



A ILUMINAÇÃO NATURAL ATRAVÉS DE DUTOS DE SOL EM AMBIENTES ENCLAUSURADOS

Jane Tassinari Fantinelli

Doutoranda - Universidade Estadual de Campinas jane@fem.unicamp.br
Rua Dr. Avelino Valente do Couto 68, Bairro Village, Campinas, SP. CEP 13085-703

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo estudar alternativas de iluminação para ambientes enclausurados de moradias, através de dutos construídos com superfícies refletoras e de fácil execução. O trabalho de investigação experimental foi realizado com protótipos em escala reduzida, sob condições de céu real na cidade de Campinas-SP. Foram medidos, através de sensores, os níveis de iluminação de duas soluções, a de dutos de alvenarias e a de dutos extensores de PET revestidos internamente com laminados de alumínio de uso caseiro. Os resultados verificados com os níveis de iluminância utilizando dutos retangulares com aleta em espelho, de 4,10m de altura (piso inferior do protótipo reduzido), situaram-se entre 600 lux a 11.000 lux, num período compreendido entre 9h e 15h3min, representando um aproveitamento médio de 1% sobre a iluminação solar direta. Os níveis de iluminância obtidos com os tubos extensores de 3,45m de altura e área de $157 \times 10^{-5} \text{m}^2$ foram modestos, em torno de 140 lux a 160 lux, num período compreendido entre 9h e 16h, para iluminação solar direta variando entre 65.000 lux a 80.000 lux. As dimensões especificadas nas duas propostas, entretanto, deverão ser ajustadas para que sejam alcançadas as iluminações naturais adequadas para um ambiente de trabalho doméstico.

Palavras-chave: dutos de sol refletores; iluminação natural por dutos; iluminação espaço enclausurado; iluminação habitação popular.

ABSTRACT

This work had as objective to study alternatives of illumination for confined spaces of household, through of reflecting sun ducts with superficies. The work of experimental inquiry was carried through with prototype in reduced scale, under conditions of skylight in the city of Campinas, SP. They had been measured, through sensors, the illuminance of two solutions that had reached values between 600 lux and 11.000 lux, in one period understood between 9 a.m. and 3 p.m., representing an average of 1% on the direct solar illumination.

1. OBJETIVO E METODOLOGIA

A integração de estratégias que venham reduzir o consumo de energia, e ao mesmo tempo dar soluções de conforto luminoso para espaços que foram projetados sem acesso natural à incidência solar constitui-se no objetivo deste trabalho. As pesquisas bibliográficas realizadas buscaram selecionar as soluções de captação e reflexão da luz natural propostas por alguns arquitetos no projeto arquitetônico e as soluções tecnológicas (equipamentos) desenvolvidas, até o momento, com o uso de recursos de

duto reflexivos. A intenção foi identificar as que pudessem ser incorporadas ao projeto arquitetônico e executadas durante a construção da edificação, inclusive em forma de autoconstrução.

Estudo de tipologias e tecnologias existentes de dutos de luz construídos com superfícies refletoras e de fácil execução (Baker & Steemers, 2000; Ganslandt & Hofmann, 1999; Guzowski, 1999; Majoros, 1998; Fontoyont, 1999), serviram de fonte para propostas de soluções apropriadas a serem utilizadas em habitações populares. Gerada a idéia, e tomando-se como problema referencial o de uma habitação popular existente, foram desenvolvidos dois protótipos de dutos com materiais alternativos. Construídos em escalas reduzidas, dutos e espaços da habitação escolhida, foram realizadas as medições da iluminação natural incidente nestes espaços (através de sensores), sob condições reais de céu na cidade de Campinas, SP (Fantinelli, 2003).

2. A EDIFICAÇÃO ESCOLHIDA COMO ESTUDO DE CASO

Em 2002 uma Avaliação Pós-Ocupação do Ambiente Construído foi realizada por Fantinelli e Gabriel em um núcleo habitacional com 127 unidades, na Vila Nova Progresso, localizada na cidade de Santo André, em São Paulo. A pesquisa deu ênfase aos aspectos sócio-econômicos, técnico-construtivos, de conforto ambiental e consumo energético (eletricidade) das habitações. A iluminação natural foi um dos itens mais negativos encontrados na análise das condições ambientais das moradias. Aberturas de reduzidas dimensões e inexistência delas em cômodos centrais (quando o pátio na parte dos fundos da moradia foi fechado e coberto) foi uma das causas responsáveis para a insalubridade encontrada: paredes e tetos mofados, cômodos escuros e mal-cheirosos. Para o estudo de caso foi selecionada uma das habitações pertencente ao núcleo.

3. O SISTEMA DE DUTO REFLETOR DE LUZ DE FÁCIL EXECUÇÃO

O estudo teve em vista espaços enclausurados de habitações populares autoconstruídas. Diante do referencial teórico pesquisado e visto ser destinado às populações de baixa renda, propôs-se o uso de materiais de pequeno custo (inclusive recicláveis) para a solução de um sistema que conduzisse a luminosidade até o espaço desejado.

Foram projetados dois tipos de soluções:

- I. Dutos retangulares revestidos com materiais reflexivos;
- II. Tubos extensores circulares, igualmente revestidos com materiais reflexivos, e condutores da iluminação até o espaço desejado.

