1 apresenta maiores iluminâncias nos horários das 11 às 13 horas e às 15 horas, para o caso do tubo 3 as maiores iluminâncias são apresentadas das 7 às 10 horas e às 14,16 e 17 horas.

Para o dia 22 de dezembro, o tubo 1 tem os maiores valores, com relação aos tubos 2 e 3, só às 10, 11 e 13 horas, o tubo 3, por outro lado, tem maiores valores às 8 e 9 horas e das 14 às 17 horas.

A tabela 3 sintetiza os principais resultados dos modelos obtidos para os três tubos para as datas e tipos de céu simulados.

Tabela 3: Principais resultados obtidos para as quatro datas simuladas

Modelo de Tubo	Principal resultado obtido por data e tipo de céu
Tubo 1	O tubo 1 apresenta melhor desempenho no céu tipo 5 para as 4 datas.
	Para o céu tipo 10 nos equinócios o tubo apresenta maiores níveis de iluminâncias.
	Para os equinócios no céu 15, o tubo apresenta maiores valores nos horários perto do meio dia.
	Mais eficiente para o solstício de inverno para todas as datas.
Tubo 2	Menos eficiente dos três tubos simulados para todas as datas e tipos de céu.
Tubo 3	Para os equinócios no céu 15 o tubo apresenta maiores valores nas primeiras e últimas horas.
	Atinge em mais horários níveis mais altos para o céu 10 e 15 no solstício de verão, mas estas diferenças são mínimas em comparação com o tubo 1.

4.2 Desempenho Lumínico do tubo de luz solar em ambiente real de uso

Mediante a análise da etapa anterior, foi simulado o tubo de luz solar reto com a janela existente na sala, como explicado no método. Neste caso, foi analisada a zona 1, da sala simulada, porque esta zona recebe mais influência lumínica do tubo de luz solar.

Para o equinócio de outono, as iluminâncias do ambiente com a janela e o tubo, na zona 1, apresentam alguns valores elevados em determinados horários, acontecendo isto com maior ênfase, para os céus 10 e 15. Um acontecimento similar é observado no equinócio de Primavera (Figura 13).

Deve-se observar que a referência para as iluminâncias mínimas exigidas, de acordo com a norma NBR5413 utilizada neste caso é de 300 lux. Para evitar a iluminação excessiva e ofuscamento deve-se plantear um tipo de controle de luz no sistema de difusão. Da mesma forma deve-se ter em consideração os valores baixos das iluminâncias em algumas horas para o caso de céu 5 em ambas datas. Para isto é preciso plantear no sistema de difusão um dispositivo que ajude a redirecionar a luz para as zonas de trabalho a ser utilizadas. A Figura 13 mostra os valores das iluminâncias para as horas simuladas nos equinócios

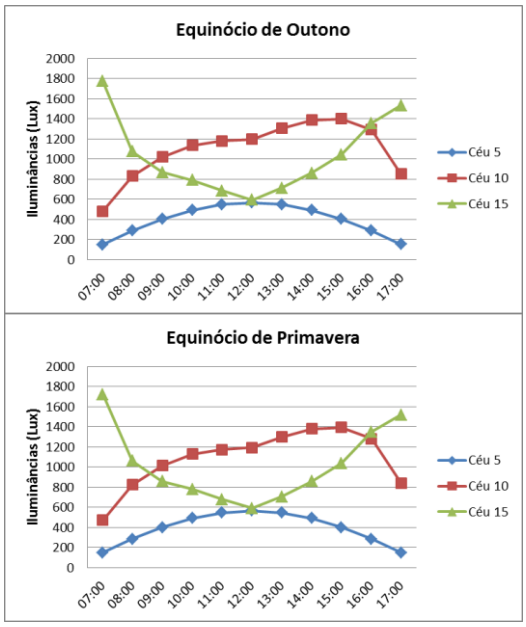


Figura 13: Valores das iluminâncias internas para os equinócios nos três tipos de céu

