

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS – UFAL

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**O POÇO DE LUZ COMO ESTRATÉGIA DE ILUMINAÇÃO  
NATURAL NA CIDADE DE MACEIÓ-AL**

**Lívia de Oliveira Martins**

MACEIÓ,  
2011.

**Lívia de Oliveira Martins**

**O POÇO DE LUZ COMO ESTRATÉGIA DE ILUMINAÇÃO  
NATURAL NA CIDADE DE MACEIÓ-AL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Dinâmicas do Espaço Habitado da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Alagoas, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Carvalho Cabús

MACEIÓ,  
2011.

**Catálogo na fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**  
**Divisão de Tratamento Técnico**  
**Bibliotecário: Maria Auxiliadora G. da Cunha**

M386p Martins, Livia de Oliveira.  
O poço de luz como estratégia de iluminação natural na cidade de Maceió-AL / Livia de Oliveira Martins. – 2011.  
131 f. : il : fots., graf., tabs., plantas.

Orientador: Ricardo Carvalho Cabús.  
Dissertação (mestrado em Arquitetura e Urbanismo : Dinâmicas do Espaço Habitado) – Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Maceió, 2011.

Bibliografia: f. 119-121.  
Apêndices: p. 123-131.

1. Arquitetura – Maceió (AL). 2. Iluminação natural . 3. Poço de luz.  
I. Título.

CDU: 72:628.92

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS – UFAL  
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

**Livia de Oliveira Martins**

**O POÇO DE LUZ COMO ESTRATÉGIA DE ILUMINAÇÃO NATURAL  
NA CIDADE DE MACEIÓ-AL.**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da FAU – UFAL área de concentração em Dinâmicas do Espaço Habitado, como requisito final para a obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

APROVADA em 01 / 04 / 2011.

BANCA EXAMINADORA



---

Prof. Dr. RICARDO CARVALHO CABÚS – Orientador  
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, UFAL




---

Prof.ª Dr.ª CLAUDIA NAVES DAVID AMORIM  
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, UnB



---

Prof.ª Dr.ª GIANNA MELO BARBIRATO  
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, UFAL



---

Prof.ª Dr.ª ADRIANA CAPRETZ BORGES DA SILVA MANHAS  
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, UFAL

*Dedico este trabalho aos meus filhos amados Lis e Davi, ao Alessandro pelo companheirismo e aos meus pais e irmãos pela eterna confiança.*

## **AGRADECIMENTOS**

Meus sinceros agradecimentos...

...a Deus, pela fundamental força espiritual.

...à minha família, pelo apoio em todos os momentos.

...ao professor Ricardo Cabús, orientador e incentivador dos meus trabalhos, que com seu constante otimismo permitiu o meu crescimento profissional.

...aos meus amigos, por contribuírem com as dificuldades encontradas e compartilharem informações importantes.

...à Fundação de Amparo e Pesquisa de Alagoas – FAPEAL, pela bolsa de estudos.

...ao Grupo de Pesquisas em Iluminação – Grilu, pelo apoio técnico, bibliográfico e disponibilização dos equipamentos necessários a essa pesquisa.

## RESUMO

MARTINS, Livia de Oliveira. *O poço de luz como estratégia de iluminação natural na cidade de Maceió-AL*. Maceió, 2011. 131f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Dinâmicas do Espaço Habitado, Universidade Federal de Alagoas. Maceió, 2011.

A iluminação natural corretamente empregada proporciona qualidade à edificação. Deve estar presente em todo ambiente, mesmo que indiretamente, por complementar as necessidades psico-fisiológicas do homem. O poço de luz é um dispositivo de projeto que pode contribuir dentro de certas proporções com a iluminação interna de uma construção. Seu emprego requer um desenho minucioso conforme os princípios físicos da luz e diferente para cada localidade em estudo. O presente trabalho tem como objetivo contribuir para a melhoria do uso da iluminação natural no projeto de arquitetura através da compreensão dos parâmetros e variáveis que influenciam no desempenho de um poço de luz em um edifício residencial no contexto de Maceió-AL. A avaliação busca quantificar a redução da iluminação natural, em função da profundidade do poço de luz, que chega ao banheiro de cada pavimento; avaliar a distribuição das iluminâncias no plano de trabalho proporcionada por um tamanho diferente de janela, uma seção invertida do poço de luz e também comparando ao mesmo ambiente sem o poço; analisar a influência da refletância das superfícies internas do poço e do banheiro na iluminância global média do ponto em estudo; verificar a contribuição do céu e a do sol, nos céus mais frequentes em Maceió, na obtenção das iluminâncias num mesmo ponto dado para todos os meses do ano e avaliar a influência do azimute em função da sazonalidade com o objetivo de indicar a orientação mais adequada para a obtenção da iluminação através do poço de luz. Foram realizadas simulações que, apontam a eficiência do sistema de iluminação apenas para o nono andar da geometria existente. Ao aumentar a largura da janela, podem-se alcançar mínimos valores de iluminância até o sexto andar, de acordo com processamento no programa Troplux 3.12. Constata-se também a diferenciação da iluminância interna em função da orientação da janela e a variação significativa da contribuição da luz do céu e do sol, para os tipos de céu comuns em Maceió. Enfim, para a janela existente, a eficiência do dispositivo foi apenas para o andar mais alto com uma distância vertical de 1,5m e horizontal de 2m até o ponto estudado. Com a janela grande, de área 2,5 vezes maior, a luz penetrou três pavimentos até o sexto andar a uma distancia vertical de 10,4m e horizontal de 2m, apresentando valores esperadamente mais altos. A orientação sul obteve maiores iluminâncias para a opção da janela existente, até quando se variou a especularidade das superfícies do poço. Em seguida, a orientação norte também apresentou bons resultados, posteriormente a leste e por último a oeste.

Palavras-chave: Arquitetura, Iluminação Natural, Poço de Luz.

## ABSTRACT

MARTINS, Livia de Oliveira. *Light well as a daylighting strategy for the city of Maceió-AL*. Maceió, 2011. 131f. Thesis (MA) – Curso de Pós-Graduação em Dinâmicas do Espaço Habitado, Universidade Federal de Alagoas. Maceió, 2011.

Daylighting properly employed provides quality to the building. It must be present in every environment, even indirectly, because it complements the psycho-physiological human needs. The light well is a device that can contribute in certain proportions with the interior lighting of a building. Its application requires a careful design as physical principles of light and different for each location under study. This paper aims to contribute to improving the use of daylighting in architectural projects through understanding of parameters and variables that influence the light well's performance in a residential building in the context of Maceió-AL. This evaluation is looking for quantify the reduction of daylighting, as a function of the light well's depth that reaches the bathroom on each floor; the evaluation includes also the distribution of illuminance in a work plan provided for a different size window, a light well's inverted section, as well as, compared to the same environment without a well; analyzing the influence of the reflectance of internal surfaces of the well and the bathroom in the overall average illuminance of the point under study and verify the contribution of the sky and the sun in the most frequent skies in Maceió, in obtaining the illuminance at the same given point for each month of the year and evaluate the influence of azimuth due to seasonality with the purpose of indicate the most appropriate directionrough the deep well. Simulations were performed to indicate the efficiency of the lighting device only for the ninth floor to the existing window size. By increasing the width of the window, we can reach the minimum illuminance values down to the sixth floor, according to the data generated by Troplux 3.12 software. It is also noted the differentiation of the internal illuminance due to the window's orientation and the significant variation of lighting, when studying the contribution of the sky's and sun's light, for the different standardized types of skies and suitable to climate of Maceió. Finally, Finally we can say that the efficiency of the device is only showed on window installed in the top floor with a vertical distance of 1.5 m and 2m horizontal to the point studied. With a window which has an area 2.5 times larger, the light penetrated three floors until the sixth floor to a vertical distance of 10.4 m and 2m horizontal, and that presented higher expectations. The south had the highest illuminance for the option of the existing window, even when a variation of the specular surfaces of the well. Then, the direction north also had good results, then east and finally west.

Keywords: Architecture, Daylighting, Light Well.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Templo de Ammon, Karnak. Fonte: BAKER e STEEMERS (2002). .....	17
Figura 2 - Plano da cidade grega Acropolis e orientação residencial Olynthiam Villa. Fonte: MOORE (1991). .....	18
Figura 3 - Panteão, Roma – abertura envidraçada. Fonte: GLANCEY (1991). .....	19
Figura 4 - Catedral gótica St. Pierre em Beauvais. Fonte: Wodehouse <i>et al</i> (2003). .....	19
Figura 6 - Iluminação elétrica nos espaços internos, ao final do século XIX. Fonte: MASCARÓ, 2005. ....	20
Figura 5 - Renascimento – St. Peter em Roma e Hardwick Hall na Inglaterra. Fonte: MOORE (1991). .....	20
Figura 7 - Bolsa de Valores de Bruxelas, Bélgica. Fonte: MASCARÓ, 2005. ....	22
Figura 8 - Edifício da Rua Franklin, n 25, Paris de Auguste Perret – Planta e fachada. Fonte: Giedion (2000). .....	22
Figura 9 - Immeuble-villas. Fonte: Sherwood (2001). .....	23
Figura 10 - Desenho esquemático da casa colonial. Fonte: MASCARÓ, 1983. ....	24
Figura 11 - Residência em Taubaté – Lote grande – Afastamento dos vizinhos. Fonte: MASCARÓ, 1983. ....	25
Figura 12 - Casa de pequeno porte do início do século, São Paulo - SP. Fonte: MASCARÓ, 1983. ....	25
Figura 13 - Avenida Central, 1923, RJ. Fonte: AVENIDA CENTRAL, 2009. ....	26
Figura 14 – Rua Xavier de Toledo, SP. ....	27
Figura 15 – Rua Líbero Badaró, 1920, SP. ....	27
Figura 16 - Edifício Esther. Fonte: EDIFÍCIO ESTHER, 2009. ....	27
Figura 17 - Parque Guinle – Ed. Nova Cintra, Bristol e Caledônia. Fonte: DREBES (2003). ..	27
Figura 18 – Poço de luz em edifício da cidade de Maceió - JTR. Fonte: CIPESA/GAFISA, 2010. ....	28
Figura 19 – Poço de luz em edifício da cidade de Maceió - NEO. Fonte: CIPESA/GAFISA, 2010. ....	29
Figura 20 - Poço de luz em edifício da cidade de Maceió – Ed. Vinicius Cansanção. Fonte: MARCIO RAPOSO IMÓVEIS, 2010. ....	29
Figura 21 - Maneira lógica de projetar. Fonte: LAMBERTS <i>ET AL</i> , 1997. ....	30
Figura 22 - Habitação Yagua. Fonte: ROMERO, 2001. ....	31
Figura 23 - Estratégias bioclimáticas para o trópico úmido. Fonte: ROMERO, 2001. ....	32
Figura 24 - Altura e menor lado do PVI. Fonte: PROCEL, 1997. ....	41
Figura 25 - Relação 1:1 e 3:1 das dimensões. Fonte: PROCEL, 1997. ....	41
Figura 26 - Intervalo do Espectro Eletromagnético que forma a luz visível – adaptado de SILVA, 1977. Fonte: ARAÚJO, 2006. ....	45
Figura 27 - Ângulo sólido. Fonte: BEAN e SIMONS (1968). ....	45
Figura 28 - Fenômenos de reflexão da luz. Fonte: KOENIGSBERGER <i>et al</i> (1977). ....	47
Figura 29 - Iluminação no plano de trabalho. Fonte: KOENIGSBERGER <i>et al</i> (1977). ....	48
Figura 30 - Translação da Terra e localização dos trópicos. Fonte: Lamberts <i>et al</i> , 1997. ...	49
Figura 31 - Ângulos de altura ( $\gamma$ ), azimute ( $\alpha$ ) e incidência ( $\theta$ ) solares. Fonte: Lamberts <i>et al</i> (1997). ....	50
Figura 32 - Carta solar e trajetória do sol nos solstícios e equinócios. Fonte: Lamberts <i>et al</i> (1997). ....	51
Figura 33 - Radiação incidente. Fonte: KOENIGSBERGER <i>et al</i> (1977). ....	51
Figura 34 - Exemplos de céu claro e parcialmente nublado com sol aparente e encoberto, em Maceió-AL. Fotografia tirada com lente olho de peixe apontando para o zênite. Fonte: CABÚS, 2002. ....	54
Figura 35 - Céu encoberto em Maceió-AL. Fonte: CABÚS, 2002. ....	54
Figura 36 - Corte de dutos de luz. Fonte: PHILLIPS, 2004. ....	60

Figura 37 – Iluminação proporcionada pelo duto de Luz no interior de um ambiente. Fonte: PHILLIPS, 2004. ....	60
Figura 38 - Cinco métodos trabalhados para transmitir luz e sol através de dutos para dentro das construções. (a) duto plano; (b) duto com lentes convergentes; (c) duto revestido com uma superfície de alta reflexão; (d) duto revestido com filme prismático (e) feixes de fibra ótica. Fonte: BAKER and STEEMERS, 2002. ....	60
Figura 39 - Desenho esquemático de um duto de luz. Fonte: BAKER e STEEMERS, 2002.	61
Figura 40 – Duto de sol para iluminação do subsolo - Universidade de Minesota, Mineápolis - USA. Fonte: Littlefair et al, 1988. ....	63
Figura 41 - Sistemas de Iluminação Natural – Destaque para o poço de luz. Fonte: Adaptado de Lamberts <i>et al</i> (1997). ....	64
Figura 42 - Esquema de poço de luz. Fonte: <a href="http://www.luz.philips.com/latam/archives/sig_elementos.htm">www.luz.philips.com/latam/archives/sig_elementos.htm</a> , 2008. ....	64
Figura 43 – Perspectiva do Edifício Chateau Lafite. Fonte: Construtora Lima Araújo, 2009.	66
Figura 44 - Planta do pavimento tipo do Edifício Chateau Lafite. Fonte: Construtora Lima Araújo, 2009. ....	67
Figura 45 - Corte do Edifício Chateau Lafite com destaque do poço de luz em amarelo. Fonte: Construtora Lima Araújo, 2009. ....	67
Figura 48 - Planta Baixa do banheiro com o poço de luz. ....	68
Figura 46 - Vista interna do poço em construção. ....	68
Figura 47 – Janela com vista para o poço. ....	68
Figura 49 - Corte AA' do banheiro com o poço de luz. ....	69
Figura 50 - Distribuição dos pontos para a Curva Isolux. ....	70
Figura 51 - Interface do Programa Troplux 3.0. Fonte: CABÚS, 2008. ....	71
Figura 52 - Padrão adotado para os planos no Troplux. Fonte: Cabús, 2002. ....	72
Figura 53 - Exemplo da modelagem do nono andar no Troplux, ....	72
Figura 54 - Orientação do ambiente de estudo. ....	73
Figura 55 - Exemplos de tipos de céu encoberto, parcialmente nublado e claro. Fonte: DEKAY & BROWN, 2001. ....	74
Figura 56 - Ângulos de altura solar, nas extremidades e o sol no zênite. ....	74
Figura 57 - Variações de planta em estudo com o ponto de medição. ....	76
Figura 58 - Azimute e orientações na carta solar para a opção padrão. ....	78
Figura 59 - Posição solar ao meio-dia, em fevereiro e outubro demarcados na Carta Solar de Maceió. ....	79
Figura 60 - Lei do cosseno. Fonte: KOENIGSBERGER et al (1977). ....	80
Figura 61 - Horário de maior influência na iluminação proporcionada pelo poço. ....	82
Figura 62 - Área de maior interferência nos resultados. ....	83
Figura 63 - Mapa de curvas isolux para janela pequena padrão. ....	86
Figura 64 - Mapa de curvas isolux - janela grande. ....	91
Figura 65 - Orientações analisadas para o poço de seção invertida. ....	93
Figura 66 - Mapa de curvas isolux para o poço de seção horizontal. ....	97
Figura 67 - Alturas solares mensais ao meio-dia para Maceió - latitude 9°40". ....	98
Figura 68 – Corte do poço de luz com os ângulos de obstrução e altura solar no solstício de inverno, orientação norte. ....	98
Figura 69 - Mapa de curvas isolux - planta sem poço. ....	102
Figura 70 - Comprimento do poço em função da altura solar no solstício de inverno. ....	113

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Temperatura Média Mensal das normais climatológicas em Maceió-AL. Fonte: INMET, 2010.....	34
Gráfico 7 - Participação de fontes renováveis na oferta interna de energia. BRASIL, 2009.....	38
Gráfico 8 - Consumo final de energia por setor. BRASIL, 2009.....	39
Gráfico 9 - Probabilidade do tipo de céu em Maceió - AL. Fonte: CABÚS, 2002.....	54
Gráfico 10 - Probabilidade do tipo de céu em Maceió. Fonte: CABÚS, 2002. ....	55
Gráfico 11 - Probabilidade do tipo de céu - mensal. Fonte: CABÚS, 2002.....	55
Gráfico 12 - Nebulosidade mensal para 12h. Fonte: CABÚS, 2002. ....	57
Gráfico 13 - Nebulosidade das horas do dia de janeiro. Fonte: CABÚS, 2002.....	57
Gráfico 14 - Iluminância por azimute - janela existente. ....	79
Gráfico 15 - Iluminância global mensal - janela existente.....	81
Gráfico 16 - Iluminância por tipo de céu - Mensal - janela existente.....	82
Gráfico 19 - Contribuição Céu x Sol Mensal - Céu 10 - janela existente. ....	84
Gráfico 17 - Contribuição Céu x Sol - Céu 10 - janela existente. ....	84
Gráfico 18 - Contribuição Céu x Sol - Céu 14 - janela existente. ....	84
Gráfico 20 - Contribuição Céu x Sol Mensal - Céu 14 - janela existente. ....	85
Gráfico 21 - Iluminância por azimute - janela grande. ....	86
Gráfico 22 - Iluminância global mensal - janela grande.....	88
Gráfico 23 - Iluminância por tipo de céu - mensal - janela grande.....	89
Gráfico 26 - Contribuição Céu x Sol – Mensal - Céu 10 - Janela grande.....	90
Gráfico 24 - Contribuição Céu x Sol - Céu 10 - janela grande.....	90
Gráfico 25 - Contribuição Céu x Sol - Céu 14 - janela grande.....	90
Gráfico 27 - Contribuição Céu x Sol – Mensal - Céu 14 - Janela grande.....	91
Gráfico 28 - Iluminância por azimute mensal – seção invertida do poço. ....	92
Gráfico 29 - Iluminância Global Mensal - Seção invertida do poço.....	94
Gráfico 30 - Iluminância por tipo de céu mensal - Seção invertida do poço. ....	95
Gráfico 31 - Contribuição céu x sol - tipo 10 - seção invertida do poço. ....	95
Gráfico 32 - Contribuição céu x sol - tipo 14 - seção invertida do poço. ....	95
Gráfico 33 - Contribuição céu x sol mensal - Céu 10 - Seção invertida do poço. ....	96
Gráfico 34 - Contribuição céu x sol mensal - Céu 14 - Seção invertida do poço. ....	96
Gráfico 35 - iluminância por azimute mensal - sem poço. ....	97
Gráfico 36 - Iluminância Global Mensal – sem poço. ....	99
Gráfico 37 - Iluminância por tipo de céu - sem poço. ....	100
Gráfico 40 - Contribuição céu x sol mensal - céu 10 - sem poço.....	101
Gráfico 41 - Contribuição céu x sol mensal - céu 14 - sem poço.....	101
Gráfico 42 - Iluminância por azimute - mensal - refletância difusa 0.3 e especular 0.6. ....	103
Gráfico 43 - Iluminância global mensal - refletância difusa 0.3 e especular 0.6.....	103
Gráfico 44 - Iluminância por tipo de céu - mensal - refletância difusa 0.3 e especular 0.6. ....	104
Gráfico 45 - Contribuição céu x sol - céu 10- refletância difusa 0.3 e especular 0.6.....	104
Gráfico 46 - Contribuição céu x sol - céu 14 - refletância difusa 0.3 e especular 0.6.....	104
Gráfico 47 - Contribuição céu x sol - mensal - céu 10 - refletância difusa 0.3 e especular 0.6. ....	105
Gráfico 48 - Contribuição céu x sol - mensal - céu 14 - refletância difusa 0.3 e especular 0.6. ....	105
Gráfico 49 - Iluminância por azimute mensal - refletância difusa 0.45 e especular 0.45....	106
Gráfico 50 - Iluminância global mensal - refletância difusa 0.45 e especular 0.45.....	106
Gráfico 51 - Iluminância por tipo de céu mensal - refletância difusa 0.45 e especular 0.45. ....	107
Gráfico 52 - Contribuição céu x sol - céu 14 - refletância difusa 0.45 e especular 0.45.....	107
Gráfico 53 - Contribuição céu x sol - céu 10 - refletância difusa 0.45 e especular 0.45.....	107
Gráfico 54 - Contribuição céu x sol mensal - céu 10 - refletância difusa 0.45 e especular 0.45.....	108