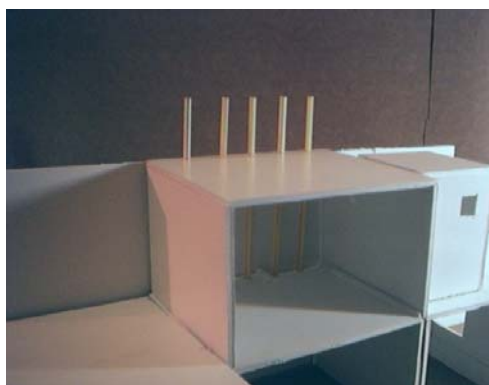


Figura 1. Solução I: vista da maquete da moradia (esc 1:20) com os dutos e a clarabóia na cobertura.

Figura 2. Solução II: vista da maquete (esc 1:20) com os dutos passando junto à parede da divisa, levados até o cômodo do pavimento térreo, situado na parte central da moradia. Para o registro fotográfico foi suprimida a parede da divisa do norte geográfico. Fotos: A autora

3.1 Proposta I: uso de dutos retangulares

Nesta primeira proposta usaram-se como solução para levar a iluminação natural aos espaços enclausurados, dutos retangulares capazes de serem construídos de alvenaria de tijolos cerâmicos, para posteriormente serem revestidos com materiais reflexivos. Outra hipótese seria o da construção de caixas de madeiras, de aglomerado, revestidas internamente com lâminas de alumínio, o que possibilitaria a manutenção interna, através de painéis móveis, parafusados e isolados.

Propôs-se na parte inferior do duto uma aleta de madeira, igualmente revestida com alumínio ou espelho, capaz de girar de acordo com a melhor incidência de iluminação desejada, ora em um, ou em outro ponto do cômodo. Junto à cobertura propôs-se que o duto fosse construído em alvenaria (revestido internamente com caixa de madeira aglomerada e lâmina de alumínio) transformando-se em uma clarabóia. A cobertura com estrutura de alumínio (em V) seria revestida com vidro para possibilitar a manutenção (Figuras 3 e 4).

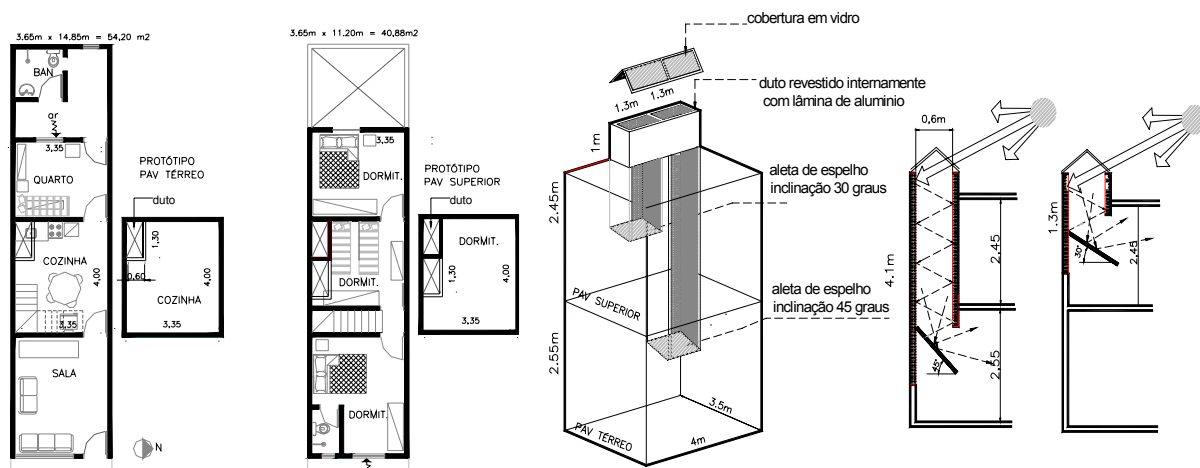


Figura 3. Plantas baixas (térreo e pav. superior) da moradia *estudo de caso*, com a intervenção teórica realizada no espaço central da moradia: cozinha e dormitório.

Figura 4. Esquema dos dutos passando pela parte central e enclausurada da habitação, levando iluminação natural para a cozinha, no pavimento inferior, e dormitório, no pavimento superior.

Os dutos ficaram com as seguintes dimensões internas:

- Cozinha - largura de 1,30m, profundidade de 0,60m. Altura de 4,10m, desde a aleta de reflexão - com inclinação de 45 graus - até a captação de luz junto à cobertura da edificação. Área do duto: $0,78\text{m}^2$. Volume do duto: $3,2\text{m}^3$
- Dormitório - largura de 1,30m, profundidade de 0,60m e 1,40m de altura, desde a aleta de reflexão (com inclinação de 45 graus) até a captação de luz junto à cobertura da edificação. Área do duto: $0,78\text{m}^2$. Volume do duto: $1,10\text{m}^3$.