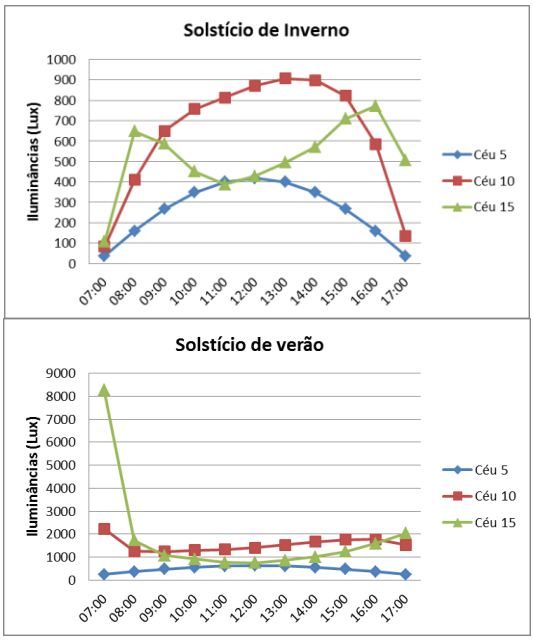


Figura 14: Valores das iluminâncias internas para os solstícios nos três tipos de céu

Para o solstício de inverno, no céu 5, as iluminâncias apresentam valores baixos em determinados horários. Considerou-se as iluminâncias de 300 lux como a mínima requerida, como explicado anteriormente. Para os céus 10 e 15 os valores são mais elevados (Figura 14).

No solstício de verão, as iluminâncias para os céus 10 e 15 os valores são os mais elevados em comparação com as outras datas. Neste caso, para evitar a iluminação excessiva e ofuscamento, deve-se plantear um tipo de controle de luz no sistema de difusão, como mencionado anteriormente. A Figura 14 mostra os valores das iluminâncias para as horas simuladas nos solstícios.

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS: DEFINIÇÃO DE PARÂMETROS DE DESIGN

A partir dos resultados obtidos com estas simulações foram determinados os parâmetros de Design para o tubo a ser desenvolvido e instalado. Estes parâmetros estão definidos na Figura 15.

Recomenda-se como parâmetro para o coletor em todos os casos, um tratamento eletrolítico no material do coletor, para minimizar a acumulação de poeira.

Parâmetros de Design para tubos de Luz Solar		
Tipo de Tubo de luz		
Parâmetro	**Resultado**	**Recomendações**
Reto	Mais eficiente nos horários perto ao meio dia nos equinócios e solstício de inverno	Difusor: Utilizar elementos de controle de luz
		Coletor: Utilizar dispositivo de redirecionamento de luz ou fazer um corte na parte superior do tubo com direção ao norte para maximizar a captação de luz
Com cotovelo de 30 ^{0}	Mais eficiente no solstício de verão e em horários perto das primeiras horas e últimas horas do dia	Difusor: Utilizar elementos de redirecionamento de luz
		Coletor: Utilizar dispositivo de redirecionamento de luz
Inclinado	Menos eficiente	Coletor: Aumentar a transmitância do material e utilizar elementos de redirecionamento de luz.
		Difusor: Utilizar elementos ópticos que maximizem a luz antes da peça do difusor.
		Aumentar diâmetro do tubo.
		Utilizar uma tecnologia especial no revestimento interior do tubo com uma refletância superior
Parâmetros para o sistema de difusão de luz para o tubo solar eleito - Ambiente com a janela		
Sistema de Controle de Luz parcial		
Dispositivo de Fechamento de Luz		Para as datas e horários onde a luz da janela é suficiente. Dispositivo ode ser manipulado manualmente u mecanicamente.
Controle parcial de Luz		Recomenda-se um sistema de dimerização para controlar a intensidade da luz. Para uma solução de baixo custo recomenda-se um sistema de controle que inclua um elemento óptico com menor transmitância de luz
Mecanismo de redirecionamento de Luz		Elemento revestido com material de alta refletância que foca a luz extra a planos de trabalho necessários

Figura 15: Determinação de Parâmetros de Design para tubos de luz solar

Como evidenciado na Figura 15, é necessário um sistema de controle de luz adicional na parte do difusor do duto para evitar as altas radiações solares em determinadas épocas do ano, está planteado em esta figura as possíveis alternativas que variam de acordo a disponibilidade de investimento para a construção do duto de sol.