Gráfico 55 - Contribuição céu x sol mensal - céu 14 - refletância difusa 0.45 e especular 0.45.....	108
Gráfico 56 - Iluminância por andar - céu 10 - janela pequena.....	109
Gráfico 57 - Iluminância por andar - céu 14 - janela pequena.....	110
Gráfico 58 - Iluminância por andar - céu 10 - janela grande.....	110
Gráfico 59 - Iluminância por andar - céu 14 - janela grande.....	111
Gráfico 60 - Iluminância por refletância para janela pequena - céu 10 – andar 9.....	114

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Emissões de CO <sub>2</sub> . BRASIL, 2009.....	38
Tabela 2 - Iluminância em lux por tipo de atividade. Fonte: Adaptado de NBR – 5413, 1992. .....	43
Tabela 3 - Eficácia luminosa da luz natural e lâmpadas elétricas (lm/W) – Adaptado de PHILLIPS, 2004, HOPKINSON et al, 1975, IES, 1981 apud MOORE, 1991, OSRAM 2010.....	59
Tabela 4 - Parcela de contribuição do céu - comparação das variáveis.....	116

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>1.1 OBJETIVOS</b> .....	15
1.1.1 Objetivo Geral.....	15
1.1.2 Objetivos Específicos .....	15
<b>1.2 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO</b> .....	16
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	17
<b>2.1 HISTÓRICO DA ILUMINAÇÃO NATURAL</b> .....	17
2.1.1 No mundo .....	17
2.1.2 No Brasil .....	23
2.1.3 Em Maceió.....	28
<b>2.2 ILUMINAÇÃO NATURAL NO PROJETO DE ARQUITETURA</b> .....	30
2.2.1 Clima de Maceió .....	33
2.2.2 Eficiência Energética .....	36
2.2.3 Códigos e Normas .....	40
<b>2.3 LUZ</b> .....	44
2.3.1 Fontes de luz natural .....	47
2.3.1.1 O Sol.....	48
2.3.1.2 O Céu.....	51
2.3.1.3 O entorno.....	58
2.3.2 Eficácia luminosa da luz natural .....	58
<b>2.4 DUTO DE LUZ</b> .....	59
<b>2.5 POÇO DE LUZ</b> .....	63
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	66
<b>3.1 MODELO DE REFERÊNCIA</b> .....	66
<b>3.2 O PROGRAMA DE SIMULAÇÃO</b> .....	70
<b>3.3 SIMULAÇÕES</b> .....	71
<b>4 RESULTADOS E ANÁLISES</b> .....	77
<b>4.1 JANELA PEQUENA EXISTENTE</b> .....	77
4.1.1 Iluminância por azimute mensal .....	77
4.1.2 Iluminância global mensal .....	81
4.1.3 Iluminância por tipo de céu .....	82
4.1.4 Contribuição céu x sol .....	83
4.1.5 Mapa de curvas isolux .....	85
<b>4.2 JANELA GRANDE</b> .....	86
4.2.1 Iluminância por azimute mensal .....	86
4.2.2 Iluminância global mensal .....	88
4.2.3 Iluminância por tipo de céu .....	89
4.2.4 Contribuição céu x sol .....	89
4.2.5 Mapa de curvas isolux .....	91
<b>4.3 JANELA PEQUENA - SEÇÃO INVERTIDA DO POÇO</b> .....	92
4.3.1 Iluminância por azimute mensal .....	92
4.3.2 Iluminância global mensal .....	94
4.3.3 Iluminância por tipo de céu .....	94
4.3.4 Contribuição céu x sol .....	95
4.3.5 Mapa de curvas isolux.....	96

<b>4.4 JANELA PEQUENA SEM POÇO</b> .....	97
4.4.1 Iluminância por azimute mensal .....	97
4.4.2 Iluminância global mensal .....	98
4.4.3 Iluminância por tipo de céu .....	99
4.4.4 Contribuição céu x sol .....	100
4.4.5 Mapa de curvas isolux .....	101
<b>4.5 JANELA PEQUENA COM REFLETÂNCIA DIFUSA 0,3 E ESPECULAR 0,6</b> .....	102
4.5.1 Iluminância por azimute mensal .....	102
4.5.2 Iluminância global mensal .....	103
4.5.3 Iluminância por tipo de céu .....	104
4.5.4 Contribuição céu x sol .....	104
<b>4.6 JANELA PEQUENA COM REFLETÂNCIA DIFUSA 0,45 E ESPECULAR 0,45</b> .....	105
4.6.1 Iluminância por azimute mensal .....	105
4.6.2 Iluminância global mensal .....	106
4.6.3 Iluminância por tipo de céu .....	107
4.6.4 Contribuição céu x sol .....	107
<b>4.7 ILUMINÂNCIA POR ANDAR</b> .....	108
4.7.1 Janela pequena existente .....	109
4.7.2 Janela grande .....	110
<b>5 CONCLUSÕES</b> .....	112
<b>5.1 CONCLUSÕES E OBJETIVOS</b> .....	112
<b>5.2 LIMITAÇÕES DO TRABALHO</b> .....	117
<b>5.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b> .....	118
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	119
<b>APÊNDICE</b> .....	123

## 1 INTRODUÇÃO

A iluminação natural é o ramo de estudo do conforto ambiental que tem como princípios básicos a visão, a percepção, o conforto e o prazer (LAM, 1977, p.11). O estudo da iluminação busca compreender as necessidades visuais do usuário para a realização de suas tarefas dentro do ambiente.

Na arquitetura, a luz traduz-se através das formas, cores, volumes e movimento, como em outras artes, inspirando vários arquitetos a dramatizarem suas obras através do jogo de luz e sombra. Compõe um processo funcional e estético, necessários à saúde e ao bem estar do homem.

A iluminação penetra o espaço de diversos modos, podendo o arquiteto usufruir plasticamente das suas características para melhorar a qualidade do espaço habitado. A luz pode chegar de forma direta ou indireta, difusa ou especular, pontual ou distribuída, dependendo das aberturas utilizadas. Entretanto, é o projetista quem define as fontes mais adequadas para iluminar cada ambiente, podendo ser natural ou artificial.

De acordo com Littlefair (1991), a qualidade e a quantidade da luz natural no interior dependem do desenho do ambiente, ou seja, o tamanho e a posição das janelas, a profundidade, o volume e as cores das superfícies. Contudo, o desenho do ambiente externo também desempenha um papel importante através da obstrução causada pelas construções.

Contudo, para o projeto de arquitetura é importante ressaltar que a exposição à luz solar é essencial para ativar certas funções fisiológicas humanas. Segundo Baker e Steemers (2002), o fato de a retina receber luz irregular e intermitente interfere nos nossos ritmos circadianos e em funções físicas e mentais.

Em muitos casos, quando um programa de projeto arquitetônico é extenso para seu terreno, o projetista utiliza-se de meios não convencionais para iluminar naturalmente ambientes distantes do perímetro da construção, como é o caso do poço de luz.



O poço de luz é um elemento de geometria simples, que começou a ser utilizado no país para proporcionar iluminação indireta em lotes estreitos da herança colonial. Voltou a ser empregado nos edifícios de apartamentos do início da época moderna, e, percebe-se seu uso de forma limitada atualmente.

Em Maceió, o crescimento imobiliário induziu a utilização irrestrita dos poços de luz para permitir uma configuração de plantas compactas, com resultados que satisfazem os construtores. Assim, é importante que os profissionais do projeto tenham consciência de que estão adotando estratégias adequadas para a localidade da implantação do seu projeto.

Algumas conseqüências deste processo já podem ser observadas em ambientes que se encontram mal iluminados e com transferência de ar contaminado para diversos pavimentos. O Código de Edificações de Maceió (MACEIÓ, 2007) não deixa claro um dimensionamento mínimo para o poço, permitindo assim que idéias sem embasamento científico sejam executadas.

Assim, o presente trabalho pretende avaliar a eficiência do poço de luz em função da orientação, da referência climática, das características materiais a fim de indicar o seu uso mais adequado.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 Objetivo Geral**

Contribuir para a melhoria do uso da iluminação natural no projeto de arquitetura através da compreensão dos parâmetros e variáveis que influenciam no desempenho de um poço de luz em um edifício residencial multifamiliar no contexto de Maceió-AL.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

- Quantificar a redução da iluminação natural, em função da profundidade do poço de luz, que chega ao banheiro de cada pavimento;

- Avaliar a distribuição das iluminâncias no plano de trabalho proporcionada por um tamanho diferente de janela, uma seção invertida do poço de luz e também comparando ao mesmo ambiente sem o poço;
- Analisar a influência da refletância das superfícies internas do poço e do banheiro na iluminância global média do ponto em estudo;
- Verificar a contribuição do céu e a do sol, nos céus mais freqüentes em Maceió, na obtenção das iluminâncias num mesmo ponto dado para todos os meses do ano;
- Avaliar a influência do azimute em função da sazonalidade com o objetivo de indicar a orientação mais adequada para a obtenção da iluminação através do poço de luz.

## **1.2 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO**

Primeiramente, o trabalho apresenta uma introdução e em seqüência os objetivos são propostos. Em seguida, a revisão de literatura esclarece os conceitos necessários à compreensão do tema e da metodologia adotada. A revisão de literatura inicia com um breve histórico da iluminação natural, no contexto mundial e no Brasil, destacando o surgimento dos edifícios residenciais multifamiliares como uma nova forma de morar das cidades.

Ainda no capítulo de revisão, trata-se da iluminação natural no projeto arquitetônico, destacando as características do clima de Maceió e as necessidades requisitadas. Em seguida, a luz é conceituada, seguida da classificação dos tipos de fontes.

O terceiro capítulo relata a metodologia empregada para o estudo do objeto. Como etapa, o modelo de referência é apresentado seguido da escolha do programa utilizado para a realização das simulações computacionais.

No quarto capítulo são discutidos os resultados obtidos nas simulações. A partir deste, foram feitas conclusões objetivas e subjetivas com sugestões para trabalhos futuros.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 HISTÓRICO DA ILUMINAÇÃO NATURAL NA ARQUITETURA

As experiências em diferentes culturas do uso da iluminação natural na arquitetura através da história influenciam o quadro contemporâneo da cidade de Maceió, servindo de base teórica para o trabalho.

#### 2.1.1 No mundo

As formas de arquiteturas passadas nos apontam a pertinente afinidade entre clima e forma, que tiveram em seu traçado uma configuração baseada no tratamento da luz. Vitruvius, importante arquiteto do primeiro século antes de Cristo, já enunciava a necessidade da relação entre o desenho das habitações e a trajetória do sol:

Um tipo de casa parece apropriada para o Egito, outra para a Espanha... outra ainda para Roma... Isto é porque uma parte da Terra é diretamente debaixo do curso do sol e a outra distante, enquanto a outra fica entre as duas...é óbvio que o desenho de casas deve conformar com a natureza do país e as diversidades do clima. (VITRUVIUS,1960, p.170)

No antigo Egito, o sol intenso e a presença de pouca vegetação implicavam aberturas laterais e zenitais pequenas. De acordo com Baker e Steemers (2002), no templo de Ammon a pequena quantidade de iluminação era intencional, distribuindo a luz axialmente pelo *Hypostyle Hall* até o espaço íntimo mais escuro (figura 1). A intenção era fortemente espiritual.

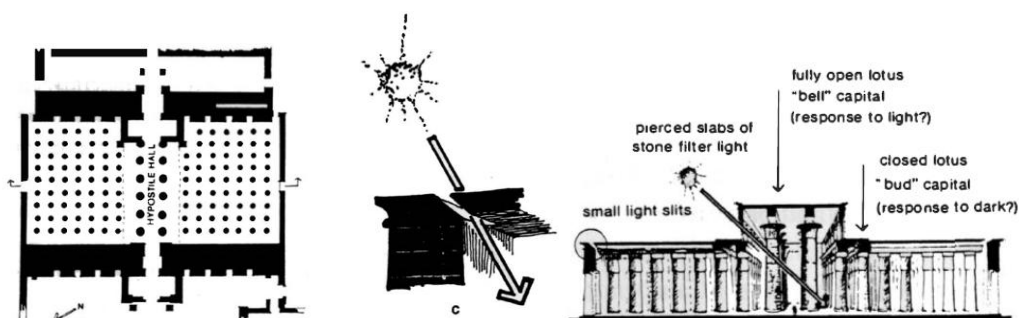


Figura 1 – Templo de Ammon, Karnak. Fonte: BAKER e STEEMERS (2002).

Na antiga cidade grega, o plano ortogonal adotado permitiu o acesso solar às casas para iluminação e aquecimento. Moore (1991) acredita que a forma de construir era intencional, pois o uso grego do relógio solar evidencia o conhecimento dos movimentos do sol. As casas eram projetadas para a penetração solar no inverno através das aberturas voltadas para um pátio na direção sul, como destaca Baker e Steemers (2002). Algumas casas tinham dois pavimentos ao redor do pátio. Outras tinham um pavimento ao sul, permitindo a passagem do sol para a seção norte, que tinha dois pavimentos. O pátio tinha árvores e era envolto por um peristilo (figura 2).

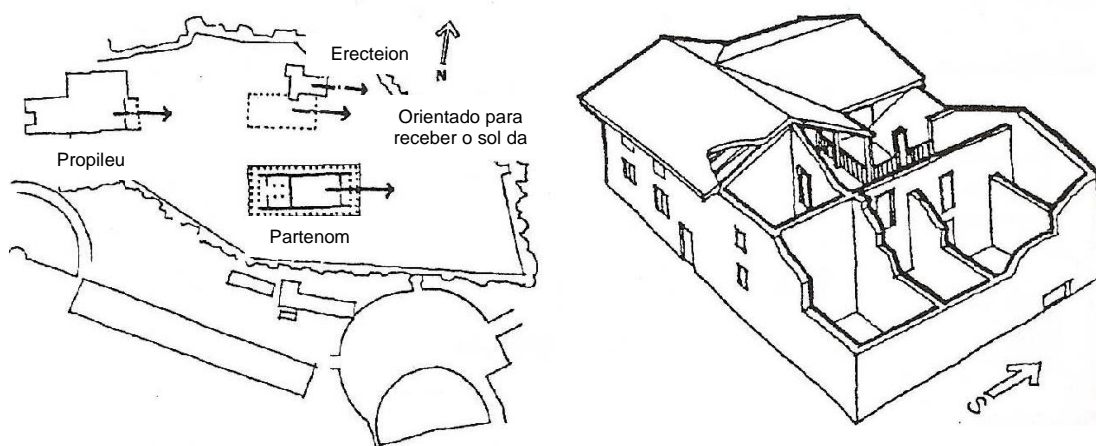


Figura 2 - Plano da cidade grega Acropolis e orientação residencial Olynthian Villa. Fonte: MOORE (1991).

A antiga arquitetura romana alcançou amplos vãos através de estruturas mais avançadas que permitiam aberturas maiores. Acredita-se que materiais transparentes foram empregados pela primeira vez através de uma pedra transparente chamada mica ou selenito (BAKER e STEEMERS, 2002). Alguns estudos concluem que estes eram usados para fechar largas aberturas para admitir luz enquanto o interior era protegido do frio, dos ventos e das chuvas (figura 3). Phillips (2004) acrescenta o uso de placas finas de mármore e papel embebido com óleo. Entretanto, o vidro, material mais utilizado atualmente, foi descoberto no Egito por volta de 3000 a. C., porém era empregado apenas em objetos decorativos. Começou a ser utilizado para preencher aberturas de janelas somente durante o período Romano.

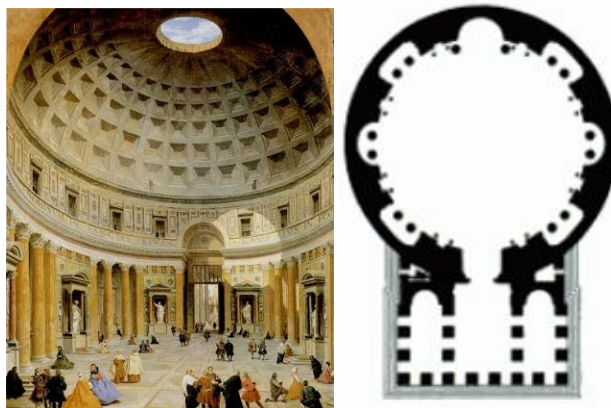


Figura 3 - Panteão, Roma – abertura envidraçada. Fonte: GLANCEY (1991).

No período Gótico, pela primeira vez, as paredes estavam livres do seu histórico papel de elemento estrutural, com uma estrutura que permitia vastas aberturas de vidro colorido (figura 4).



Figura 4 - Catedral gótica St. Pierre em Beauvais. Fonte: Wodehouse *et al* (2003).

A relação entre a arquitetura e a iluminação é integrada, representativa dos valores que estruturam aquela realidade, capaz de produzir signos emblemáticos desses valores. (MASCARÓ, 2005)

No Renascimento, os valores clássicos juntamente com as novas cores e texturas deram aos arquitetos maior diferenciação de contrastes. As técnicas de iluminação natural tornaram-se mais sutis, sofisticadas e inovadoras, usadas para enfatizar a forma da arquitetura e a dramatização dos espaços internos (figura 5).



Figura 5 - Renascimento – St. Peter em Roma e Hardwick Hall na Inglaterra. Fonte: MOORE (1991).

Meios mais inovativos de iluminação natural foram desenvolvidos para iluminar as igrejas barrocas do sudeste da Alemanha, onde a luz indireta passa pelos ornamentos, adquirida por janelas ocultas da vista direta da congregação (PHILLIPS, 2004).

Até a Revolução Industrial a arquitetura dependia das técnicas construtivas locais que conservavam seu caráter cultural. A partir deste fato, a forma arquitetônica assimilou técnicas e materiais com preocupação maior no processo construtivo do que do espaço de vivência, rompendo a relação direta entre técnica e arte.

A Revolução Industrial mudou tudo. Com as inovações desenvolvidas durante esse período, a Arquitetura desenvolveu novos tipos de edifícios. A iluminação teve de responder às maiores exigências da produção indispensável ao progresso. O desenvolvimento das tecnologias, do aço, do vidro e da iluminação elétrica veio cobrir as novas necessidades do dia e da noite (figura 6).



Figura 6 - Iluminação elétrica nos espaços internos, ao final do século XIX. Fonte: MASCARÓ, 2005.

Entretanto, a facilidade de obtenção da iluminação artificial possibilitou sua utilização irrestrita e excessiva, pois, costumava-se tratar a iluminação artificial eficiente no aspecto puramente funcional, destinada apenas a clarear a produção de uma atividade, tendo como maior interesse o resultado econômico material ao ampliar as horas de trabalho.