3.2 Proposta II: uso de tubos extensores com materiais alternativos

Foram selecionados para os tubos extensores - garrafas PET- forrados internamente com lâmina de alumínio de uso caseiro de pequena espessura (Figura 5). As peças, com diâmetro de 9cm a 10cm, e comprimento variando entre 15cm e 21cm, foram encaixadas por pressão. Propôs-se que os tubos, no seu topo, devessem estar afastados da laje de cobertura da moradia e cobertos por uma caixa de vidro. Na outra extremidade do duto poderia ser usada a base da garrafa PET, um acrílico ou plástico transparente. No modelo reduzido foram usados tubos feitos com laminado de alumínio, igualmente com diâmetro de 10cm, em escala 1:20, afastados 1m da laje de cobertura.

Os tubos, com área de $3,14 \times 10^{-5}\text{m}^2$, foram distribuídos junto à parede sul do modelo reduzido, a cada 60 cm e 20 cm do seu eixo, no sentido longitudinal e transversal, respectivamente, num total de cinco unidades (Figura 5). Cada cômodo ficou com a seguinte configuração:

Cozinha: seis tubos com 3,95m de altura, desde a base de reflexão, até a captação da luz solar junto à cobertura da edificação. Área total dos 6 dutos de $157 \times 10^{-5}\text{m}^2$ (área total de entrada de iluminação).
 Dormitório: seis tubos com 1,0m de altura, desde a base de reflexão, até a captação da luz solar junto à cobertura da edificação. Área total dos seis dutos de $157 \times 10^{-5}\text{m}^2$ (área total de entrada de iluminação).

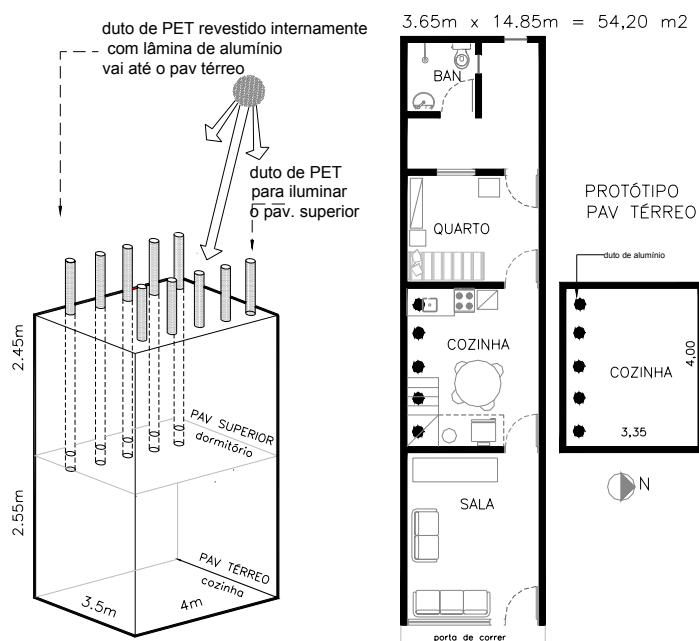


Figura 5. Esquema do protótipo e da planta baixa da moradia estudo de caso - com a intervenção realizada. Os dutos passam pela parte central e enclausurada da moradia, levando iluminação natural para o dormitório e a cozinha, através de dutos extensores propostos em garrafa PET, revestidos internamente com laminado de alumínio de uso caseiro.

5. OS PROTÓTIPOS E A MENSURAÇÃO COM LUZ SOLAR DIRETA

O trabalho de investigação experimental foi realizado com maquetes sob condições de céu real, a fim de determinar os níveis de iluminância nos seus ambientes internos, com as duas soluções propostas. Foram construídos dois protótipos em escala 1:20 (Figura 7 e 9), simulando a situação de enclausuramento dos ambientes da habitação autoconstruída, escolhida como estudo de caso. Os espaços situam-se na área da moradia que não recebem nenhum tipo de iluminação natural nos dois pavimentos: no térreo, onde está localizada uma cozinha, e no superior, onde um cômodo tem função de dormitório. A mensuração foi realizada entre os dias 11 a 21 de agosto de 2003, nas instalações externas do Laboratório de Conforto da Faculdade de Engenharia Civil da UNICAMP, em Campinas¹ (SP), com o protótipo posicionado conforme situação real da moradia em Santo André, com uma das divisas voltadas para o norte geográfico (Figuras 8 e 10).

A iluminação solar direta foi medida com o aparelho luxímetro, modelo T10, marca Minolta, em intervalos de uma hora. Para as medições das condições internas da iluminação natural (iluminância) foram utilizados dois sensores fotométricos, modelo BSR001, marca LSI, conectado a um multiaquisidor de dados, modelo Babuc. Os sensores foram posicionados no centro das maquetes, a 0,8m de altura do piso (escala 1:20), com medições simultâneas do pavimento superior e inferior (Figura 8 e 10). O monitoramento ocorreu durante quatro dias consecutivos, das 9h às 17h, em intervalos de 5 minutos, com a iluminância sendo medida no pavimento inferior (térreo) com o sensor 1 - e no pavimento superior com o sensor 2. A verificação da influência da cor do piso, paredes e objetos existentes em uma moradia, não foram considerados na simulação. Estipulou-se que todas as superfícies, inclusive tetos e pisos, fossem brancas e que não haveria objetos em seu interior.

¹ Área total 798 km²; altitude 680 metros; coordenadas geográficas: latitude S 22° 53' 20"; longitude: W 47° 04' 40". Clima: temperatura média outubro a março: 22°C a 24°C; abril a setembro: 18°C a 22°C. Umidade relativa do ar: outubro a março - 77% e abril a setembro - 65% (IBGE,2001).