Os dispositivos propostos, na Figura 15 tem como função principal controlar a entrada e nível de luz natural na parte do difusor. Procura-se evitar o desconforto visual como a luz excessiva e ofuscamento.

A peça de redirecionamento tem como função permitir redirecionar a luz e focar esta luz a planos de trabalhos que precisem um nível adicional de iluminação.

6. CONCLUSÕES

Neste trabalho, foram determinados os parâmetros de design para a configuração de um tubo de luz solar, através da simulação computacional. Foram analisados e comparados três configurações de tubos solares com design diferentes mediante simulação no software Troplux. Com base nas análises, o tubo mais eficiente foi eleito, o tubo reto.

Nesta primeira etapa da pesquisa, verificou-se que grande parte da eficiência do duto solar, depende da forma geométrica do tubo. No tubo 1, de geometria reta, considerado o mais eficiente, conclui-se que acontece um número menor de reflexões no interior do tubo, de acordo com os resultados analisados, sendo esta forma a ideal, mas só para o caso analisado neste trabalho.

Para o solstício de verão, o tubo 1 gera níveis de iluminância até 58% superiores, em comparação com os outros tubos. Para o equinócio de primavera, atinge valores de iluminância até 39% mais altos, em comparação com o tubo menos eficiente (totalmente inclinado).

Na etapa seguinte, este tubo reto foi simulado com a janela real existente na sala onde seria instalado o tubo. Para os equinócios de outono e primavera, foram obtidos valores altos das iluminâncias, nos céus claro e semicoberto. Também foi observado este acontecimento no solstício de verão. Para o solstício de inverno, no céu encoberto, apresentam-se valores baixos. Foi planteado por este motivo, um sistema de controle de luz na parte do difusor, para evitar diversos fenómenos da luz e otimizar o desempenho do duto. As alternativas propostas procuram principalmente regular o nível de luz natural na sala por parte do usuário e, da mesma forma, utilizar um sistema de redirecionamento de luz como opção complementar para melhorar o conforto lumínico.

A simulação efetuada serve para fazer a previsão da eficiência de entrega de luz natural no ambiente eleito. Nesta pesquisa, serviu principalmente para não realizar futuras modificações no tubo que foi instalado, porque foi possível determinar qual é o tubo mais eficiente das três geometrias propostas e da mesma forma foram determinados sistemas de controle de luz para otimizar o desempenho do duto e evitar o ofuscamento em determinados horários e datas.

Neste sentido, a través da determinação de parâmetros de design dos tubos, foi possível o desenvolvimento de um protótipo de tubo de luz, com isto foi cumprido o objetivo desta pesquisa.

O tubo eleito foi configurado e está atualmente instalado na casa de teste 1.0 da Universidade Federal do Paraná. Foram utilizados os resultados destas simulações como fatores determinantes para realizar a configuração final do duto de luz solar.

Deve-se considerar como limitação deste trabalho que os parâmetros determinados correspondem principalmente à cidade de Curitiba e aos parâmetros ambientais do local onde foi instalado o tubo de luz solar.

Para futuras pesquisas, recomenda-se definir parâmetros mediante a comparação de diferentes opções geométricas de tubos de luz, com diferentes componentes ópticos e, da mesma forma, realizar as simulações em outras coordenadas geográficas do Brasil.

REFERÊNCIAS

[1]. AL-MARWAEE, M; CARTER, D. Tubular Guidance Systems for Daylight: Achieved and Predicted Installation Performances. Applied Energy, v. 83, n. 7, p. 744-788. Jul. 2006.