A arte e a tecnologia se combinaram para rejeitar o escuro, o abarrotado, o sufocante. A generalização do uso da eletricidade e da iluminação artificial – que é um avanço importante na evolução da tecnologia, muito significativa para os edifícios – foi fundamental para melhorar as condições consideradas apropriadas para a arquitetura e a cidade moderna no século XX. (MASCARÓ, 2005)

Baker e Steemers (2002) destacam a importância do aço e do vidro para os climas frios: o aço possui um maior potencial de liberar espaço nas estruturas e diminuir a carga para as paredes, proporcionando mais espaço, luz e calor. Há também um crescimento de estufas para o cultivo de plantas tropicais, com microclima protegido da chuva, vento e frio, importante para o norte europeu.

No século XIX há uma nova paisagem desenvolvida e dinâmica: a experiência moderna. Trata-se de um cenário de engenho a vapor, fábricas mecanizadas, zonas industriais, cidades que crescem rapidamente; jornais, telégrafo, telefone e outros instrumentos que se comunicam em escala cada vez maior.

A arquitetura da engenharia (MASCARÓ, 2005) é a manifestação mais significativa no campo construtivo da cultura do século XIX e marca a passagem entre o passado e o presente do Movimento Moderno com suas grandes coberturas de ferro e cristal e os grandes edifícios com esqueletos metálicos (figura 7).

Com o fornecimento regular de energia elétrica pública em 1882 lançou-se a maior revolução ambiental da história humana desde a domesticação do fogo. (MASCARÓ, 2005)



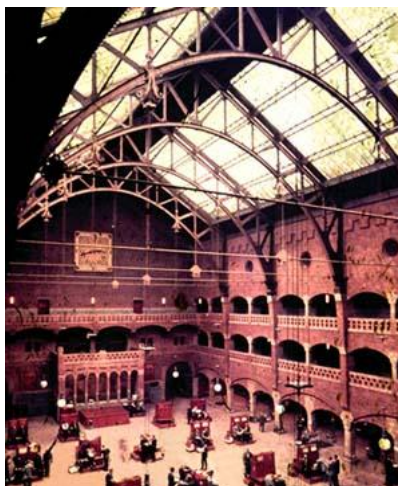


Figura 7 - Bolsa de Valores de Bruxelas, Bélgica. Fonte: MASCARÓ, 2005.

No âmbito residencial, o adensamento urbano juntamente com as novas tecnologias, provocou o surgimento de novas formas de morar: os edifícios residenciais multifamiliares. Como marco, em 1903 surge o edifício da Rua Franklin, nº25, em Paris de Auguste Perret, com a tecnologia do concreto armado, que pode ser considerado o precursor da série de edifícios residenciais multifamiliares no mundo (figura 8).

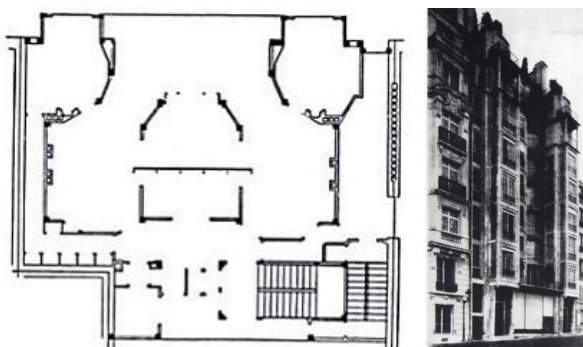


Figura 8 - Edifício da Rua Franklin, n 25, Paris de Auguste Perret – Planta e fachada. Fonte: Giedion (2000).

Segundo Sherwood (1983) *apud* Drebes (2003) esse edifício aparece como precursor da planta livre influenciando a próxima geração de arquitetos, entre eles Le Corbusier, estagiário de Perret.

A experiência com o concreto armado possibilitou a Le Corbusier desenvolver estudos para habitação multifamiliar, onde buscava encontrar soluções para viver



em espaços menores com qualidade de vida. Tem como exemplares os *Immeuble-villas* (figura 9), o *Immeuble Clarté* e as Unidades de Habitação.

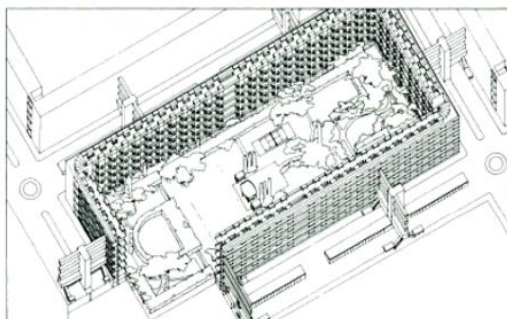


Figura 9 - Immeuble-villas. Fonte: Sherwood (2001)

As Unidades de Habitação são consideradas a contribuição mais importante de Le Corbusier à criação de uma tipologia moderna de habitação coletiva: a “máquina de morar”. A Unidade de Habitação de Marselha, construída entre os anos de 1945 e 1952.

Já na década de 1970, a crise do petróleo anunciou a necessidade de racionalização dos gastos com energia elétrica, mas esse costume atrelado à cultura pós Revolução Industrial, tem-se mostrado remanescente até os dias atuais. As pesquisas na área da iluminação natural estão crescendo em face ao aumento da demanda por espaços mais sustentáveis.

Entretanto, de acordo com Hopkinson *et al* (1966, p. 25), o fato de a iluminação natural ter sido tratada de uma maneira quantitativa mais precisa deve-se inicialmente à necessidade de satisfazer, nos tribunais, as obrigações legais de um vizinho em não obstruir a luz do dia no edifício de um outro. Foi a partir daqui que se desenvolveu uma introdução mais precisa à tecnologia da luz do dia.

### 2.1.2 No Brasil

Antes da chegada dos portugueses ao Brasil os índios já resolviam adequadamente as necessidades de sua habitação. A oca, através das pequenas aberturas e material isolante, protegia o ambiente da intensa radiação. Como a maioria das atividades era realizada ao ar livre, a iluminação era pouca, controlando assim, o calor no interior dos ambientes.

De acordo com Mascaró (1983) e Reis Filho (1970), na época colonial brasileira os partidos arquitetônicos das residências urbanas eram fixados nas cartas régias ou em posturas municipais, que muitas vezes estabeleciam as dimensões da construção e até o número de aberturas. As ruas eram definidas pelas casas.

As vilas e cidades apresentavam ruas de aspecto uniforme, com casas térreas e sobrados construídos sobre o alinhamento das vias públicas e sobre os limites laterais dos terrenos.” (REIS FILHO, 1970)

Os principais tipos de habitação eram o sobrado e a casa térrea. Os lotes eram estreitos com poucas aberturas nas fachadas, correspondentes à sala e armazém, e nos fundos, local de trabalho e permanência das mulheres. As alcovas ficavam no centro onde raramente o sol penetrava, sem ar e luz diretos (figura 10).

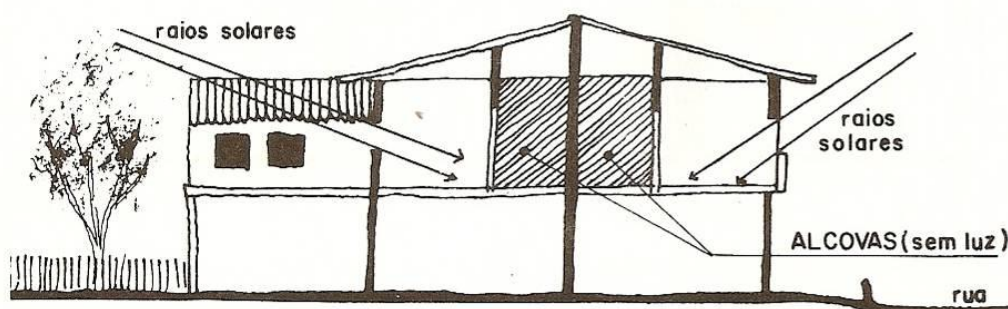


Figura 10 - Desenho esquemático da casa colonial. Fonte: MASCARÓ, 1983.

Até a segunda metade do século XIX poucas transformações substanciais ocorreram e somente com a decadência do trabalho escravo e a imigração europeia que as técnicas construtivas foram aperfeiçoadas. Começam a se utilizar novos sistemas de implantação no lote das casas urbanas permitindo iluminação e arejamento através dos jardins laterais (figuras 11 e 12).

“As residências menores não podiam contar com lotes laterais ajardinados para resolverem seus problemas de iluminação e arejamento, e lançavam mão então de pequenas entradas laterais e internamente de poços de iluminação.” (MASCARÓ, 1983)

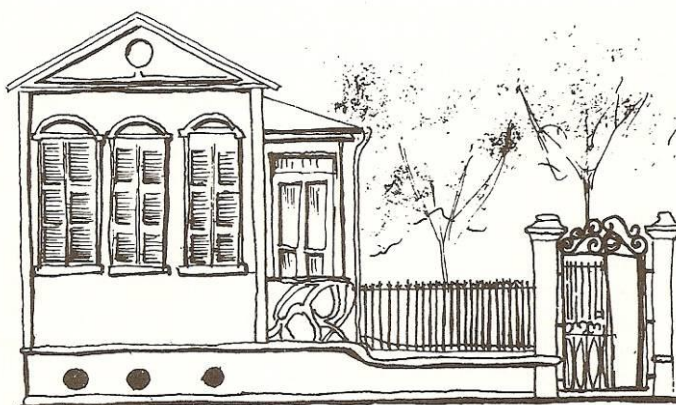


Figura 11 - Residência em Taubaté – Lote grande – Afastamento dos vizinhos. Fonte: MASCARÓ, 1983.

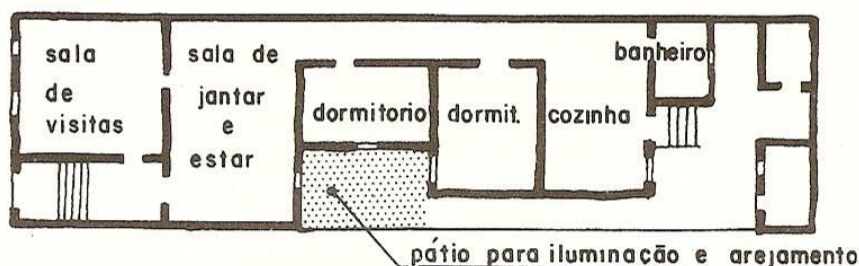


Figura 12 - Casa de pequeno porte do início do século, São Paulo - SP. Fonte: MASCARÓ, 1983.

Ao passo que as alcovas foram sendo substituídas, a iluminação e a ventilação mais adequadas foram proporcionando ambientes mais saudáveis e higiênicos.

Surgiram no século XX os edifícios de apartamento, repetindo-se as soluções de planta das residências isoladas, com os mesmos tipos de detalhes nas fachadas e esquadrias. Logo após a Primeira Guerra Mundial, aproveitando a grande valorização dos terrenos das áreas centrais, as novas possibilidades das estruturas metálicas, mas, sobretudo do concreto e o aparecimento dos elevadores, os edifícios sofreriam uma verticalização acentuada.

A década de 1930 a 1940 assistiria à multiplicação de uma grande inovação no setor residencial: os prédios de apartamento. Essa verticalização seria aceita inicialmente com relutância, pois ameaçava costumes que remontavam os tempos coloniais. (REIS FILHO, 1970, p. 79)

Os grandes prédios de apartamentos ocupavam, de acordo com a tradição, dois ou três limites do terreno, sobrando apenas as áreas internas para iluminação e arejamento dos diversos compartimentos afastados da rua. As plantas eram assim sacrificadas ao se tentar conciliar os velhos esquemas com as novas estruturas. De acordo com Reis Filho (1970, p.79) a nomenclatura dos códigos era esclarecedora: desapareciam “áreas” e surgiam “poços”.

Novamente eram utilizados em larga escala os poços de iluminação. Na verdade, os prédios realmente não poderiam ter recuos ajardinados, pois os próprios códigos de obra exigiam que edificações desse gênero fossem levantadas sobre os limites e alinhamentos. (MASCARÓ, 1983)

De acordo com DREBES (2003), entre 1945 e 1955, mesmo com a densificação das cidades, o país contava apenas com 35 exemplares de edifícios residenciais multifamiliares. Tais tipos tornaram-se comuns no Brasil a partir da consolidação da arquitetura moderna brasileira, tendo como influência primordial os conceitos de Le Corbusier.

Reis Filho (1970, p.80) destaca a influência dos modelos da Paris de Haussmann, com seus quarteirões compactos, superedificados e superpovoados que ainda predominavam nas idéias arquitetônicas e urbanísticas. Reforçava-se o esquema de valorização social e arquitetônica das frentes e o desprestígio dos fundos. Os prédios da Avenida Central no Rio de Janeiro (figura 13) e as construções nas ruas Líbero Badaró e Xavier de Toledo (figuras 14 e 15) em São Paulo, marcam essas transformações.



Figura 13 - Avenida Central, 1923, RJ. Fonte: AVENIDA CENTRAL, 2009.



Figura 14 – Rua Xavier de Toledo, SP.  
Fonte: RUA XAVIER, 2009.



Figura 15 – Rua Líbero Badaró, 1920, SP.  
Fonte: RUA LÍBERO, 2009.

Em 1938 o Brasil conta com o primeiro edifício residencial multifamiliar projetado por Álvaro Vital Brasil e Adhemar Marinho em 1936, o edifício Esther. Os três primeiros andares são de caráter comercial, também contendo alguns apartamentos duplex, ou seja, de dois andares (figura 16).



Figura 16 - Edifício Esther. Fonte: EDIFÍCIO ESTHER, 2009.

Outros exemplos de precursores são o edifício Morro de Santo Antônio de 1939 dos irmãos Roberto e o Parque Guinle de Lúcio Costa de 1943 (figura 17).

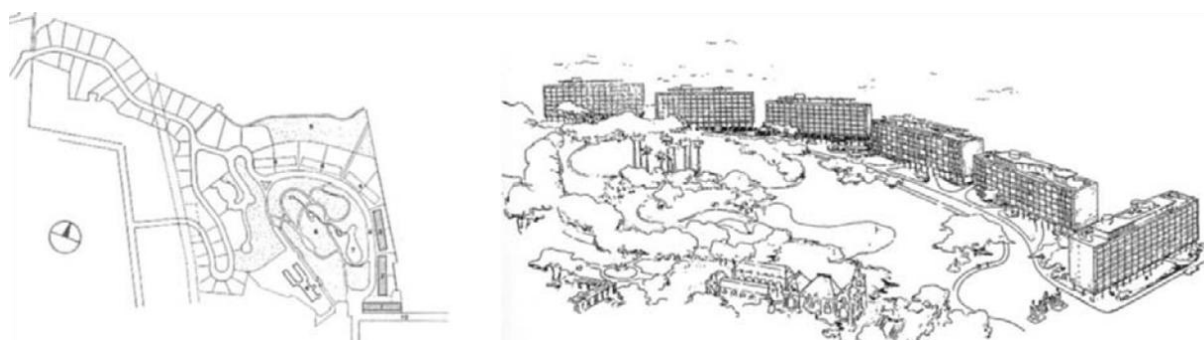


Figura 17 - Parque Guinle – Ed. Nova Cintra, Bristol e Caledônia. Fonte: DREBES (2003).



São Paulo e Rio de Janeiro são as cidades com maiores números de edifícios residenciais multifamiliares modernos, onde estavam as primeiras escolas de arquitetura no Brasil e onde, até hoje, concentram-se a maior parte das riquezas nacionais. Porto Alegre, Belo Horizonte e Recife também contam com vários exemplares.

### 2.1.3 Em Maceió

A arquitetura ainda recente do movimento moderno carrega traços na arquitetura contemporânea de Maceió. A adequação do edifício residencial multifamiliar às possibilidades das tecnologias atuais de construção potencializa a criação dos arquitetos. As formas de morar vão se constituindo em um processo sócio-cultural de adaptação. Assimila-se a idéia de que é mais prático morar em prédios pela comodidade, segurança e proximidade ao comércio e serviços.

Em Maceió, como em outras cidades, o mercado imobiliário procura aproveitar ao máximo a área edificável do terreno podendo comprometer a flexibilidade do espaço em relação às condicionantes ambientais. Pode-se observar em alguns exemplares a conseqüente utilização de poços de luz pela carência de janelas para iluminação natural (figuras 18, 19, 20) nos banheiros.



Figura 18 – Poço de luz em edifício da cidade de Maceió - JTR. Fonte: CIPESA/GAFISA, 2010.



Figura 19 – Poço de luz em edifício da cidade de Maceió - NEO. Fonte: CIPESA/GAFISA, 2010.



Figura 20 - Poço de luz em edifício da cidade de Maceió – Ed. Vinicius Cansanção. Fonte: MARCIO RAPOSO IMÓVEIS, 2010.

Um diferencial do edifício multifamiliar residencial em relação às residências térreas é a menor flexibilidade da estrutura, seja com relação às normas condominiais bem como a restrições estruturais de ampliação ou alteração de projeto. Nesse tipo de edificação, a iluminação tem papel importante para proporcionar bem estar e conforto além de economia energética.

Para o arquiteto é um desafio complexo agrupar várias atividades num edifício, dimensionar seus espaços e caracterizar suas formas sem antes conhecer os usuários do próprio projeto. Assim, a tendência do partido arquitetônico torna-se mais impessoal influenciando direta ou indiretamente os hábitos das famílias em seu cotidiano.

## 2.2 ILUMINAÇÃO NATURAL NO PROJETO DE ARQUITETURA

O estudo da Iluminação Natural tem como objetivo contribuir para a melhoria do projeto de arquitetura ao priorizar o conforto do usuário. O crescimento das pesquisas na área favorece a adoção de estratégias científicas sólidas e de uso prático.

Como acredita MAJOROS (1998), a iluminação natural constitui melhor qualidade, melhores níveis de iluminância, uma energia renovável, variabilidade como efeito estimulante e conexão com o ambiente externo, satisfazendo as necessidades psicológicas.

O arquiteto emprega as estratégias escolhidas a partir das condicionantes e adoção de recursos ao conceber o anteprojeto. Com o anteprojeto definido, o desempenho da edificação é avaliado a partir de simulações e cálculos que garantem um projeto executivo adequado ao lugar, com memoriais descritivos que detalhem a edificação desde o início da obra (figura 21). Assim, o projetista possui o domínio do balanceamento das variáveis que atuam no ambiente construído, tendo como prioridade o clima local na conformação do projeto de edificações.



Figura 21 - Maneira lógica de projetar. Fonte: LAMBERTS ET AL, 1997.



Segundo Romero (2001) o clima tropical quente-úmido é caracterizado por pequenas variações de temperatura durante o dia, amplitude das variações diurnas fracas, dias quentes e úmidos, e noites com temperaturas mais amenas e umidade elevada. A autora cita parte da análise de Rapoport (1972, p.125) sobre a habitação Yagua (figura 22) no Amazonas:

“A cobertura é o elemento dominante, um pára-sol imenso à prova d'água, com uma inclinação tal que permita escorrer rapidamente as chuvas torrenciais, opaco à radiação solar e com uma massa mínima para evitar a acumulação de calor e a subsequente radiação. Também evita os problemas de condensação ao ser capaz de respirar.” Rapoport (1972, p.125) apud Romero (2001)



Figura 22 - Habitação Yagua. Fonte: ROMERO, 2001.