Figura 7. Protótipo da Proposta I, com a posição dos sensores. Sensor 1: pavimento térreo. Sensor 2: pavimento superior. O modelo foi fotografado sem a parede da face do norte geográfico, para visualização dos sensores fotométricos.

Figura 8. O monitoramento do protótipo na Unicamp. A base onde foram fixados os protótipos foi revestida com papel kraft (bege escuro). Fotos: A autora.

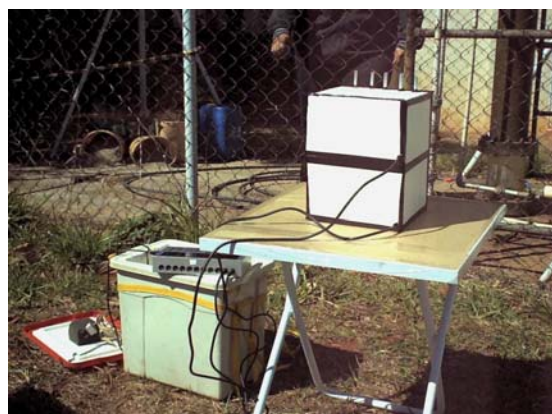
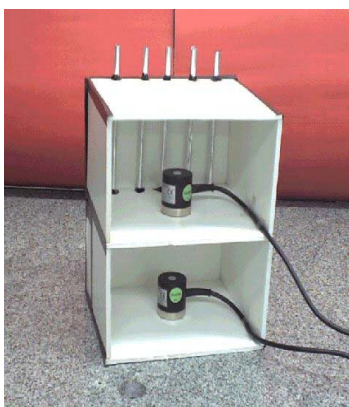


Figura 9. Protótipo da Proposta II – com tubos extensores de alumínio.

Figura 10. O monitoramento do protótipo nas instalações da Unicamp. Fotos: A autora.

5.1 Os resultados no protótipo com dutos retangulares

As medições realizadas no protótipo com dutos retangulares, entre os dias 11 a 14 de agosto de 2003, com céu claro durante os quatro dias, mostraram que a iluminância no pavimento superior atingiu valores significativamente maiores em relação ao piso inferior. A Figura 11 apresenta resultados levantados no dia 11 de agosto de 2003.

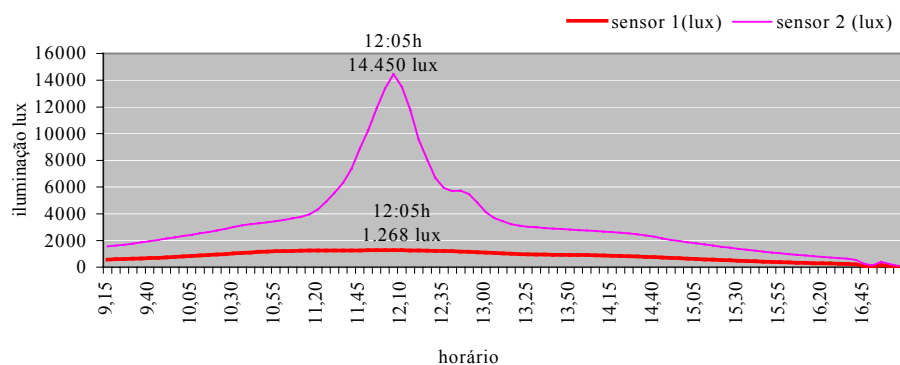


Figura 11. Iluminância obtido no protótipo com dutos retangulares, no piso inferior e superior, no dia 11 de agosto de 2003, entre 9h e 17h. Característica da abóbada celeste: céu claro (sem nuvens durante todo o dia).

Analisando os resultados obtidos no piso inferior, com o sensor 1 - Figura 12 - verificou-se que no horário entre 10h40 min e 13h20min, a iluminância teve pequena variação em sua intensidade, ficando entre 1.009 lux e 1.020 lux, chegando a uma intensidade maior, de 1.293 lux, às 12h10min. A partir deste horário decresceu conforme a diminuição da iluminação solar direta.

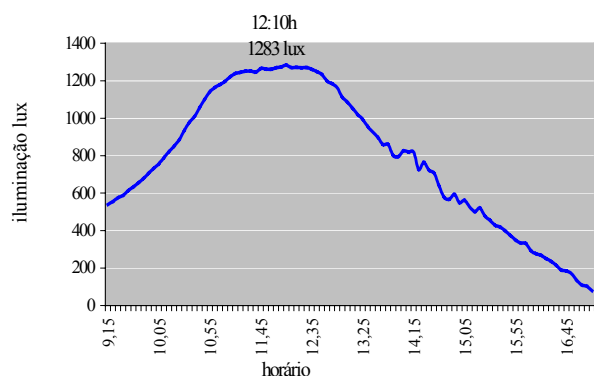


Figura 12. Sensor 1 do pavimento térreo.