[2]. CABÚS, Ricardo C. TropLux: um sotaque tropical na simulação da luz natural em edificações. In: IV Encontro Latino-Americano e VIII Encontro Nacional Sobre Conforto no Ambiente Construído, Maceió, 2005, Anais...Maceió, ENCAC-ELAC 2005.

[3]. CIE - Commission Internationale del'Eclairage: Spatial Distribution of Daylight – CIE Standard General Sky. CIE S 011/E:2003, ISO 15469:2003(E), Viena, 2003.

[4]. CLARO, A.; PEREIRA, F.; LEDO, R. Apolux – an innovative computer code for daylight design and analysis in architecture and urbanism. In: International IBPSA Conference, 9., 2005, Montreal. Anais eletrônicos... Montreal, 2005. Disponível em: <http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2005/BS05_0199_206.pdf>. Acesso em: 28/10/2012.

[5]. CORREIA, A. G. U. Avaliação Pós-Ocupação da Iluminação Natural das Salas dos Setores de Aulas Teóricas da Universidade de Rio Grande do Norte. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Curso de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo – Universidade Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

[6]. JIN, S.O et al. Computational analysis on the enhancement of daylight penetration into dimly lit spaces: Light tube vs. fiber optic dish concentrator. Building and Environment, v. 59, p. 261–274, Jan. 2013.

[7]. KIM G.; KIM J. Overview and New Developments in Optical Daylighting Systems for Building a Healthy Indoor Environment. Building and Environment, v. 45, n. 2, p. 256–269, Feb. 2010.

[8]. KOCIFAJ, M. Efficient tubular light guide with two-component glazing with Lambertian diffuser and clear glass. Applied Energy, v. 86, n. 7, p. 1031-1036, 2009.

[9]. KOCIFAJ, M. et al, 2012. Availability of luminous flux below a bended light-pipe: Design modelling under optimal daylight conditions. Solar Energy, v. 86, n.9, p. 2753–2761, 2012.

[10]. LI, D. H. W et al. An Analysis of Light-pipe System via Full-scale Measurements. Applied Energy, v. 87, n.1, p. 799–805, Mar. 2010.

[11]. MAYHOUB, M.; CARTER, D.A Feasibility Study for Hybrid Lighting Systems. Building and Environment, v. 53, p. 83–94, Jul, 2012.

[12]. MOHELNIKOVA, J. Tubular Light Guide Evaluation. Building and Environment, v. 44, n. 10, p. 2193–2200, Oct. 2009.

[13]. SOL-AR. SOLAR, versão 5.0. Florianópolis: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, 2012.

[14]. SOTO S. F. J. Avaliação do Desempenho Luminoso de Duto de Luz: Estudo da Implementação em Ambientes Padrões de Habitações Populares em Três Latitudes. Dissertação (Mestrado em Dinâmicas do Espaço Habitado). Programa de Pós- Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2010.

[15]. SOUZA, D. A. Avaliação Teórica e Experimental do Desempenho de Duto de Luz, na Cidade de São Carlos – SP. Dissertação (Mestrado em Construção Civil). Programa de Pós- Graduação em Construção Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2005.

[16]. TOLEDO, G. E.; BUSCH, L. E.; PELEGRINI, A.V. (2012). Tecnologias e Benefícios dos dutos solares: Uma revisão estruturada da literatura visando identificar parâmetros de projeto e contribuir para o design sustentável. In: IV Simposio Paranaense de Diseño Sustentable, Curitiba, 2012, Anais...Curitiba, SPDS 2012.

[17]. TROPLUX. Troplux – Guia do usuário. Maceió: Grillu. 2011.

[18]. VERSO, V. R. M.; PELLEGRINO, A.; SERRA, V. Light Transmission Efficiency of Daylight Guidance Systems: An Assessment Approach Based on Simulations and Measurements in a Sun/sky Simulator. Solar Energy, v. 85, n.11, p. 2789–2801, Nov. 2011.