Nas regiões tropicais de clima quente-úmido verificam-se pequenas variações de temperaturas diárias e estacionais, a radiação difusa é muito intensa e a umidade do ar é elevada. O controle deve tender a diminuir a temperatura, incrementar o movimento do ar, evitar a absorção de umidade, proteger das chuvas e promover seu escoamento rápido. De acordo com Romero (2001) seguem alguns princípios bioclimáticos (figura 23) básicos para o clima tropical quente-úmido:

- A localização do assentamento deve dar-se em lugares altos e abertos aos ventos, preservando-se as declividades naturais do sítio para escoamento;
- O tecido urbano deve ser disperso solto, aberto e extenso para permitir a ventilação;
- A variação das alturas das edificações evita a formação de barreira contra a ventilação;
- A orientação das ruas procurando sombras, com muita vegetação para diminuir a absorção da radiação solar;
- As dimensões dos lotes devem ser mais largas que compridas, as vedações escassas e de preferência vegetais;

- A ventilação deve advir da rua o alinhamento das edificações não deve ser rígido;
- Os espaços públicos devem ser de grandes dimensões e bem arborizados;
- A sombra nos caminhos deve ser densa tomando cuidado com o acúmulo de poluentes.

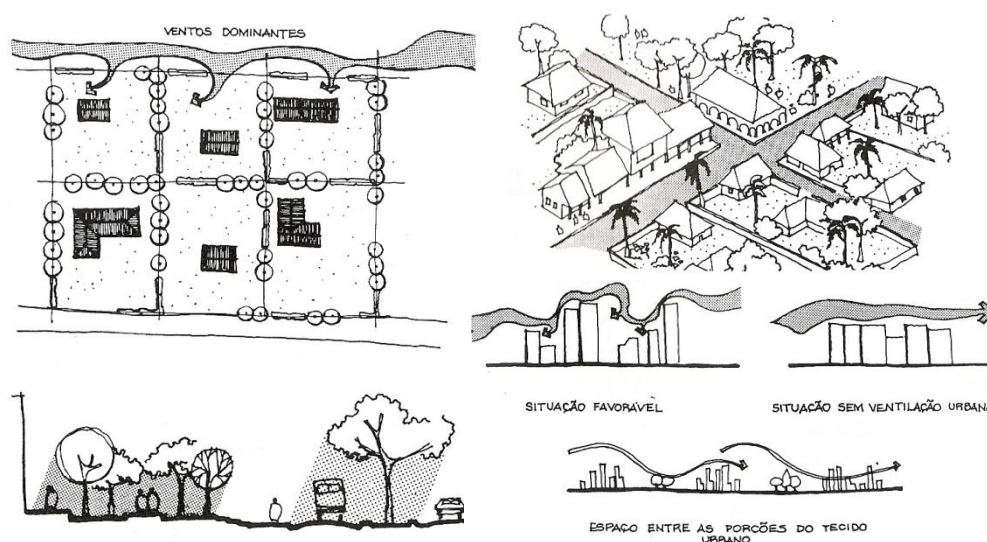


Figura 23 - Estratégias bioclimáticas para o trópico úmido. Fonte: ROMERO, 2001.

O projeto de iluminação natural fica condicionado às outras necessidades de conforto, por causa da grande necessidade de aberturas para ventilação que contrapõem às necessidades de proteção contra radiação e à necessidade de proteção contra ruídos.

“No clima quente e úmido a iluminação de edifícios pode ser necessariamente subordinada ao ambiente térmico e os requisitos de proteção do sol e ventilação podem influenciar materialmente o projeto das janelas e da totalidade do edifício.” HOPKINSON *et al* (1966, p. 633)

De acordo com Hopkinson *et al* (1966, p. 651), o projeto de iluminação natural de um edifício constitui uma parte essencial do processo global de concepção e dificilmente poderá se separar dele. Cabús (2002) indica para os trópicos quente-úmidos alguns critérios de projeto:

- O uso passivo da ventilação natural e sombreamento, com referência à orientação;
- Uso de paredes finas e peitoris baixos;

- Sombreamento do sol direto e redução da vista direta do céu, sem perder a ventilação e mantendo os níveis de iluminação maiores que o mínimo requisitado;
- Desenho de aberturas que combinem em seu ângulo de corte a direção do vento e o sombreamento;
- Consideração dos ângulos das chuvas para que as aberturas possam permanecer abertas, trazendo conforto térmico e visual;
- Análise das reduções da luminância dos céus encobertos que significa menor nível de luz;
- Avaliação da contribuição luz do sol refletida para os níveis de iluminação interna.

Quando a geometria de um projeto apresenta uma solução que torna alguns ambientes muito distantes do perímetro, o duto ou o poço de luz pode ser uma opção a ser implantada para fornecer iluminação natural ao interior, geral ou suplementar.

### 2.2.1 Clima de Maceió

A cidade de Maceió, situada no litoral do nordeste brasileiro, possui latitude 9,67°S, longitude 35,70°O e altitude de 65m de acordo com medições do período de 1961-1990 de dados meteorológicos (INMET, 2010). O município possui uma área de 511km<sup>2</sup>, com área urbana de 200km<sup>2</sup> e população de 936.314 habitantes (IBGE, 2009).

O clima de Maceió é caracterizado como quente e úmido, com grande incidência de radiação solar, apresentando pequenas variações térmicas diárias, sazonais e anuais de temperatura. Possui constância de nível térmico, com temperatura média anual de 24,8°C e variação anual de 2,8°C entre os valores médios mensais de temperaturas médias (26,3°C em fevereiro e 23,5°C em agosto, maior e menor média, respectivamente) conforme gráfico 1.

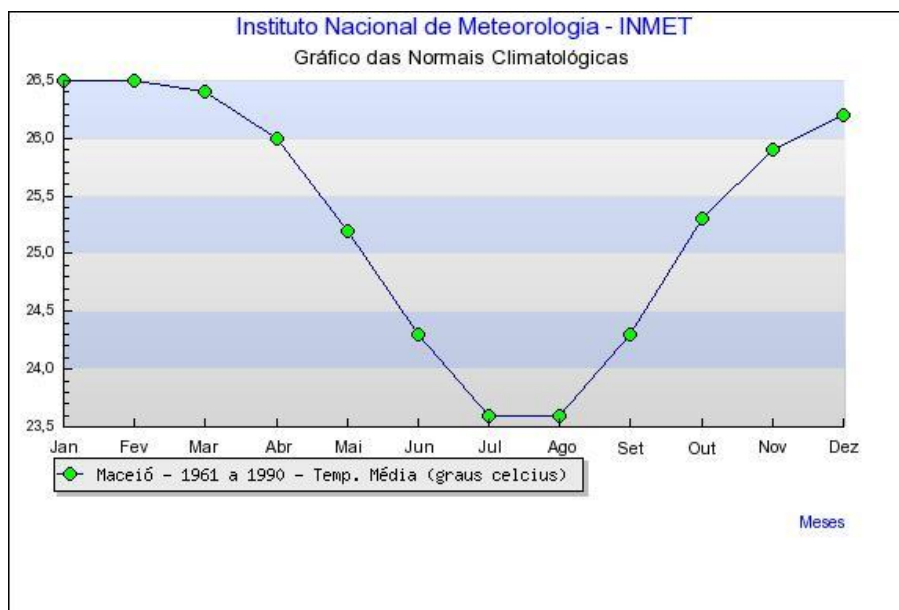


Gráfico 1 – Temperatura Média Mensal das normais climatológicas em Maceió-AL. Fonte: INMET, 2010.

Os tipos de céu freqüentes em Maceió também carregam uma característica peculiar, geralmente com nuvens abundantes (gráfico 02). A insolação é intensa (gráfico 03) e conforme Hopkins *et al* (1966, p. 634) a vista do céu tem de ser protegida por algum dispositivo ou por árvores e arbustos convenientemente plantados.

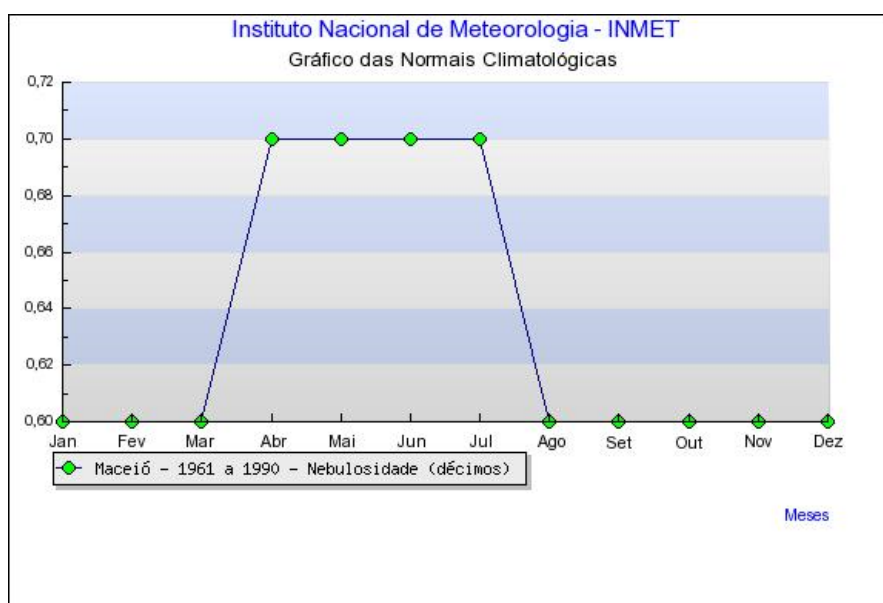


Gráfico 2 - Nebulosidade mensal das normais climatológicas de Maceió. Fonte: INMET, 2010.

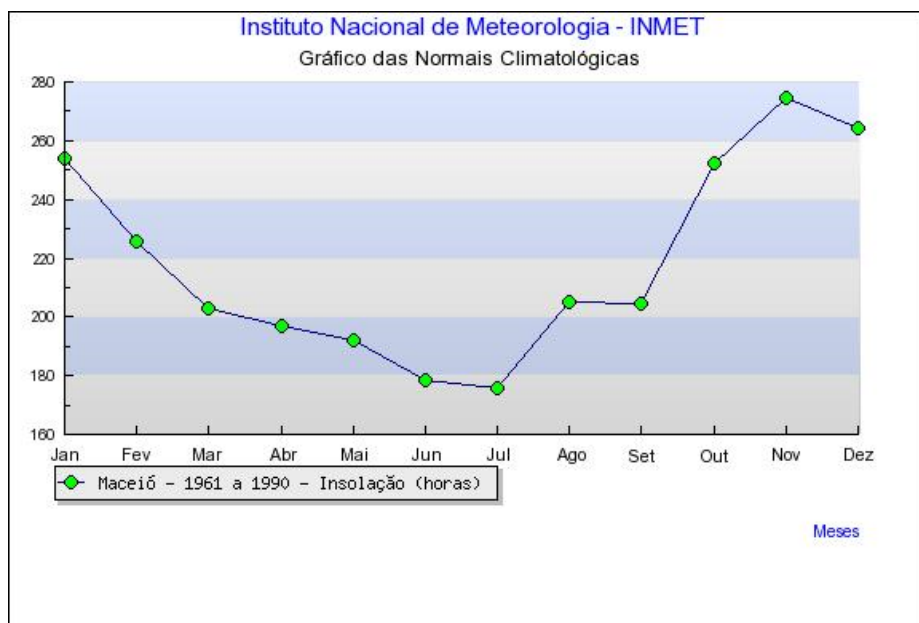


Gráfico 3 - Insolação total mensal das normas climatológicas de Maceió. Fonte: INMET, 2010.

A cidade possui seus ventos mais frequentes provenientes do quadrante leste (SE e NE), sendo os do NE predominantes nos meses mais quentes e os do SE mais constantes o ano inteiro (gráfico 4). A velocidade dos ventos chega a 11,3m/s com uma média de 1,9m/s, conforme Goulart *et al* (1997).

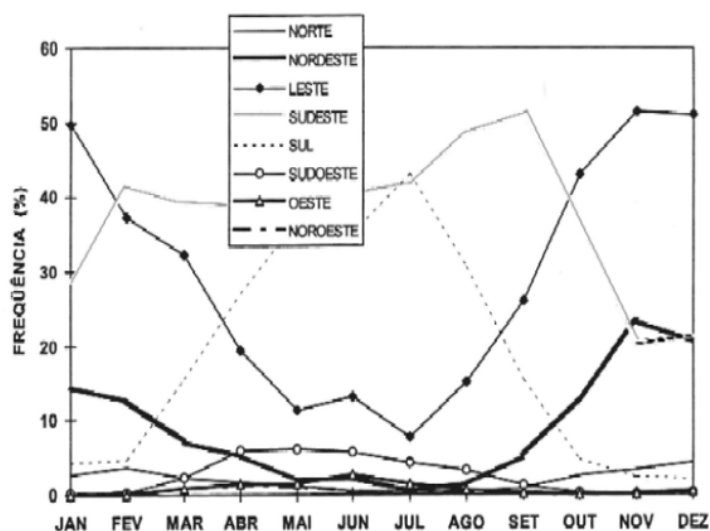


Gráfico 4 - Freqüência dos ventos em Maceió-AL. Fonte: Goulart et al, 1997.

A umidade relativa média anual da região é de 84% (Goulart *et al*, 1997) com pluviosidade média anual de 181mm (INMET, 2010), ver gráficos 5 e 6.

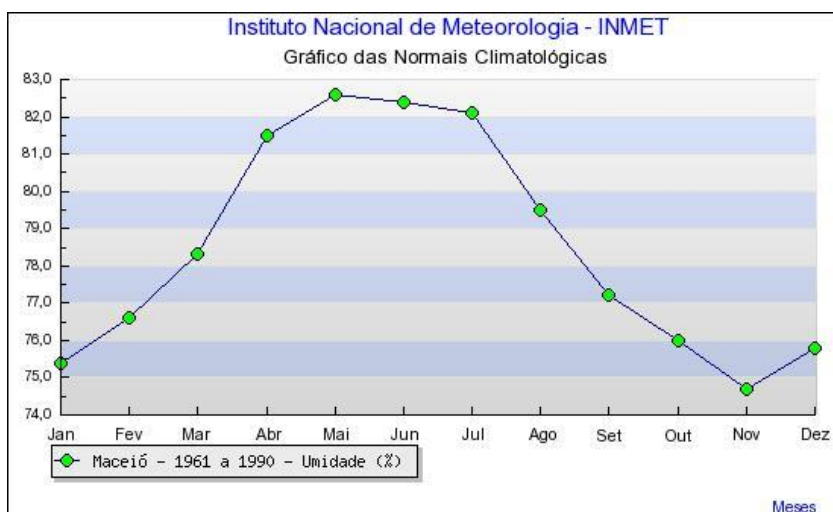


Gráfico 5 - Umidade relativa anual das normais climatológicas de Maceió-AL.

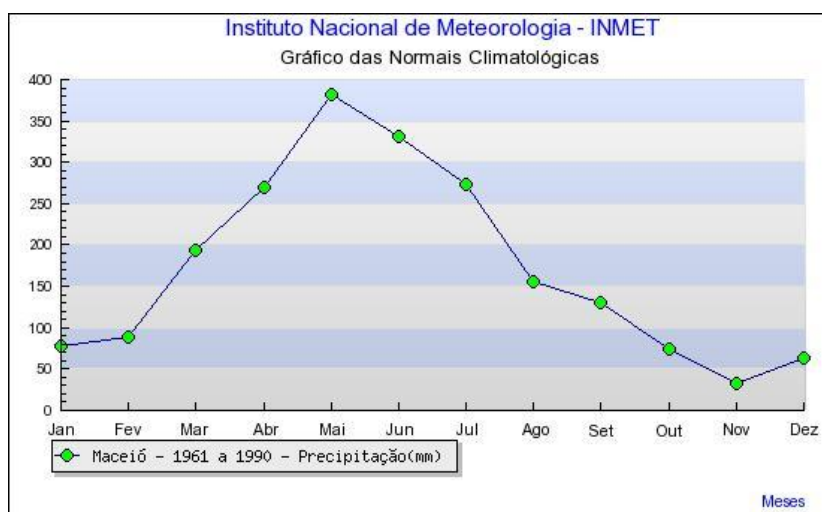


Gráfico 6 - Precipitação anual das normais climatológicas de Maceió. Fonte: INMET, 2010.

## 2.2.2 Eficiência Energética

“A eficiência energética pode ser entendida como a obtenção de um serviço com baixo dispêndio de energia. Portanto um edifício é mais eficiente energeticamente que outro quando proporciona as mesmas condições ambientais com menor consumo de energia.” (DUTRA, LAMBERTS & PEREIRA, 1997)

A eficiência energética é um dos parâmetros para que a arquitetura alcance, em parte ou no todo, o desenvolvimento sustentável. Uma definição interessante de desenvolvimento sustentável diz que o sistema em que vivemos deve satisfazer

nossas necessidades de crescimento e manutenção, e o excedente deve ser utilizado para reinvestimento, LEGAN (2004) *apud* ZOMER (2008).

“Desenvolvimento sustentável é aquele que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade de as futuras gerações satisfazerem suas próprias necessidades” (BRUNDTLAND COMMISSION, 1987)

Conceito Federal de desenvolvimento sustentável (CF, art. 225 *caput*) Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.

A eficiência energética é importante por duas razões: primeiro por reduzir o custo de operação ao cliente; segundo, e mais importante, por diminuir o consumo do estoque mundial de combustíveis fósseis. Tal processo causa poluição por emitir dióxido de carbono na atmosfera, contribuindo para mudanças no clima e chuvas ácidas numa escala global, conforme Tregenza e Loe (1998, p.119).

A energia é fundamental para o desenvolvimento de qualquer processo. Contudo, para ser sustentável precisa vir de uma fonte renovável, limpa, sem a produção ou com o devido tratamento de resíduos. Assim, minimizará os impactos ao meio ambiente.

Em todo o mundo, combustíveis fósseis usados nos últimos 50 anos tem crescido aproximadamente cinco vezes, de 1.715 bilhões de toneladas de petróleo para mais de 8 bilhões de toneladas hoje. Combustíveis fósseis fornecem 85% da energia comercial do mundo, petróleo que atualmente ascende a cerca de 40% (GIRARDET, 2003).

Em 1992, no Rio de Janeiro, membros das Nações Unidas concordaram em diminuir a emissão de gases até o ano 2000. Novamente, em 1997 membros da Comissão Européia concordaram em reduzir emissões até 2010, de acordo com Tregenza e Loe (1998, p.119), porém poucas mudanças estão sendo praticadas. A comparação da emissão de CO<sub>2</sub> no Brasil com o mundo ainda é bem pequena, porém significativa (tabela 1).

Tabela 1 - Emissões de CO<sub>2</sub>.

Indicador	Brasil	EUA	Japão	América Latina	Mundo
t CO <sub>2</sub> /hab	1,78	19	9,49	2,14	4,28
t CO <sub>2</sub> / tep OIE	1,48	2,45	2,3	1,83	2,39
t CO <sub>2</sub> / 10 <sup>3</sup> US\$ de PIB <sup>1</sup>	0,43	0,51	0,24	0,54	0,74
t CO <sub>2</sub> / km <sup>2</sup> de superfície	39	622	3.236	46	136

Nota: <sup>1</sup> US\$ em valores correntes de 2000

Fonte: BRASIL, 2009.

O Brasil é o país que mais utiliza fontes renováveis na Oferta Interna de Energia (gráfico 7), mas mesmo assim precisa melhorar o atual quadro, ou deixar de progredir o consumo de fontes não-renováveis, para contribuir cada vez mais com a redução do aquecimento global.