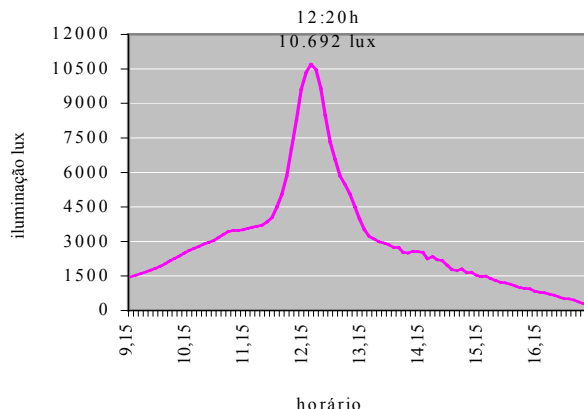


Figura 13. Sensor 2 do pavimento superior.

Inclinação da aleta refletora 45 graus. 11ago2003. Inclinação da aleta refletora 30 graus. 11ago2003

A análise dos resultados da iluminação alcançada no pavimento superior, mostrado na Figura 13, onde o duto possui a aleta de espelho com inclinação de 30 graus, mostrou que houve um pico concentrado no horário entre 11:55h e 12:55h. A iluminação solar direta, às 12 horas, foi de 97.900 lux, com o sensor 2 - registrando a iluminância de 10.692 lux. (pavimento superior), representando aproximadamente 10% da iluminação solar incidente. Simultaneamente o sensor 1 no pavimento inferior (Figura 12) mostrou o valor 1.283 lux (1,3%).

Na Figura 14, da iluminação solar direta, observou-se que os valores alcançados neste horário foram os maiores, mas com uma curva suave de declínio. Às 12h20min ela alcançou seu maior valor: 108.000 lux, com os sensores 1 e 2 (Figura 15) registrando 1.272 lux (1,1%) e 10.692 lux (9,9%) respectivamente. Às 14:10h a iluminação solar direta foi de 80.800 lux, para 820 lux no sensor 1 (pav inferior) e 2.547 lux no sensor 2 (pav superior), representando uma eficiência de 1% e 3%, respectivamente, sobre a iluminação solar incidente. Às 15h10min a iluminação solar foi de 52.600 lux para 526 lux (1%) no sensor 1 e 1.531 lux (2,9%) no sensor 2. Às 16h15min foi de 31.600 lux, para 293 lux (0,9%) no sensor 1, e 838 lux (2,7%) no sensor 2. Às 17h10min foi de 5.400 lux, 79 lux (1,4%) no sensor 1 e 215 lux (4%) no sensor 2.

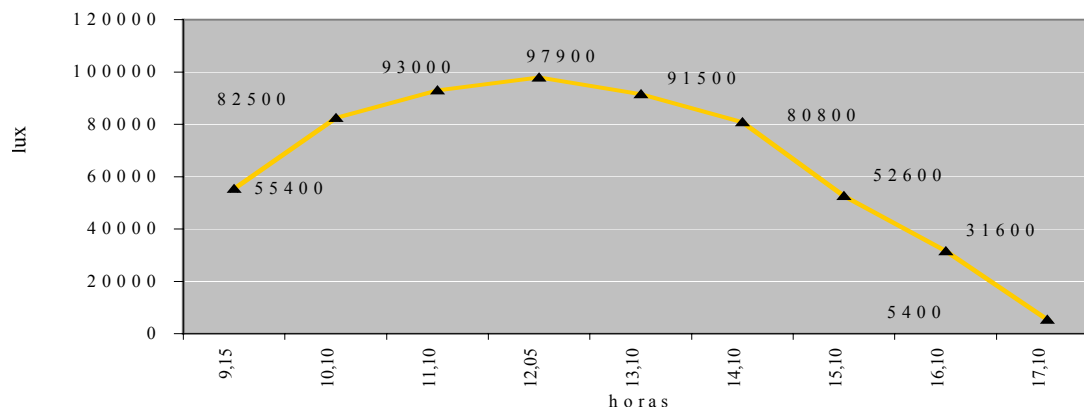


Figura 14. Iluminação solar direta em 14 de agosto 2002.

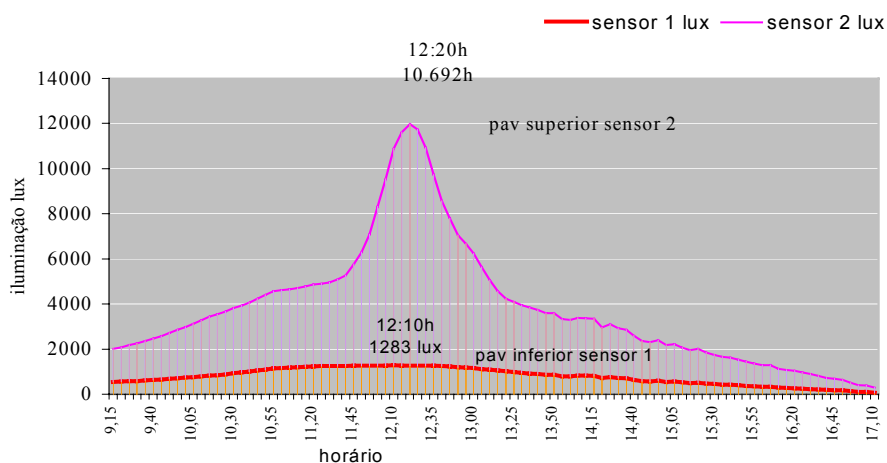


Figura 15. Iluminância obtido no protótipo com dutos retangulares, no dia 14 de agosto de 2003, com os dois sensores. Característica da abóbada: céu sem nuvens durante todo o dia.

Os maiores valores de iluminância no interior dos protótipos aconteceram entre 11h45min e 13h15min, com uma variação de 10.000 lux a 13.400 lux. A iluminância obtido no pavimento inferior do protótipo - sensor 1 - nos quatro dias de medição – (Figuras 16 e 17) mostrou valores que excedem o necessário para ambientes de trabalho como cozinhas, que podem ter uma iluminância variando, segundo Ganslandt & Hofmann (1992) entre 200lux a 500 lux

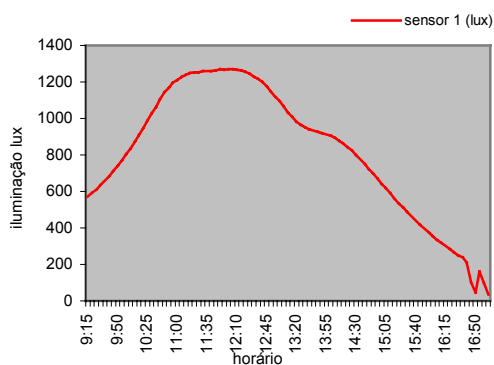


Figura 16. Sensor 1 em 11 ago 2003.

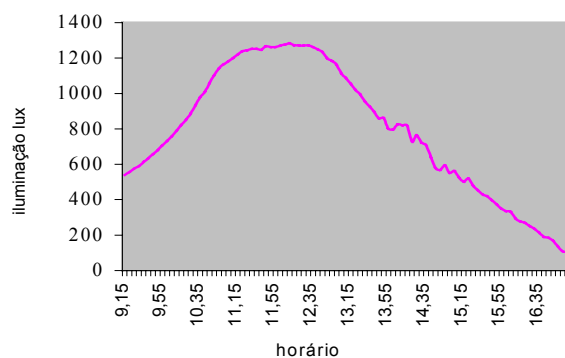


Figura 17. Sensor 1 em 14 ago 2003.

5.2 Os resultados no protótipo com dutos extensores reflexivos

As medições no protótipo com tubos extensores de alumínio foram realizadas entre os dias 18 e 21 de agosto de 2003 (Gráficos 18), com céu claro durante os quatro dias.

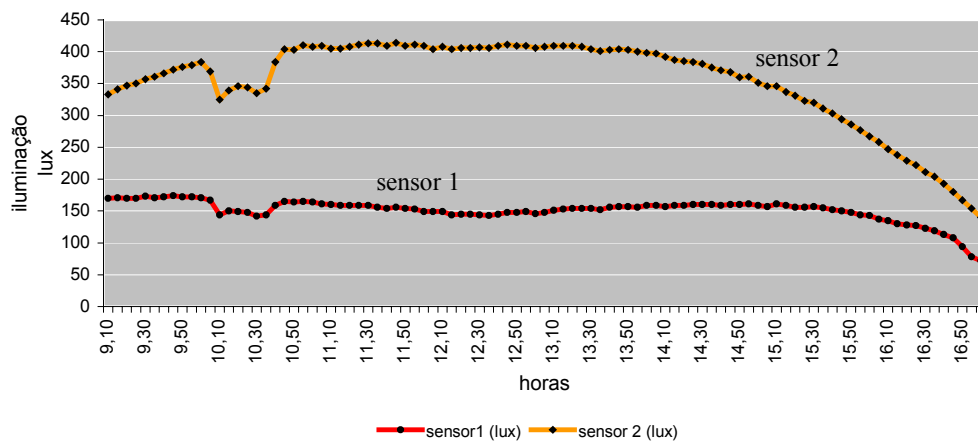


Figura 18. Iluminância obtida com o uso de dutos extensores reflexivos de alumínio (PET), no pavimento inferior (sensor 1) e superior (sensor 2) do protótipo, em 19 de agosto de 2003.

Os resultados das Figuras 19, 20, 21 e 22 mostram a iluminância alcançada pelos 6 dutos de alumínio, de 3,45m de altura e $157 \times 10^{-5} \text{ m}^2$ (escala 1:20).

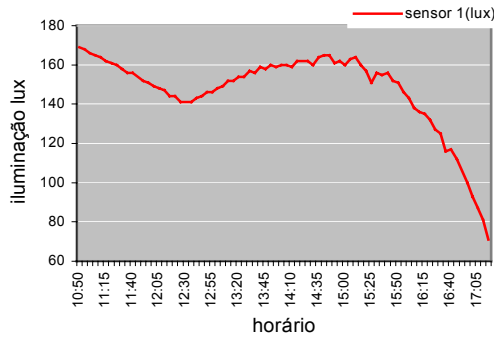


Figura 19. Iluminância sensor 1 dia 18ago 2003.

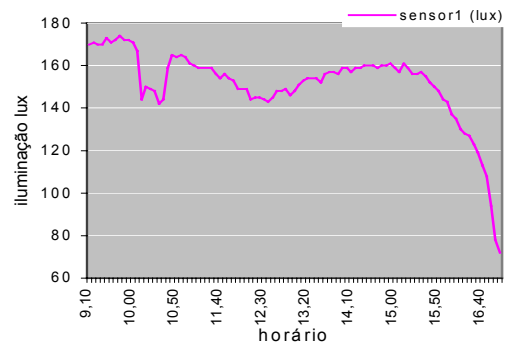


Figura 20 iluminância sensor 1 dia 19 ago 2003.