Participação de Fontes Renováveis na Oferta Interna de Energia

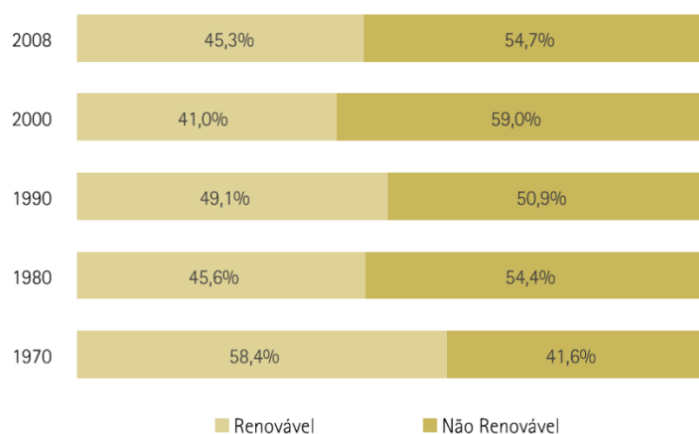


Gráfico 2 - Participação de fontes renováveis na oferta interna de energia. BRASIL, 2009.

De acordo com o Balanço Energético Nacional de 2008 (BRASIL, 2009) o setor residencial apresentou um consumo de 10,8% da oferta interna de energia (gráfico 8). Também teve um aumento do Consumo Final Energético de 2,7% em relação ao ano anterior, de 2007.



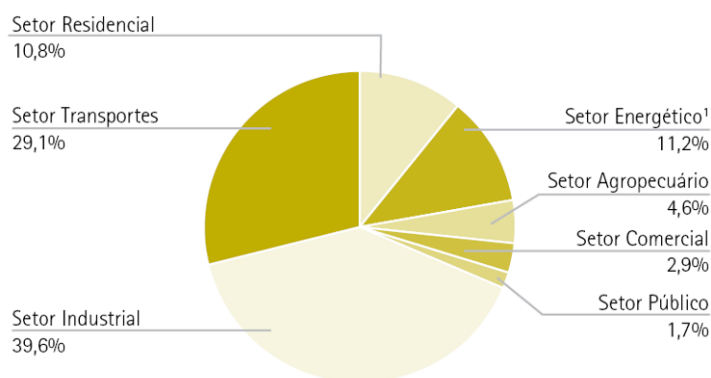


Gráfico 3 - Consumo final de energia por setor. BRASIL, 2009.

A iluminação é responsável por, aproximadamente, 23% do consumo de energia elétrica no setor residencial, 44% no setor comercial e serviços públicos e 1% no setor industrial. Em relação aos serviços públicos, aproximadamente dois terços são utilizados para iluminação de ruas. (HADDAD *et al*, 2007)

O crescimento urbano e o econômico estão intimamente ligados, reflexo claramente observado com a intensa urbanização a partir da década de 1950. Acredita que hoje nós não vivemos realmente numa civilização (*civilisation*), mas sim numa mobilização (*mobilisation*) – de recursos naturais, pessoas e produtos. Cidades são os nós do qual emana a mobilidade. (GIRARDET, 2003)

Na arquitetura, quando um projeto não atende às necessidades de conforto de forma passiva, o homem acaba utilizando equipamentos de ventilação, refrigeração, exaustão, iluminação e aquecimento que dependem de energia, geralmente elétrica, para sua operação.

O projeto bioclimático de uma edificação, prática ideal para os arquitetos, proporciona conforto ao usuário, além de alcançar economias significativas de energia. Deve servir-se de recursos renováveis, não comprometer a saúde dos usuários e através do desenho integrar-se ao meio ambiente com o menor impacto possível.

As novas tecnologias geralmente possuem um custo elevado, porém têm o valor compensado com o passar do tempo. Ao se tornarem mais acessíveis financeiramente, é provável que o mercado se interesse, e a competitividade torne o custo-benefício mais atrativo.

A preocupação com o modo de fazer a arquitetura bioclimática começa a ganhar força e produzir vários resultados positivos no país, desde o processo de projeto até o fornecedor do material de construção e a obtenção da matéria-prima.

O uso de materiais regionais valoriza a identidade de uma obra além de contribuir para o desenvolvimento local. Pode economizar combustível, minimizar a poluição do ar, empregar mão-de-obra nativa, incentivando valores da própria cultura.

### 2.2.3 Códigos e Normas

Os códigos e normas destinados à iluminação natural contribuem para a melhoria da adoção de parâmetros de dimensionamento, porém são bastante gerais, sendo necessários estudos mais aprofundados.

O PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica) desenvolveu, através do Subprograma de Edificações, em conjunto com o IBAM (Instituto Brasileiro de Administração Municipal) o Modelo para Elaboração de Código de Obras e Edificações com o objetivo de garantir o controle e a fiscalização do espaço construído. Este modelo é específico para otimizar a eficiência energética nas edificações.

#### PROCEL (1997), na Subseção I da Seção VIII

“Art. 75. Todos os compartimentos de permanência prolongada e banheiros deverão dispor de vãos para iluminação e ventilação abrindo para o exterior da edificação.”

A Subseção II trata dos Prismas de Ventilação e Iluminação (PVI), nome que utiliza para denominar os poços de luz em conjunto com estratégias de ventilação natural (figura 24).

“Art. 84. Será permitida a construção de PVI, tanto abertos quanto fechados, desde que a relação da sua altura com o seu lado de menor dimensão seja de no máximo a prevista pelo estudo da carta solar do Município.”

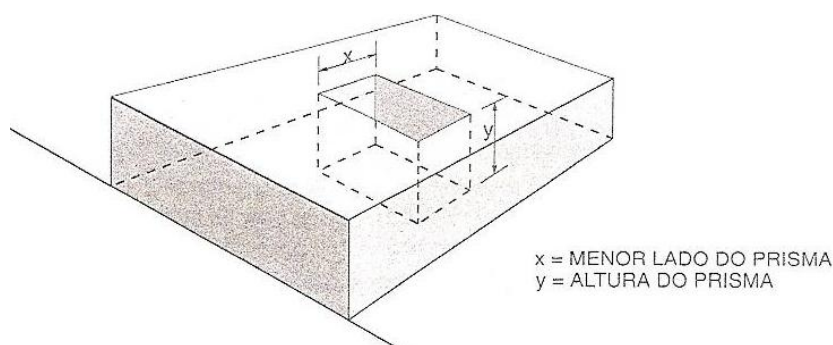


Figura 24 - Altura e menor lado do PVI. Fonte: PROCEL, 1997.

O projeto também indica que a relação ideal seria de 1:1, o que significa que a largura mínima do prisma deverá corresponder ao mesmo valor de sua altura (figura 25). Destaca que essa medida visa evitar a proporção de 3:1 da largura com a distância, que impediria a projeção solar nas áreas mais inferiores. Porém, em algumas situações pode apresentar-se como uma solução de ambiência para a iluminação e a ventilação natural além de proteger o interior das fontes externas de ruído.

“O ideal é que cada Municipalidade desenvolva estudo próprio a partir de sua carta solar, a fim de estabelecer as relações adequadas entre altura e largura dos PVI's.”

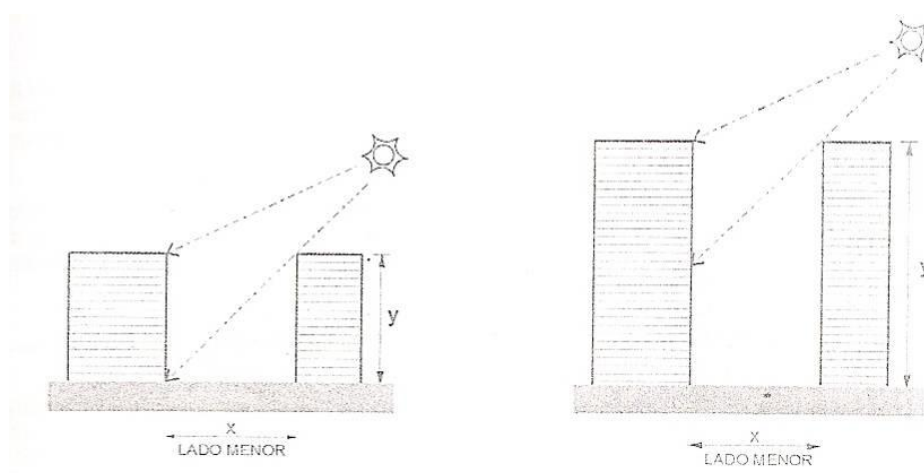


Figura 25 - Relação 1:1 e 3:1 das dimensões. Fonte: PROCEL, 1997.

“É recomendável que no cálculo das dimensões dos PVI's fechados seja considerada a possibilidade da garantia de sol na base por pelo menos duas horas diárias no período de inverno.”

As informações citadas acima não correspondem ao objetivo do estudo, pois o maior aproveitamento da luz no poço dá-se de forma indireta, talvez reflita as necessidades referentes à região sul do país, de clima mais frio. Aqui fica clara a falta que faz o maior aprofundamento nas necessidades de estratégias bioclimáticas do clima de Maceió e a relação com a luz natural.

O projeto recomenda a utilização de cor clara e base visitável, com intenção de aproveitar ao máximo a reflexão da energia luminosa nas paredes internas do poço de luz.

O Plano Diretor de Maceió (MACEIÓ, 2005) não contempla a questão específica da iluminação na edificação, restringe-se apenas a zoneamentos e diretrizes para planejamento urbano em relação ao uso e ocupação do solo, política habitacional, desenvolvimento urbano e ambiental, do sistema produtivo, da mobilidade, regularização fundiária e gestão urbana.

O Código de Urbanismo e Edificações do Município de Maceió (MACEIÓ, 2007), em seu Livro V – Das Obras e Edificações, Título I – Das Questões Gerais, Capítulo II – Da Ventilação e da Iluminação, página 47, na Seção I – Do Dimensionamento dos Compartimentos, considera o banheiro um compartimento de permanência transitória segundo a função preponderante nele exercida, que determina seu dimensionamento mínimo e necessidade adequada de ventilação e iluminação. O pé-direito mínimo é estabelecido com o valor mínimo de 2,20m (dois metros e vinte centímetros).

Na Seção II – Dos Vãos de Iluminação e Ventilação, o Artigo 319, responsabiliza apenas aos profissionais do projeto, a competência no atendimento aos níveis de iluminação. No Artigo 320, deixa equivocada a idéia de iluminação natural necessária em banheiros, pois admite que os compartimentos de permanência transitória utilizem apenas iluminação artificial. Já no Artigo seguinte, 321, veda a utilização de vãos de iluminação em banheiros voltados para a cozinha.

Ainda no Livro V, Título II - Das Condições Específicas para Ocupação e Edificação, Capítulo I – Das Zonas Especiais de Preservação Cultural, Seção I – Das Disposições Gerais, Subseção I – Do Setor de Preservação Rigorosa, a lei determina diretrizes para poços apenas nas Zonas de Preservação Cultural:

Art. 370. Os poços e as áreas de iluminação e ventilação deverão ter área mínima de 2,00 m<sup>2</sup> (dois metros quadrados), com dimensão mínima de 1,00 m (um metro) de lado e serão parcialmente recobertos com telha de capa. (2007)

Na seguinte Subseção II - Do Setor de Preservação do Entorno Cultural ainda encontramos o artigo seguinte:

Art. 375. Existindo poços de ventilação e iluminação de vãos internos, estes deverão ter uma área mínima de 2,00 m<sup>2</sup> (dois metros quadrados), com dimensão mínima de 1,00 m (um metro) de lado.

O poço em estudo possui uma proporção menor do que a idealizada pelo IBAM por representar dimensões geralmente encontradas em Maceió. O tamanho do poço geralmente é reduzido no projeto com objetivo de evitar perdas de área construída e reduzir custos de uma maneira equivocada, uma vez que uma boa arquitetura não deve ser ditada pelas regras mercadológicas.

A NBR – 5413 (ABNT, 1992) apresenta dados de iluminância média de interiores para iluminação artificial, porém é muito utilizada também para referenciar alguns estudos em iluminação natural. A norma agrupa iluminância por classe de tarefas visuais, onde o banheiro se configura como um espaço de permanência curta de tarefa visual simples, conforme tabela 2.

Tabela 2 - Iluminância em lux por tipo de atividade.

Banheiros	Mínima	Média	Máxima
<b>Geral</b>	100	150	200
<b>Espelhos (iluminação suplementar)</b>	200	200	500

Fonte: Adaptado de NBR – 5413, ABNT, 1992.

A NBR – 5382 (ABNT, 1985) fixa um método para verificação de iluminância de interiores de áreas retangulares através da iluminância média sobre um plano horizontal, proveniente da iluminação geral. Não será utilizada para o trabalho porque é inadequada para cálculo em simulação computacional.

A NBR – 15215-4 (ABNT, 2003) estabelece métodos para a verificação experimental das condições de luminância e iluminância de ambientes internos que não servirá de base para o trabalho, pois as simulações realizadas no programa Tropix 3.12 (CABÚS, 2008) calculam a iluminância através de métodos diferentes.

As conseqüências de uma legislação genérica podem provocar uma utilização irrestrita dos poços de luz na cidade de Maceió. Portanto, o trabalho configura-se como importante fonte de informações que podem ser utilizadas para embasar ou até mesmo justificarem o seu uso.

## **2.3 LUZ**

Talvez, o meio de comunicação mais importante do homem com seu entorno seja a visão. O olho se estimula com a luz que reflete dos objetos, pois a luz é um pré-requisito da visão.

O que percebemos como luz, é uma estreita banda de longitudes de onda de radiação eletromagnética de 380 a 780nm (figura 26). Esta radiação energética consta de partículas de energia, fótons, e propriedades de movimento ondulatório transversal. A longitude de onda determina sua cor. A luz que contém todas as ondas de aspecto visível se percebe como luz branca e a sensibilidade do olho humano varia com a longitude de onda ver figura (KOENIGSBERGER et al, 1977; HOPKINSON *et al* 1966, p. 11).

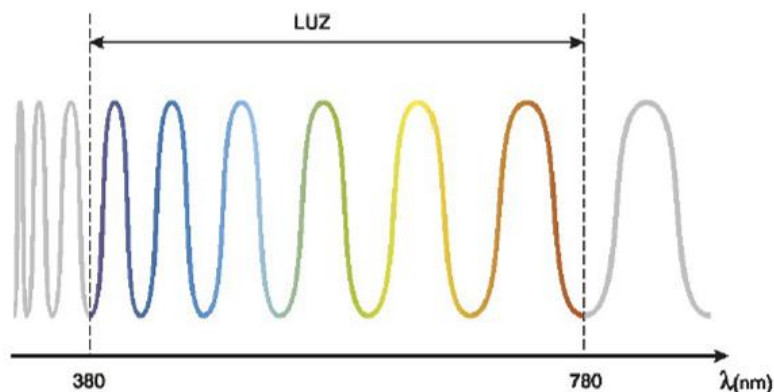


Figura 26 - Intervalo do Espectro Eletromagnético que forma a luz visível – adaptado de SILVA, 1977.  
Fonte: ARAÚJO, 2006.

Luz é um fluxo de energia, é parte do espectro eletromagnético e pode ser descrita em comprimento de onda e energia, mas o que vemos como luz é uma mistura de muitas cores e não há ligação entre a distribuição espectral da radiação e a percepção humana de brilho e tom. Por essa razão, a luz é definida unicamente pela resposta do olho humano. Existem quatro unidades inter-relacionadas, o fluxo da luz, sua intensidade no espaço, iluminância num ponto e a luminância de uma superfície de acordo com Tregenza e Loe (1998, p.3).

O fluxo luminoso é medido em lumens. Um lúmen é o fluxo luminoso emitido por uma fonte pontual representada pela unidade de candela (cd) em uma unidade de ângulo sólido ver figura 27.

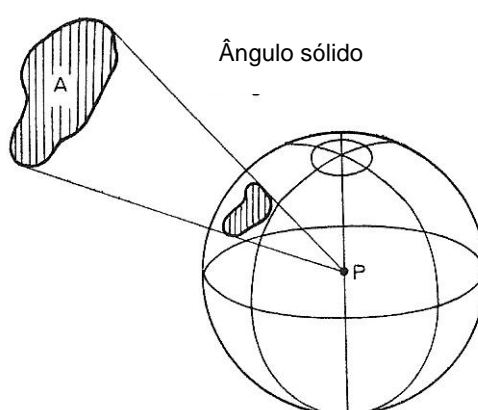


Figura 27 - Ângulo sólido. Fonte: BEAN e SIMONS (1968).

A luminância é a medida da luminosidade de uma superfície expressa em  $\text{cd}/\text{m}^2$ . Ou seja, a luz que sai do objeto e alcança nossos olhos. Já a iluminância é a luz que chega ao objeto, representada pela quantidade de fluxo que incide sobre a

unidade de área, expressa em lux (lx). A iluminância de uma fonte pontual se reduz com o quadrado da distância. Essa relação é chamada de lei do quadrado inverso e se aplica quando o plano iluminado é normal à direção da luz (KOENIGSBERGER et al, 1977).

As condições de iluminação se descrevem, medem ou especificam usualmente em função da iluminância sobre um dado plano, chamado plano de trabalho. Tais cálculos são empreendidos separando a luz direta do sol da luz do céu e tratando cada uma de um modo diferente. O sol é uma fonte concentrada, e pode ser encarado como uma fonte luminosa pontual, ao passo que o céu é uma fonte grande e difusa com uma distribuição de luminância variável. A composição espectral da luz do sol e do céu varia com as condições atmosféricas (HOPKINSON et al, 1966, p. 45, 48).

A fonte de luz pode ser artificial (lâmpadas e *leds*) ou natural (Sol, céu e entorno). A iluminação natural é característica de cada localidade, por isso necessita de controle de transmissão e distribuição. A iluminação artificial é praticamente independente da localidade, do clima e do tipo de obra, contudo, a iluminação natural depende muito das condições externas dadas e seu controle só é possível pelo próprio edifício.

A luz natural também transmite muita radiação térmica junto com a luz. Assim, nos trópicos, a admissão de uma grande quantidade de luz do dia irá acompanhada de calor radiante, que provavelmente será excessivo.

Em um meio homogêneo a luz viaja segundo uma trajetória reta. Sua velocidade é aproximadamente 300000 km/s. Os materiais transparentes quando se expõem à luz, transmitem grande parte dela, ao contrário dos opacos. Os materiais translúcidos transmitem parte da luz incidente proporcionando uma luz difusa (KOENIGSBERGER et al, 1977).

A luz que incide em uma superfície pode se distribuir de três modos: reflexão, absorção e transmissão. Assim, cada objeto possui uma propriedade de acordo com tais componentes: refletância, absorbância e transmitância. A soma dessas componentes é sempre igual à unidade.



Se os raios paralelos da luz incidente continuam sendo paralelos depois da reflexão em uma superfície, esta é um espelho plano e se denomina reflexão especular. A este tipo de superfícies se aplicam as regras da ótica geométrica: o ângulo de reflexão é igual ao ângulo de incidência, em um espelho convexo os raios refletidos são divergentes e em um espelho côncavo são convergentes. Contudo, a luz refletida de uma superfície rugosa será uma luz difusa. Dependendo dos componentes do material da superfície, a luz poderá ser semidifusa ou dispersa ver figura 28.

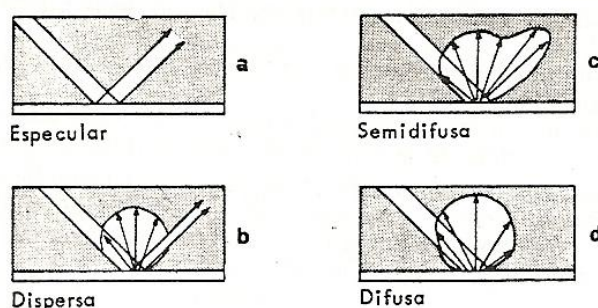


Figura 28 - Fenômenos de reflexão da luz. Fonte: KOENIGSBERGER et al (1977).

### 2.3.1 Fontes de luz natural

A fonte essencial de luz natural é o Sol, mas a luz que chega à Terra se difunde parcialmente na atmosfera e as condições atmosféricas predominantes na localidade determinarão a quantidade de luz que chega a um edifício.