No pavimento inferior houveram valores inversos ao da radiação solar (Figura 23) do meio dia, mostrada na Figura 23, nos quatro dias de medições. Entre 9h e 10h os valores da iluminância mantiveram-se em torno 160 lux a 170 lux. Decresceram no horário do meio dia aproximadamente 20 lux. Voltaram a crescer até 15h30min, alcançando aproximadamente valores em torno de 160 lux, e a partir de então caíram acentuadamente até 50 lux.

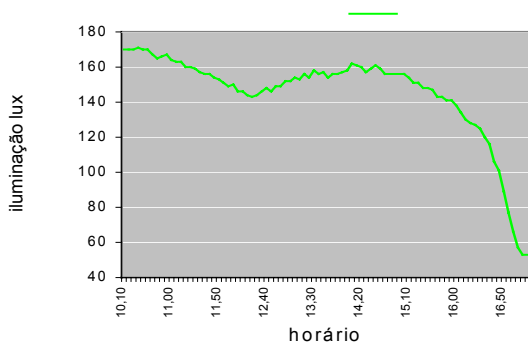


Figura 21. Iluminância sensor 1 dia 20 ago 2003

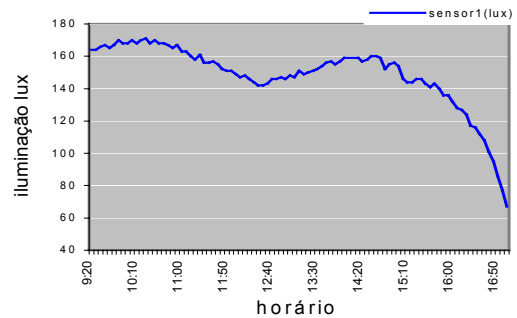


Figura 22. Iluminância sensor 2 dia 21 ago 2003.

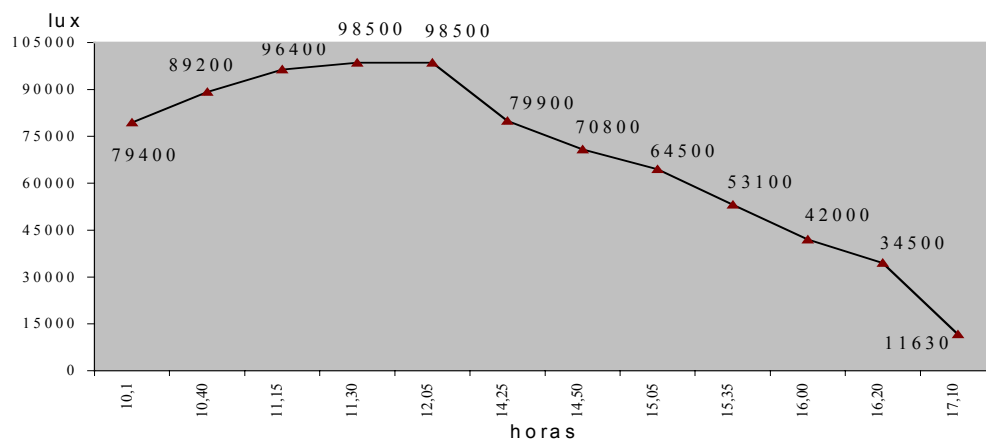


Figura 23. Iluminação solar direta em 21 de agosto de 2003.

A iluminância alcançada no pavimento superior com os dutos de alumínio de 1m de altura (esc 1:20), registrada pelo sensor 2, mostrou valores que acompanharam a incidência da radiação de luz solar direta – Figura 26, 27, 28 e 29. Os valores mais altos ocorreram entre 10h e 14:30h, com variação entre 400 lux a 700 lux, para uma área total dos seis dutos de $157 \times 10^{-5} \text{ m}^2$ em escala 1:20.

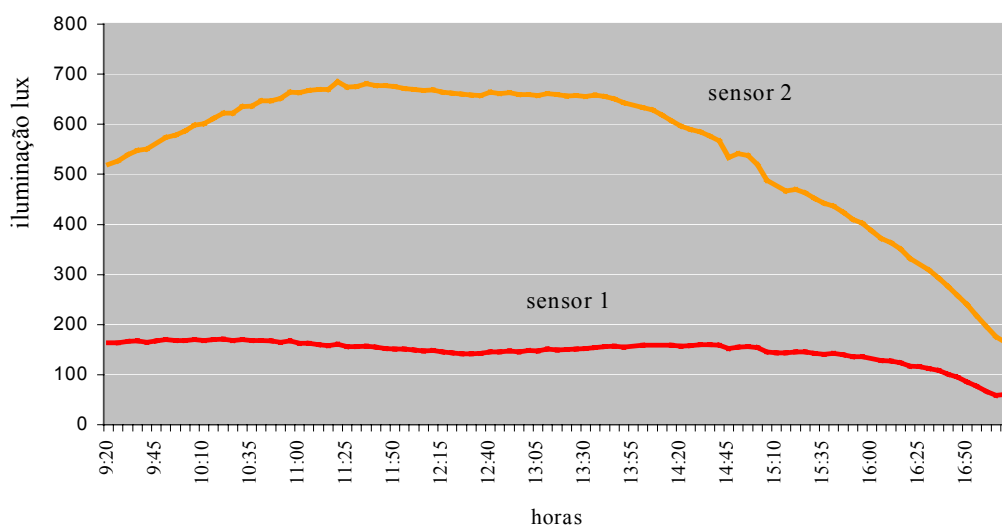


Figura 24. Iluminância medida nos espaços com dutos extensores reflexivos de alumínio, no piso inferior (sensor 1) e superior (sensor 2), em 21 de agosto de 2003.