O balanço entre a luz do sol e a do céu é determinado pela natureza da atmosfera e a distância que a luz percorre através dela. Quanto maior o vapor d'água e a distância, maior é a proporção da luz do céu (BOYCE, 2003).

Se considerarmos um ponto dentro do edifício, a luz procedente do Sol chega a ele das seguintes maneiras: difusa (céu), luz refletida do exterior (entorno), luz refletida do interior e luz solar direta.

A iluminação natural, num dado ponto do interior, consiste não apenas na luz que alcança tal ponto diretamente a partir do céu, mas também na luz que o alcança após reflexões em superfícies interiores e exteriores (figura 29).

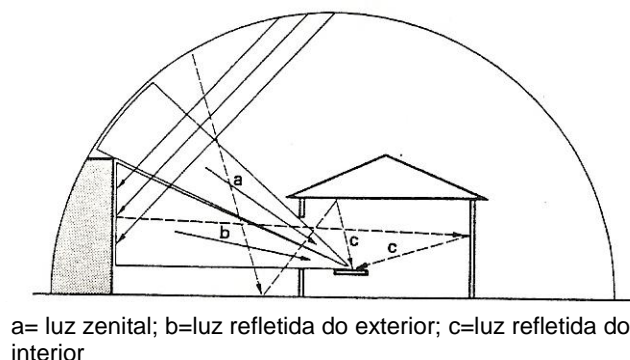


Figura 29 - Iluminação no plano de trabalho. Fonte: KOENIGSBERGER et al (1977).

O sol é uma fonte concentrada, e pode ser encarado como uma fonte luminosa pontual, ao passo que o céu é uma fonte grande e difusa com uma distribuição de luminância variável. Embora a base fundamental dos projetos e cálculos de luz natural se apóie na CIE (*Commission Internationale de l'Eclairage*), de que devem ser excluídos os efeitos da luz direta do sol, o projetista precisa possuir informações sobre a iluminação direta do sol, assim como a quantidade e distribuição de luz proveniente do céu, de acordo com Hopkinson *et al* (1966).

Formas de controle são necessárias para limitar a potencialidade excessiva dos níveis da luz do dia. Uma ampla gama de dispositivos disponíveis, de relativamente barato, como simples cortinas, até a mais alta tecnologia computadorizada que rastreia o sol (PHILLIPS, 2004).

Nos climas quentes, a radiação térmica inerente ao excesso de iluminação traduz-se em superaquecimento. É interessante, portanto, fazer uso de uma iluminação mais amena, trazendo a sensação de diminuição do calor. Como é o caso de Maceió, a luz do sol refletida pode ser empregada como a principal fonte de iluminação interior.

### 2.3.1.1 O Sol

A Terra recebe quase toda sua energia do Sol em forma de radiação, por isso é a influência dominante dos climas. A intensidade da radiação que alcança a superfície superior da atmosfera se toma como constante solar:  $1395 \text{ W/m}^2$  podendo variar em 2% devido a variações na energia que sai do próprio sol e varia cerca de 3,5% por causa de alterações na distância Terra-Sol (KOENIGSBERGER et al, 1977).

A terra gira ao redor do seu próprio eixo fazendo uma rotação em 24 horas. O eixo desse giro está inclinado em relação ao plano da órbita elíptica um ângulo de  $66,5^\circ$  (uma inclinação de  $23,5^\circ$  da normal) e a direção desse eixo é constante. A máxima intensidade se recebe em um plano normal à direção da radiação (figura 30). Assim, devido à posição inclinada da Terra, a área que recebe a máxima intensidade de radiação move-se de norte a sul entre o Trópico de Câncer (latitude  $23,5^\circ\text{N}$ ) e o Trópico de Capricórnio (latitude  $23,5^\circ\text{S}$ ). E esta é a principal causa das mudanças de estação.

A utilização da luz do dia para qualquer lugar depende do fluxo solar disponível. Obviamente, o fluxo em uma superfície arbitrária sofre tanto variações mensais quanto diurnas. (MUNEER,1997).

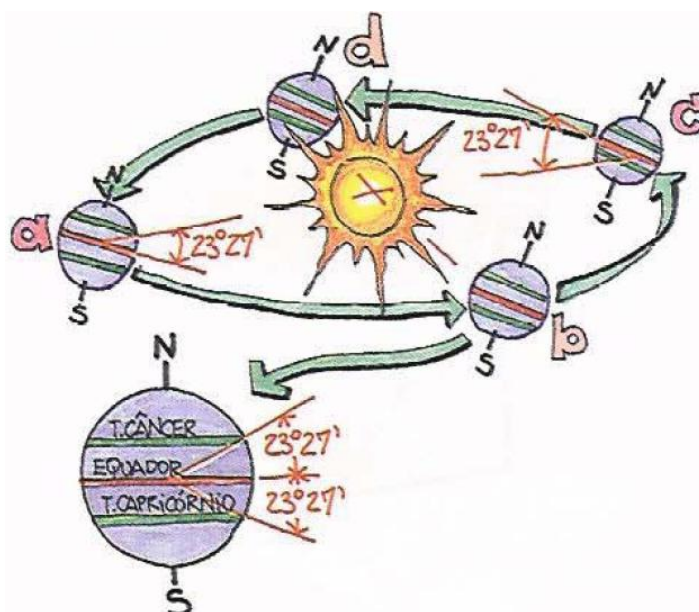


Figura 30 - Translação da Terra e localização dos trópicos. Fonte: Lamberts et al, 1997.

Em 21 de junho as áreas que estendem ao longo da latitude  $23,5^\circ\text{N}$  são normais aos raios solares, a trajetória aparente do sol passa pelo zênite nessa latitude e a quantidade de luz diurna é maior que a noturna. Ao mesmo tempo, a latitude  $23,5^\circ\text{S}$  sofre um dia mais curto e uma radiação mínima.

Em 21 de março e 23 de setembro as áreas ao longo do equador são normais aos raios solares e experimentam uma trajetória zenital do sol. Em todas as áreas da Terra são estes os dias do equinócio (dia e noite de igual extensão). (KOENIGSBERGER et al, 1977)

Esta relação Terra-Sol afeta a quantidade de radiação recebida em um ponto particular da superfície terrestre de três modos:

- Pela lei do cosseno, que estabelece que a intensidade em uma superfície inclinada é igual a intensidade normal pelo cosseno do ângulo de incidência;
- Pela dissipação atmosférica, com a absorção da radiação pelo ozônio, vapores e partículas de poeira atmosférica;
- Pela duração da luz solar, a saber, duração do período de luz diurna.

De acordo com Muneer (1997) e Lamberts *et al* (1997), a posição do Sol na abóbada celeste pode ser definida através dos ângulos de altura solar ( $\gamma$ ) e de azimute solar ( $\alpha$ ), para um dado ponto no plano horizontal, que variam de acordo com a hora do dia e período do ano (figura 31).

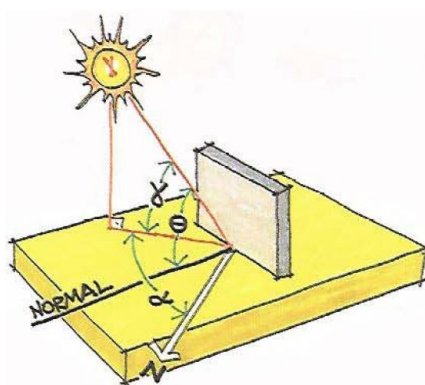


Figura 31 - Ângulos de altura ( $\gamma$ ), azimute ( $\alpha$ ) e incidência ( $\theta$ ) solares. Fonte: Lamberts *et al* (1997).

A carta solar é um instrumento para resolução de problemas de geometria da insolação a partir de plantas e cortes e coordenadas horizontais da posição do sol acima da linha do horizonte (FROTA, 2004). Oferece uma visão mais clara das posições ocupadas pelo sol nas diversas datas, e dados como o azimute. Assim, basta saber a altitude e o azimute para saber onde o sol está em determinado período do ano para uma específica latitude (figura 32).

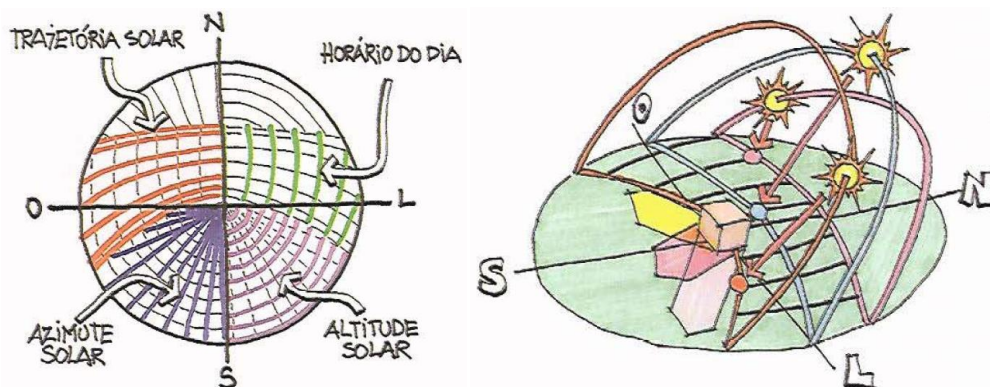


Figura 32 - Carta solar e trajetória do sol nos solstícios e equinócios. Fonte: Lamberts et al (1997).

### 2.3.1.2 O Céu

A iluminação proveniente do sol propaga-se pela atmosfera através do ar, vapor d'água e poeira, caracterizando o céu como uma fonte geradora de luz (figura 33). A iluminação produzida pelo céu depende de sua luminância. Ela varia de acordo com uma série de parâmetros meteorológicos, sazonais e geométricos, caracterizando uma complexa especificação, pois sua distribuição muda a partir de pequenas variações de tempo (PEREIRA, 2009).

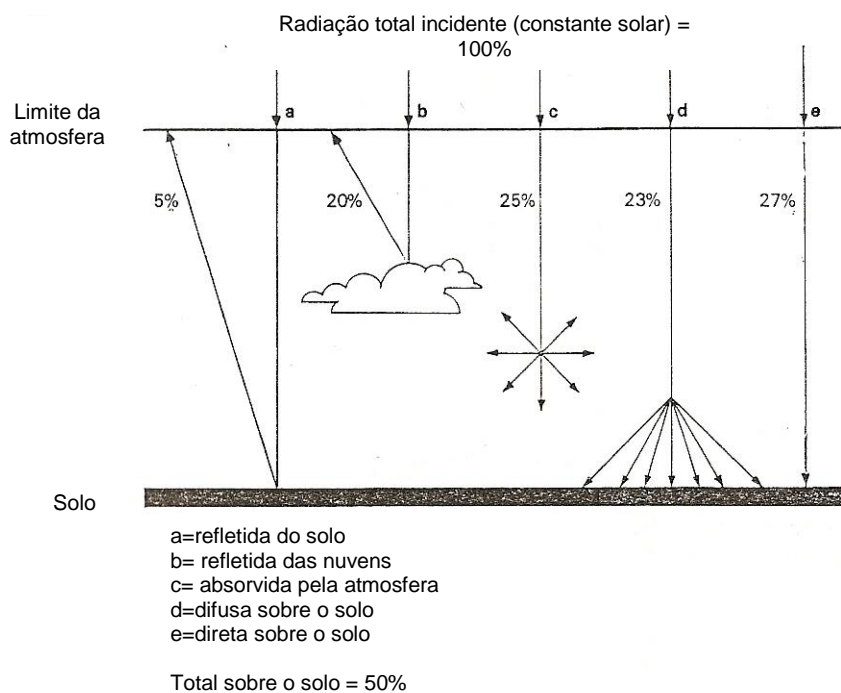


Figura 33 - Radiação incidente. Fonte: KOENIGSBERGER et al (1977).

No projeto de arquitetura, o desenho dos sistemas de iluminação natural, compõe parte dos pré-requisitos básicos para determinar as conseqüências de um ambiente agradável visualmente. As condições do ambiente exterior devem ser caracterizadas e parametrizadas.

Os fatores condicionantes da iluminação que chega ao plano horizontal de trabalho são a variação sazonal do dia, as condições de insolação, o movimento da posição solar, as nuvens, a turbidez atmosférica, o raio refletido do solo e a mudança dos padrões de luminância do céu de acordo com os horários do dia e o clima.

Os principais problemas de projeto para clima quente e úmido, caso de Maceió, resultam da necessidade de proteger as pessoas que trabalham no interior dos edifícios não só contra os efeitos da luz solar, que pode ser de frequência variável, como também contra a visão direta do céu que pode, muitas vezes, ser excessivamente brilhante.

A iluminação do céu é, geralmente, obtida a partir de uma análise estatística de medições em longo prazo. Portanto, para que possam ser executados todos os tipos de cálculos de iluminação natural, exigem-se informações sobre as distribuições de luminância do céu, relativas e absolutas, e sobre os valores absolutos da iluminação do céu. Estes elementos dependem da natureza e da abundância de nuvens. Tanto os céus limpos como os completamente encobertos, têm distribuições de luminância que podem ser previstas com alguma precisão, já os intermediários são mais difíceis de serem previstos (HOPKINSON *et al*, 1966).

De acordo com Kittler *et al* (2000) no projeto de iluminação natural e medições, as especificações da luz do céu incluindo os padrões da distribuição de luminâncias são fundamentais para definir a componente difusa do céu e a direta do sol incluindo o valor global.

Os padrões de tipos de céu são estabelecidos em várias organizações mundiais e códigos (ISO-CIE, German DIN, STN-Slovak, IESNA – U.S.A, CIBSE – U.K.). Apresentam teoria, métodos de cálculo e projeto de aberturas com estudos mais específicos para cada localidade buscando representar com maior fidelidade as condições do céu típico.

De acordo com Baker e Steemers (2002), a distribuição da luminância para um céu totalmente encoberto é bem diferente do céu claro. Um céu encoberto é mais brilhoso na área do zênite e mais escuro no horizonte. Em locais com clima predominantemente nublado, como no nordeste da Europa e muitas áreas costeiras, a iluminação zenital na forma de aberturas no telhado pode trazer muito mais luz do que uma janela comum na parede. Este efeito é enfatizado pelo fato de que na maioria dos casos a luz do dia é necessária para iluminar planos de trabalho horizontais. De fato, uma área de abertura no teto proporcionaria de 2 a 3 vezes mais luz do dia numa superfície horizontal do que a mesma área do lado de baixo da janela sobre as condições de céu encoberto.

No presente trabalho será adotado o padrão da CIE, de acordo com o quadro abaixo:

Tipo	Parâmetro
1	Encoberto, com luminância saturada no sentido do zênite e uniformidade azimutal
2	Encoberto, com gradação de luminância saturada e leve brilho na direção do sol
3	Encoberto, moderadamente graduado com uniformidade azimutal
4	Encoberto, moderadamente graduado e leve brilho na direção do sol
5	Encoberto de iluminância uniforme
6	Parcialmente nublado, sem gradação em direção ao zênite, leve brilho na direção do sol
7	Parcialmente nublado, sem gradação na direção do zênite, brilhante região ao redor do sol
8	Parcialmente nublado, sem gradação na direção do zênite, distinta coroa solar.
9	Parcialmente nublado, sem sol
10	Parcialmente nublado, com brilho na região ao redor do sol
11	Céu azul claro com coroa solar distinta
12	Céu limpo, baixa turbidez na iluminância
13	Céu limpo, atmosfera poluída
14	Céu turvo sem nuvem com coroa solar plena
15	Céu azul claro turvo com coroa solar plena

Quadro 1 - Tipos de céu. Fonte: Adaptado de Tregenza (2004, p.9) e Kittler et al (2000, p.).

Seguem ilustrações dos tipos de céu mais comumente encontrados em Maceió (figuras 34 e 35).



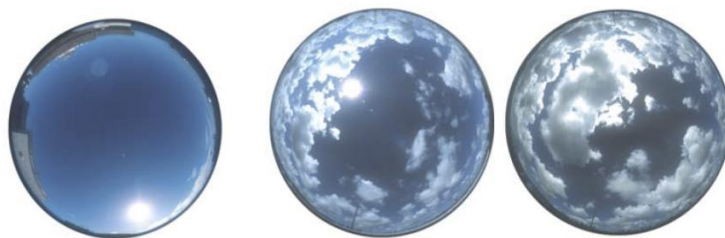


Figura 34 - Exemplos de céu claro e parcialmente nublado com sol aparente e encoberto, em Maceió-AL. Fotografia tirada com lente olho de peixe apontando para o zênite. Fonte: CABÚS, 2002.



Figura 35 - Céu encoberto em Maceió-AL. Fonte: CABÚS, 2002.

De acordo com Cabús (2002) o céu parcialmente nublado, é o mais comum em Maceió, com aproximadamente 61,8% do total das ocorrências observadas. O céu encoberto vem em seguida com 25,8%, enquanto que o céu claro compreende os 12,4% restantes (Gráfico 9).

**Probabilidade do tipo de céu em Maceió - AL**

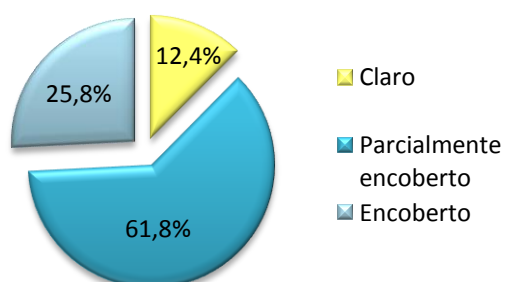


Gráfico 4 - Probabilidade do tipo de céu em Maceió - AL. Fonte: CABÚS, 2002.

O céu claro é mais freqüente quando a altitude solar é menor, principalmente durante a manhã, sendo raro ao meio-dia ou no início da tarde. O céu encoberto é menos freqüente durante o fim da tarde e o céu parcialmente nublado é sempre o



mais comum, principalmente durante a tarde (CABÚS, 2002). Entretanto, a probabilidade do tipo de céu para as horas do dia também foi prevista no gráfico 10 abaixo.

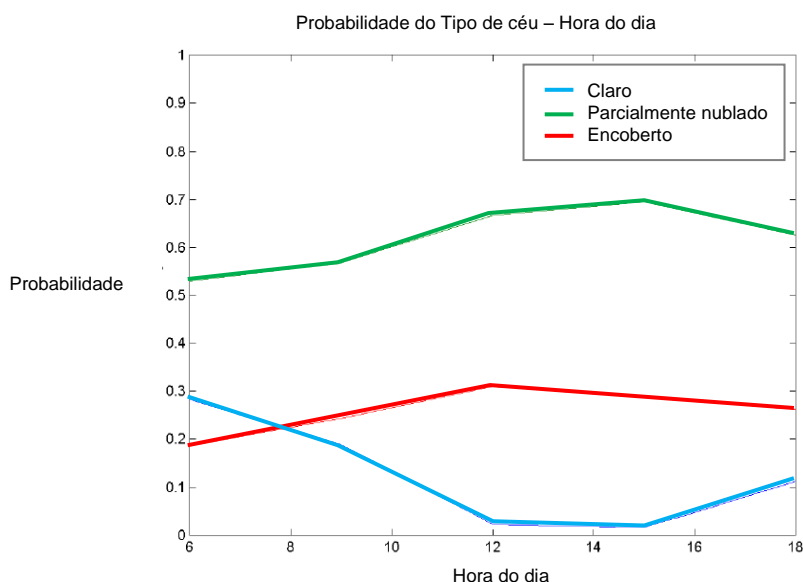


Gráfico 5 - Probabilidade do tipo de céu em Maceió. Fonte: CABÚS, 2002.

Os resultados das pesquisas de Cabús (2002) também foram cruzados entre a hora do dia e o mês do ano (gráfico 11). Então, chegou à conclusão de que o céu encoberto é mais sensível à variação sazonal, acontecendo quase tão freqüente como o céu parcialmente nublado em julho, sendo pouco comum como o céu claro durante os meses mais secos e menos ainda em outubro e novembro.

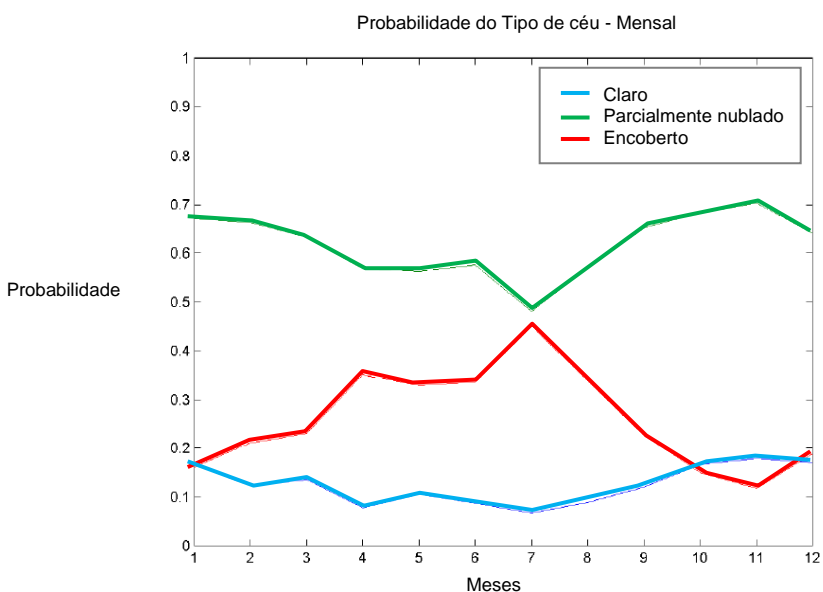


Gráfico 6 - Probabilidade do tipo de céu - mensal. Fonte: CABÚS, 2002.

Pela manhã o céu com maior percentual é o parcialmente nublado, acima de 50%, com exceção em julho quando o céu encoberto é predominante. O céu encoberto é raro entre outubro e março, enquanto que o céu claro é mais freqüente. No meio da manhã as curvas mudam um pouco. O céu claro reduz e o encoberto aumenta, sendo ainda mais freqüente o parcialmente nublado em julho.

Ao meio-dia, o céu claro é muito raro, e inesperadamente tem uma leve ocorrência durante a estação úmida. O céu parcialmente nublado é mais freqüente, principalmente na estação seca, com a máxima em novembro.

Perto do pôr-do-sol, o céu claro aparece novamente, reduzindo a ocorrência do parcialmente nublado. Agora ele é mais freqüente do que o encoberto em outubro e novembro.

Cabús (2002) trabalhou com dados meteorológicos com o objetivo de sugerir elementos para a análise climática da luz do dia em Maceió. Descobriu a insolação tem um considerável papel como fonte de luz do dia, processou os dados de nebulosidade e transformou em uma função a probabilidade do tipo de céu, que é usada no programa Troplux.

A nebulosidade foi analisada em dados de 10 anos e como uma probabilidade de tipo de céu (gráfico 12). Cresce com a estação chuvosa, entre abril e agosto, chegando ao seu máximo em julho. Em Novembro, o mês mais seco, a nebulosidade é menor.

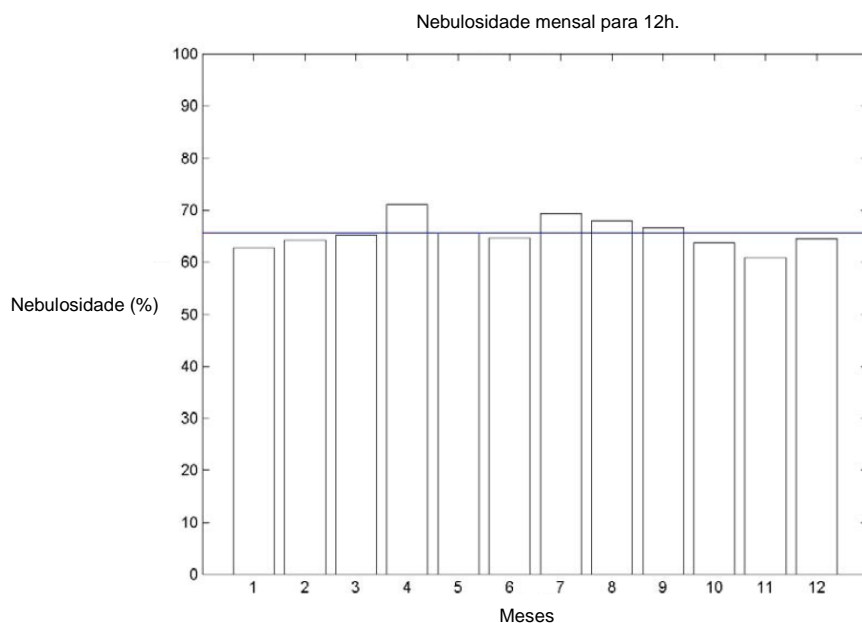


Gráfico 7 - Nebulosidade mensal para 12h. Fonte: CABÚS, 2002.

Durante o dia a nebulosidade é maior por volta do meio-dia e no meio da tarde, estando o céu mais claro com o pôr-do-sol. Os resultados também mostraram que a nebulosidade do ano todo varia mais durante o pôr-do-sol e ao nascer do sol que durante o resto do dia (gráfico 13).

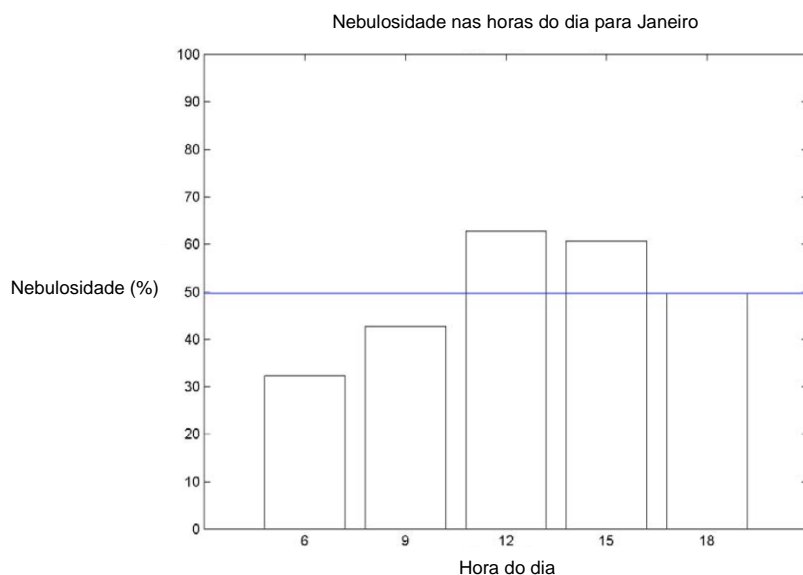


Gráfico 8 - Nebulosidade das horas do dia de janeiro. Fonte: CABÚS, 2002.

### 2.3.1.3 O Entorno

O entorno comporta-se como uma fonte de luz. A luz refletida pelo terreno que rodeia o edifício em estudo, ou proveniente de outras superfícies exteriores a ele, é um dado importante para o projeto de iluminação natural.

Como as outras fontes de luz, é preciso que sua luminância seja controlada. A luz refletida pelo entorno em regiões ensolaradas, representa no mínimo, de 10% a 15% do total da luz diurna recebida pelas janelas. Estes valores são superados quando o entorno é claro. Para os locais cujas superfícies exteriores não estão expostas ao sol, a luz refletida pelo entorno pode chegar a mais da metade da luz recebida pelas janelas contidas por superfícies sombreadas. (MASCARÓ, 1983)

O ingresso da luz pelas aberturas de edifícios localizados em uma malha urbana está condicionado pelo seu entorno. De acordo com Mascaró (1983), alguns autores recomendam como limite mais adequado que o menor ângulo dos raios de luz que penetram as habitações deveria ser de 27°, porém, a autora acredita que a razão entre a distância da edificação e a altura da obstrução vizinha deveria ser igual a dois. Trata-se de valores ideais dificilmente atingidos dentro de áreas superpovoadas da malha urbana em cidades brasileiras.

## 3.2 Eficácia luminosa da Luz Natural

Um aspecto importante da Luz Natural é a sua eficácia luminosa, tanto proveniente do sol quanto da abóbada, em relação às fontes artificiais de iluminação. Assim, como toda fonte de luz é convertida em calor as fontes naturais são essenciais por emitir menos calor por lúmen no ambiente do que as lâmpadas comuns, característica importante dos climas quentes que merecem ser consideradas adequadamente em projeto (tabela 3).

Tabela 3 - Eficácia luminosa da luz natural e lâmpadas elétricas (lm/W)

FONTE DE LUZ	EFICÁCIA LUMINOSA (Lm/W)
Sol (altura= 7,5°)	90
Sol (altura= 25°)	117
Sol (média sugerida)	100
Céu limpo	150
Céu médio	125

Global (sol +céu) média	115
Incandescente – Filamento de Tungstênio	7-14
Incandescente – HV Tung. Halógena	16-22
Incandescente – LV Tung. Halógena	12-27
Alta Intensidade de Descarga – Baixa Pressão de Sódio (SOX)	100-200
Fluorescente tubular – Cátodo Frio	70
Fluorescente tubular – Halofosfato (T8 e T12)	32-86
Fluorescente tubular – Trifósforo (T5 e T8)	75-104
Compacta Trifósforo – Base Dupla	40-87
Compacta Trifósforo – Base Dupla Lastro Integral	30-65
Fluorescente Trifósforo - Indução	65-86
Alta Intensidade de Descarga – Alta Pressão de Sódio (SON)	75-150
Alta Intensidade de Descarga – Alta Pressão de Mercúrio (MBF) (não recomendada para novas instalações)	32-60
Alta Intensidade de Descarga – Haleto metálico quartzo	60-120
Alta Intensidade de Descarga – Haleto metálico cerâmica	87-95
LED – Diodo Emissor de Luz	50-110

Fonte: Adaptado de PHILLIPS, 2004, HOPKINSON et al, 1975, IES, 1981 apud MOORE, 1991, OSRAM 2010.

A eficácia luminosa indica quão bem a lâmpada converte energia elétrica em luz. É sempre expressa em lúmens por watt (Lm/W). Entretanto, o mais óbvio meio de economizar energia nos edifícios é explorando a mais abundante fonte de luz disponível para nós – a luz do dia (PHILLIPS, 2004).

Como a eficácia luminosa da radiação energética depende de sua composição espectral, não há relação constante entre intensidade de radiação e seu efeito luminoso. Contudo, como guia geral, pode-se utilizar como valor da radiação solar 100Lm/W. (KOENIGSBERGER *et al*, 1977)

## 2.4 DUTO DE LUZ

A transmissão da luz natural para locais inacessíveis ao exterior pode ser feita através de elementos de condução denominados de dutos de luz (figuras 36, 37 e 38). O duto de luz é basicamente um dispositivo de captação zenital, que por meio de materiais reflexivos, direciona a luz para dentro da construção. A seção da estrutura pode ser redonda ou retangular. O volume retangular cabe melhor no canto ou entre paredes. Se a profundidade é grande, SHAO e RIFFAT (2000) recomendam a utilização de um duto por pavimento.

“As instalações de dutos de luz podem ser associadas a meios de ventilação, e também com soluções de luz artificial que funcione ao escurecer ou quando a iluminação natural externa for insuficiente, através de um sistema de controle.” (PHILLIPS, 2004)

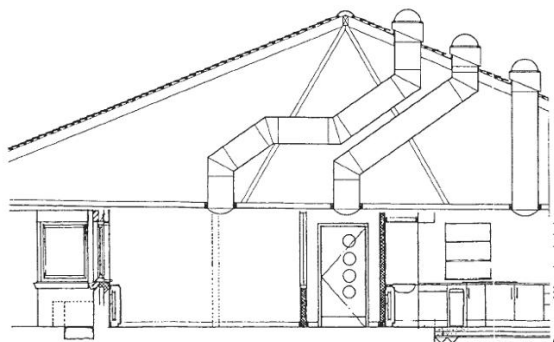


Figura 36 - Corte de dutos de luz. Fonte: PHILLIPS, 2004.



Figura 37 – Iluminação proporcionada pelo duto de Luz no interior de um ambiente. Fonte: PHILLIPS, 2004.

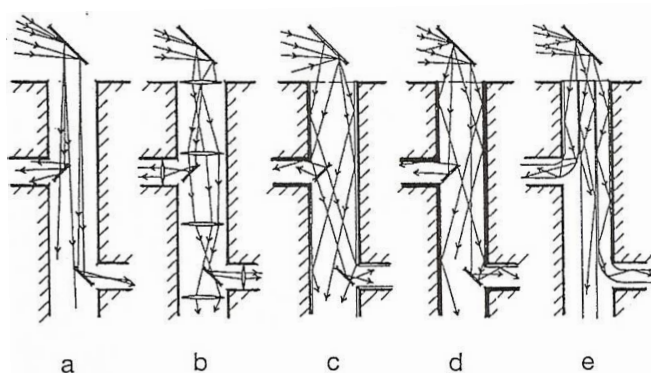


Figura 38 - Cinco métodos trabalhados para transmitir luz e sol através de dutos para dentro das construções. (a) duto plano; (b) duto com lentes convergentes; (c) duto revestido com uma superfície de alta reflexão; (d) duto revestido com filme prismático (e) feixes de fibra óptica. Fonte: BAKER and STEEMERS, 2002.

De acordo com Baker e Steemers (2002), um coletor de 1m<sup>2</sup> tem o potencial de prover uma iluminância de 300lx para uma área interna de aproximadamente 65m<sup>2</sup> de piso, assumindo uma eficiência real de 20% para o sistema inteiro. Comparando com um sistema equivalente de iluminação artificial a maior eficácia luminosa da luz do sol significa que a iluminância é obtida com baixo ganho de calor. Tal aspecto é de fundamental importância para o contexto quente e úmido dos trópicos.

Esses argumentos contribuíram para o desenvolvimento dos primeiros sistemas de duto de luz no final da década de 1970 nos Estados Unidos. (DUGUAY, 1977 *apud* BAKER e STEEMERS, 2002). No entanto, na Europa o sistema foi pouco difundido, e no Japão a tecnologia evoluiu com a utilização de fibra ótica, só que sem progresso satisfatório por causa do alto custo, da manutenção contínua e do baixo desempenho de acordo com as leis da Física.

O baixo custo de dutos de luz ganhou popularidade no mercado internacional. SHAO *et al* (1998) *apud* BAKER e STEEMERS (2002), têm como exemplo uma sala de aproximadamente 3,6m x 2,3m iluminada por quatro dutos verticais de 33cm de diâmetro, de 60 cm de comprimento, que obteve uma iluminância interna média de 177lx aferida em condição de céu encoberto de iluminância externa de 16000lx. A mesma condição poderia ter sido obtida com apenas um duto de 60cm de diâmetro (figura 39), porém a distribuição dessa quantidade seria diferenciada.

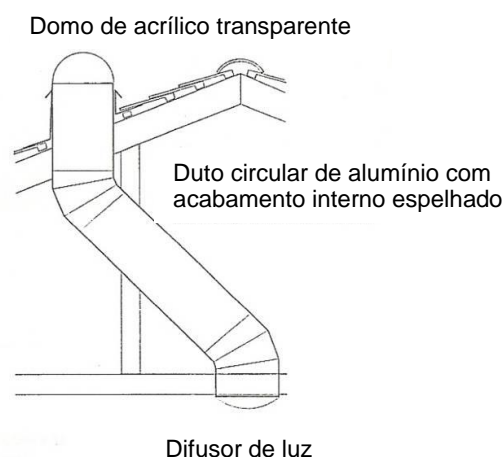


Figura 39 - Desenho esquemático de um duto de luz. Fonte: BAKER e STEEMERS, 2002.

Em outro exemplo de Baker e Steemers (2002), uma sala de 9m<sup>2</sup> é iluminada por oito dutos verticais de 33 cm de diâmetro com domo claro e difusores para

aberturas baixas, e comprimento entre 8m e 12m. Neste caso, com uma iluminância externa de 80000lx, a média da iluminância interna foi somente 76lx. Assim, o baixo desempenho não justificaria o custo da instalação.

A eficiência do duto de luz é limitada de acordo com o seu desenho e propriedades físicas dos materiais. Não é possível coletar mais luz do que a incidente na abertura externa. Como a luz deve chegar por meios de reflexão, a distância e o material irão influenciar fortemente os resultados.

Um simples cálculo do comprimento (C) sobre a área (A), quando o raio incidir com 45°, será refletido C/A vezes. Para o segundo exemplo o raio refletiria 24 vezes. E, mesmo utilizando uma refletância alta de 0.9, o cálculo  $(0.9)^{24} = 0.079$  indica que no limite o raio chega apenas com 8% da iluminância externa, uma redução significativa, conforme BAKER e STEEMERS (2002). Dependendo da iluminância externa dos tipos de céu existentes, essa porcentagem pode significar uma boa quantidade de luz, em muitos casos pode-se atingir o suficiente mesmo com essa redução, como é o caso de Maceió.

Enfim, a tecnologia empregada em condições favoráveis pode trazer grandes benefícios à construção, desde que haja uma avaliação de custo-benefício, levando em consideração todas as características locais.

Uma interessante proposta de conseguir esses fins tem sido o duto de sol. A luz do sol é coletada por um heliostato, de espelho ou lentes e jogada através de um poço ou duto para ser distribuída dentro de áreas de trabalho profundas num edifício. No edifício da universidade de Mineápolis (figura 40) a luz do sol é captada por lentes que a direcionam para um laboratório no subsolo, economizando custos com energia para iluminação e aquecimento (LITTLEFAIR *et al* , 1988, p.19)



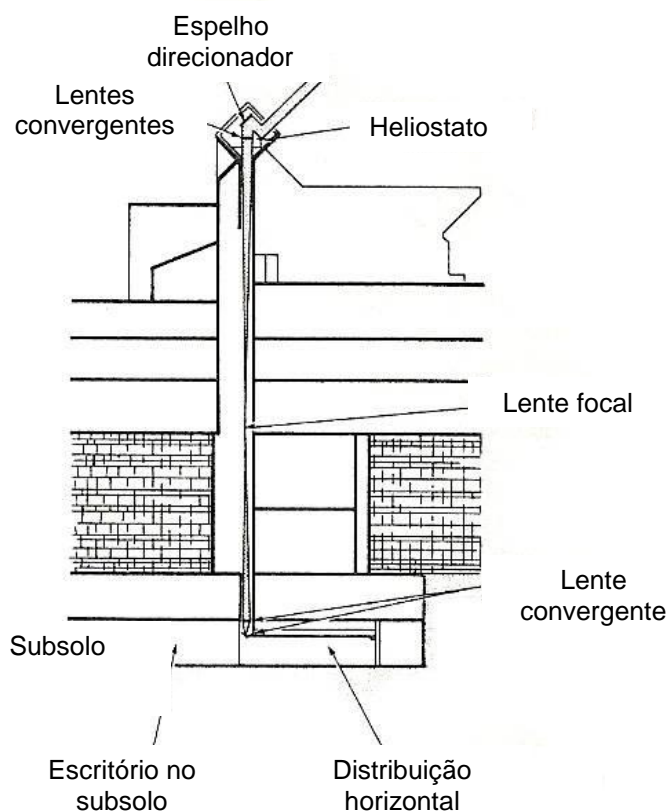


Figura 40 – Duto de sol para iluminação do subsolo - Universidade de Minesota, Mineápolis - USA.  
Fonte: Littlefair et al, 1988.