6. CONCLUSÕES

O trabalho de investigação experimental com protótipos em escala reduzida, sob condições reais de céu, permitiu determinar os níveis de iluminação das propostas apresentadas. As duas soluções pesquisadas, a de dutos de alvenarias revestidos internamente com materiais reflexivos, e de dutos extensores de PET revestidos internamente, igualmente, com materiais reflexivos (laminados de alumínio de uso caseiro) se mostraram como alternativas que ainda merecem mais estudos e pesquisas para a determinação de sua exequibilidade.

Estipulou-se que todas as superfícies internas e externas do protótipo fossem brancas, não se considerando a presença de objetos, pisos e paredes coloridas que determinam índices consideráveis de absorção de luz. Desta forma os valores alcançados de iluminação foram influenciados pelas superfícies brancas que possuem fatores de reflexão em torno de 70 a 80%.

Os níveis de iluminância obtida com os tubos extensores de 3,45m de altura (piso inferior) e área de $157 \times 10^{-5} \text{ m}^2$ são modestos, em torno de 140 lux a 160 lux, num período compreendido entre 9 h e 16 h, para radiação solar variando entre 65.000 lux a 80.000 lux. Aqui os fatores de reflexão interna dos tubos, com revestimentos de laminado de alumínio de uso caseiro foram da ordem de 80 a 85%.

Os resultados verificados com os níveis de iluminância alcançados com os dutos retangulares (revestidos internamente com laminado de alumínio e com aleta em espelho), mostraram-se plenamente satisfatórios, entretanto excessivos para as funções de tarefas caseiras para qual foram dimensionados.

Com iluminação solar direta variando entre 50.000 lux e 108.000 lux, os níveis de iluminância obtidos com os dutos de 4,10m de altura (piso inferior do protótipo reduzido), foram de 600 lux a 11.000 lux, num período compreendido entre 9h e 15h30min, representando um aproveitamento médio de 1% sobre a iluminação solar direta.

A iluminância obtida com os dutos, de 1.4m de altura colocados no pavimento superior, igualmente foi excessiva. Situou-se entre 2000lux a 11.200lux, no período compreendido entre 9h e 15h30min.

Estes valores são excessivos para as funções para qual se destinam que são os ambientes de trabalho doméstico. A necessidade para o conforto visual situa-se entre 200 lux a 600 lux. Desta forma os dutos

poderão ser redimensionados para áreas menores do que as testadas de 0,78 m² (0.6m x 1.3m), permitindo a diminuição de custo e de volumes incidentes nos espaços arquitetônicos.

A pesquisa serviu como ponto de partida para a verificação dos níveis de iluminância que poderão ser alcançados quando são usados elementos reflexivos, como laminados de alumínio de uso caseiro, dentro de dutos. As dimensões dos dutos especificadas nas duas propostas devem ser ajustadas para que seja alcançada a iluminância necessária para ambiente de trabalho caseiro e assim evitando o ofuscamento.

O estudo apresentado poderá ser enriquecido realizando-se uma análise do efeito da iluminação para diferentes tipos de geometria de ambientes, possibilitando a criação de uma metodologia para os dutos propostos em espaços diversos. Propõe-se que haja continuidade nas pesquisas para que os resultados venham constituir-se em subsídios para a recomendação de projetos que tenham como objetivo levar luminosidade natural a ambientes enclausurados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAKER, N & STEEMERS K. *Energy and Environment in Architecture*. A Technical Design Guide. Edit. E & FN Spon, London, 2000. 224 p.

GANSLANDT, R & HOFMANN, H. *Handbook of Lighting Design*. Erco, Germany, 1992. 289 p.

GUZOWSKI, M. *Daylighting for Sustainable Design*. McGraw-Hill, New York, 1999. 450 p.

MAJOROS, A. *Daylighting*. Edit. Szokolay, PLEA, 1998. 76 p.

FONTOYNONT, M. *Daylight Performance of Buildings*. Edit: Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat, Lyons, France, 1999. 304 p.

FANTINELLI, J. T. *A Iluminação Natural Através de Dutos Refletores em Ambientes Enclausurados*. Campinas, 2003. Monografia – Programa de Pós-graduação: Iluminação Natural: Fundamentos e Contemporaneidade – IC32, Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas, SP.

____ & GABRIEL, N. M. *Avaliação Pós-Ocupação da Habitação de Interesse Social por Autoconstrução – Vila Nova Progresso, Santo André, SP*. São Paulo, 2002. Monografia – Programa de Pós-graduação: Avaliação Pós-ocupação do Ambiente Construído – AUT5805-5, Departamento de Tecnologia da Arquitetura, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. 61 p.

Agradecimentos: ao CNPq pela bolsa de doutorado.