## 2.5 POÇO DE LUZ

O poço de luz é uma variação de duto de luz. Constitui num dispositivo de captação externa de luz do dia que redireciona os raios por um duto de seção entre  $0,2\text{m}^2$  e  $2\text{m}^2$  (BAKER e STEEMERS, 2002). É utilizado no projeto como integrante de uma estratégia passiva, por não necessitar de energia elétrica, cuja eficiência luminosa, para o clima de Maceió, será avaliada no presente trabalho.

De acordo com a ABNT (1999), poço de luz é um espaço luminoso interno que conduz a luz natural para porções internas da edificação. Suas superfícies geralmente apresentam acabamento com alta refletância. Uma característica bastante favorável é a pequena interferência da obstrução do poço causada pelo entorno.

Aumentar a taxa de iluminação natural não significa necessariamente aumentar a área de aberturas, pois isto poderia incorrer em maiores ganhos de calor solar indesejáveis. Além das aberturas tradicionais, pode-se explorar a luz natural, através

de diversos recursos arquitetônicos, como brises, *light shelf*, átrios, dutos de iluminação com espelhos, persianas reflexivas, paredes transparentes, poços de luz, telhados com *shed*, refletores externos, clarabóias e outros, dependendo do repertório e da criatividade do arquiteto (LAMBERTS *et al*, 1997), ver figura 41.

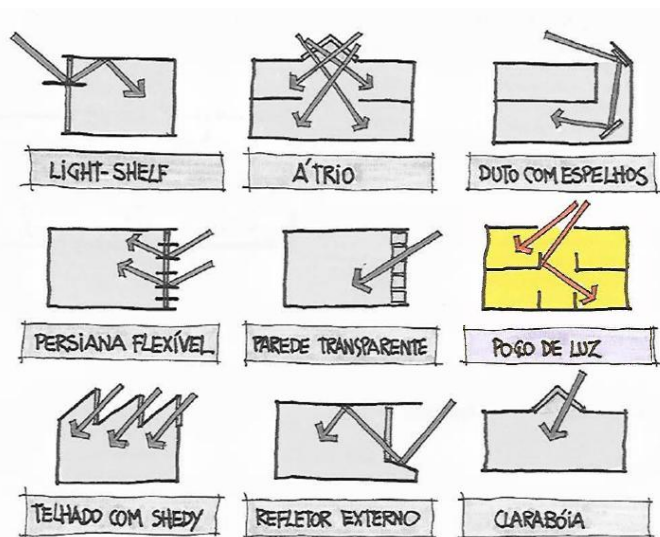


Figura 41 - Sistemas de Iluminação Natural – Destaque para o poço de luz. Fonte: Adaptado de Lamberts *et al* (1997).

O poço é um dispositivo interessante por facilitar a configuração do projeto em terrenos compactos dando ao arquiteto maior liberdade na distribuição dos ambientes. Evita ganho de calor por incidência solar direta e pode contribuir para a distribuição da luz no interior do ambiente (figura 42).

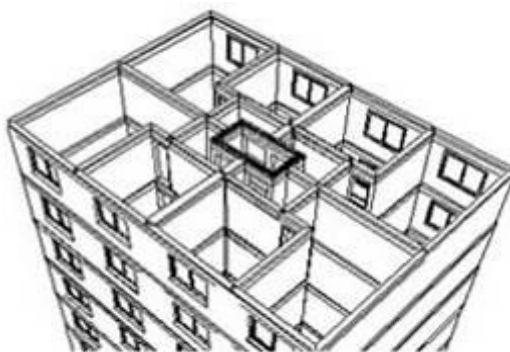


Figura 42 - Esquema de poço de luz. Fonte: [www.luz.philips.com/latam/archives/sig\\_elementos.htm](http://www.luz.philips.com/latam/archives/sig_elementos.htm), 2008.

Riffat e Shao (2000) acreditam que o planejamento de poços de luz é restrito, trazendo maiores benefícios às construções baixas. Porém, seus estudos se restringem às elevadas latitudes do Reino Unido.

As cidades com baixa latitude possuem uma melhor facilidade de tratamento da iluminação natural com qualidade no interior das edificações, por causa da abundante iluminância exterior. Como é o caso da cidade de Maceió, localizada a 9°40' de latitude sul, onde o clima é tropical quente e úmido.

Estas condições demandam proteções generosas contra a radiação solar direta, porém dimensionadas com cuidado para não obstruir grandes parcelas de luz. Assim, os ambientes permanecem protegidos e iluminados para a realização da tarefa desejada.

A utilização de poços de iluminação demanda análise de certos critérios importantes para se entender suas limitações. Um critério importante é o processo de reflexão da luz, que, ao passar por superfícies e meios, é absorvida e difunde-se causando perdas na iluminância de acordo com a profundidade do poço, processo importante a ser avaliado.

No projeto, os detalhes devem ser vistos com cuidado quanto à estanqueidade da construção, à acústica entre os pavimentos, especificação dos materiais e fidelidade ao desenho durante a execução. É um processo criterioso que pode desestimular o seu uso pelos arquitetos. O desempenho do sistema também depende de manutenção e limpeza constantes para manter as propriedades reflexivas dos materiais componentes.

A distância do perímetro para a eficiência da iluminação lateral em uma edificação é de 6m, e a profundidade máxima de um poço é de 12m conforme Riffat e Shao (2000), determinada em estudo para clima frio.

### 3 METODOLOGIA

Esse capítulo trata das etapas metodológicas necessárias para a avaliação dos efeitos da iluminação natural, proporcionada pelo uso de um poço de luz, nos banheiros de um edifício residencial em Maceió-AL.

A metodologia adotada consiste em um estudo de um modelo, fazendo uso de simulações computacionais para gerar dados de iluminância. A partir das iluminâncias encontradas, investigou-se a influência de um conjunto de variáveis relacionadas à constituição material e espacial do poço de iluminação para a iluminância interna do banheiro.

Inicialmente, define-se o modelo de referência e as variáveis a serem analisadas no estudo. Em seguida, descreve-se o programa escolhido para as simulações computacionais. Por fim, são detalhados os parâmetros adotados nas simulações e resultados.

#### 3.1 MODELO DE REFERÊNCIA

Para as simulações, em função da geometria adequada e recorrente, foi adotado como ambiente padrão um banheiro voltado para o poço de luz pertencente a um apartamento do edifício Chateau Lafite situado em Maceió-AL, no bairro da Ponta Verde (figuras 43 e 44). O edifício possui 9 andares, pilotis com área de lazer e garagem no subsolo.



Figura 43 – Perspectiva do Edifício Chateau Lafite. Fonte: Construtora Lima Araújo, 2009.

É um padrão com quatro apartamentos por andar cada um com aproximadamente 150m<sup>2</sup>. As unidades possuem quatro quartos, sendo duas suítes, banheiro social, sala de estar, jantar, varanda, cozinha, serviço e dependência completa de empregada. O banheiro e o poço em estudo encontram-se situados na suíte do casal, conforme demarcado na planta do pavimento tipo (figura 44) e no corte do edifício (figura 45).



Figura 44 - Planta do pavimento tipo do Edifício Chateau Lafite. Fonte: Construtora Lima Araújo, 2009.



Figura 45 - Corte do Edifício Chateau Lafite com destaque do poço de luz em amarelo. Fonte: Construtora Lima Araújo, 2009.

O banheiro possui geometria simples, com  $4,19\text{m}^2$  de área, com  $1,95\text{m}$  de um lado,  $2,35\text{m}$  do outro e uma reentrância de  $0,65\text{m}$  em um dos maiores lados. Existe uma única janela de  $0,50\text{m} \times 0,40\text{m}$  com peitoril de  $1,70\text{m}$  de altura (figuras 46 e 47).



Figura 46 - Vista interna do poço em construção.



Figura 47 - Janela com vista para o poço.

O pé-esquerdo é de  $3,00\text{m}$  e o pé-direito até o forro de gesso é de  $2,50\text{m}$ . As janelas voltadas para o poço são repetitivas e unilaterais para todos os nove pavimentos. Suas dimensões estão representadas conforme figuras 48 e 49.

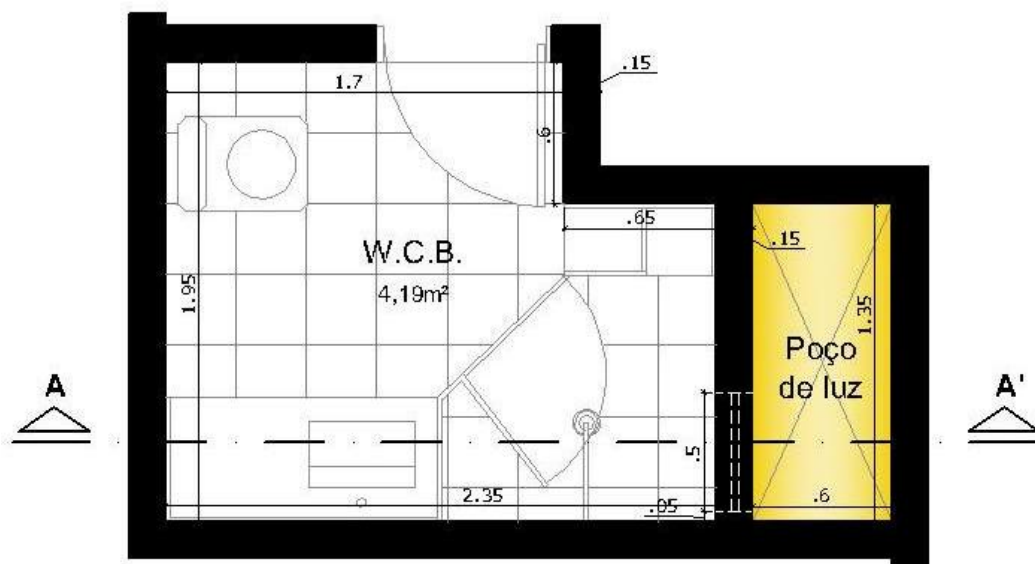


Figura 48 - Planta Baixa do banheiro com o poço de luz.

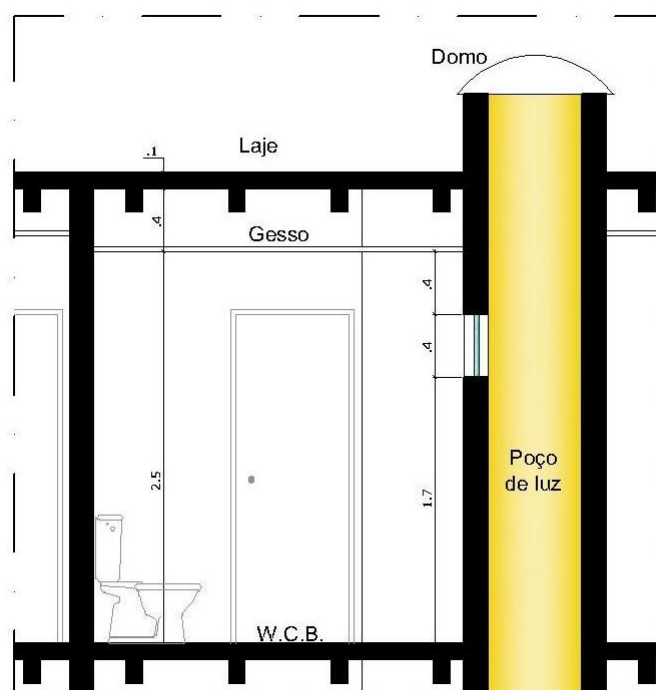


Figura 49 - Corte AA' do banheiro com o poço de luz.

A janela possui vidro translúcido, jateado, com refletância especular e transmitância difusa. O edifício, ainda em fase de construção, não apresentava o acabamento final do poço de luz. Dessa forma, as superfícies internas, poço, piso, parede e teto, foram configuradas com coeficientes de reflexão iguais ao branco 0,9, porque é um valor bastante reflexivo e que pode ser alcançado. Para o estudo não serão feitas análises qualitativas, assim a luminância não será avaliada diretamente, pois o objetivo do presente estudo é analisar a quantidade de luz que chega ao plano de trabalho.

A refletância de 90% é um valor alto, difícil de ser conseguido com materiais comuns. Esse padrão foi adotado, visto a existência do material apropriado *Natralux Spectralight 2000 film*, referenciado por Riffat e Shao (2000), que possui a refletância de 95% na superfície. Consiste em uma folha laminada para duto de luz em alumínio, com 5 mm de espessura. Considerando a manutenção e a qualidade de instalação da superfície, provavelmente o valor da refletância oscilará, justificando a redução dos 5% nas simulações realizadas.

A conservação e a limpeza regulares do domo, das janelas como das superfícies interiores das salas, são essenciais para que o padrão de luz natural,



garantidos pelo projeto original, não se deteriorem, conforme Hopkinson *et al* (1966, p. 347). Entretanto, sua transmitância não foi objeto de estudo deste trabalho.

Para a iluminação natural, como as paredes de um átrio, baixas refletâncias são adequadas somente quando o espaço é mais largo do que alto, conforme Baker e Steemers (2002) e Samant e Yang (2007).

Durante a modelagem, o plano de trabalho foi considerado para a altura da bancada da pia a 0,9m do chão. Para contribuir na análise dos resultados, foi adotada uma grade de pontos (figura 50) durante as simulações para análise das curvas isolux (linhas de mesma iluminância, que representam gradativamente valores diferentes conforme a distanciamento da abertura ou fonte de luz).

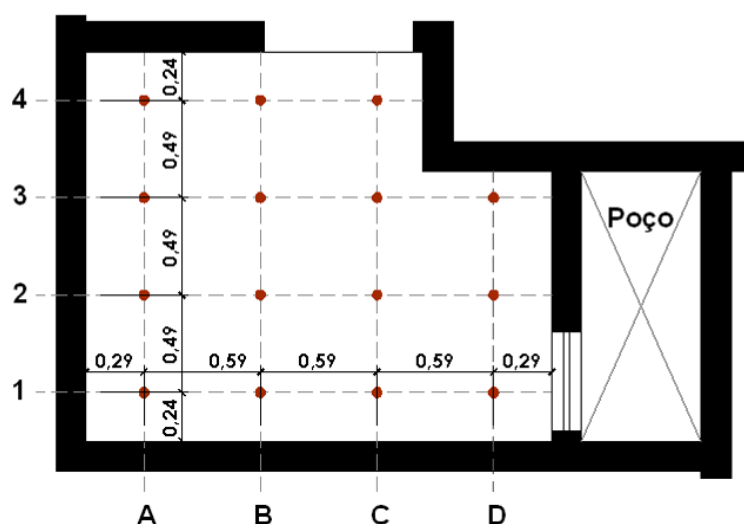


Figura 50 - Distribuição dos pontos para a Curva Isolux.

O padrão do banheiro foi mantido nas simulações a fim de poder atribuir os diferentes resultados a outras variáveis, como a profundidade, a seção horizontal do poço, o tamanho da janela e a refletância dos materiais. Foi desconsiderado o entorno como obstrução ou fonte de luz, uma vez que, por possuir captação zenital de luz, a 31,65m do chão, o poço, sofre pouca influência do entorno.

### 3.2 O PROGRAMA DE SIMULAÇÃO

Para realizar as simulações computacionais foi utilizado o programa TropLux 3.12 (CABUS, 2008). O programa foi validado e considerado seguro através da pesquisa de Cabús (2005), por possuir um método de cálculo com algoritmos



apropriados ao estudo da iluminação natural em qualquer ponto do planeta. A construção de modelos pode ser rápida, sendo uma ferramenta prática e precisa no processamento de valores de iluminância em um ponto ou plano espacial (figura 51).



Figura 51 - Interface do Programa Troplux 3.0. Fonte: CABÚS, 2008.

Após a modelagem, no processamento, o Troplux calcula a iluminância usando o método do raio traçado (ray tracing) em conjunto com o método Monte Carlo. A partir dos Coeficientes de Luz Natural (CLN), são processadas as componentes diretas e refletidas. Esses recursos são utilizados para avaliar as parcelas de contribuição da iluminação natural em ambientes.

O programa traz configurados os dados da latitude, da longitude e do meridiano padrão para a situação da cidade de Maceió, entre outras, tais valores respectivamente  $9^{\circ}40'$ ,  $35^{\circ}44'$  e  $-45^{\circ}$ . Também, permite a configuração da reflexão das superfícies, fundamental para a análise do trabalho.

### 3.3 SIMULAÇÕES

O programa constrói a geometria através de planos formados por quatro pontos, de coordenadas (x; y; z), que juntos formam os volumes. Inicia com uma geometria retangular, onde podem ser inseridos novos planos a fim de adequar à realidade espacial do local de estudo.

As dimensões do ambiente foram informadas no menu *Input*. A partir desses dados foi gerada uma geometria básica com quatro paredes, piso, teto e suas espessuras, a altura do piso em relação ao solo e o plano de trabalho imaginário. Em seguida, foi inserida uma janela no plano 6 conforme padrão adotado pelo Troplux (figura 52).

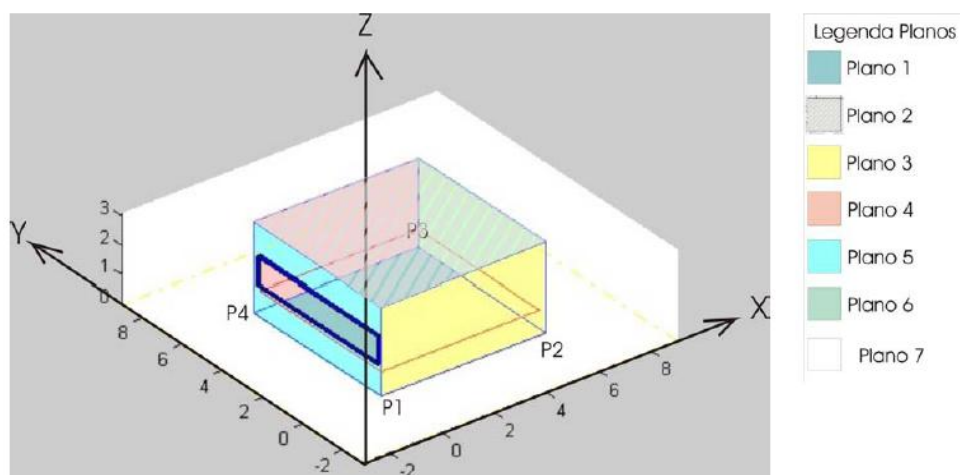


Figura 52 - Padrão adotado para os planos no Troplux. Fonte: Cabús, 2002.

Além dos planos básicos gerados pelo programa, foram criados dois planos que representam as duas paredes da reentrância que deixa a área do banheiro com formato em “L” e todos os planos internos do poço de luz (figura 53). Cada um dos nove andares foi modelado separadamente para facilitar a inserção e a manipulação dos dados. A diferença fundamental entre eles é a altura em relação ao solo e conseqüentemente a profundidade do poço.

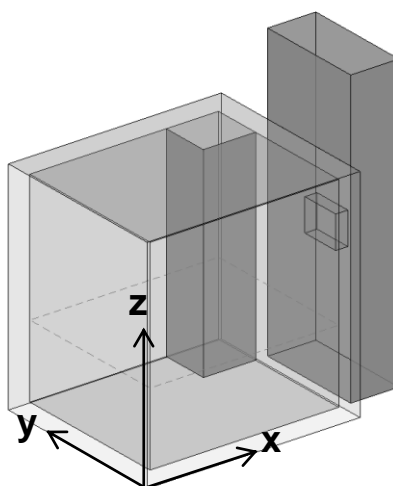


Figura 53 - Exemplo da modelagem do nono andar no Troplux, com a indicação dos eixos x, y e z.

As características dos planos também foram inseridas, representando valores hipotéticos, possíveis de serem atingidos na realidade. O programa permite definir reflexão ou transmissão dos tipos difusa, especular ou mista. Contudo, foi adotada a refletância difusa igual a 0,9 para todos os planos.

A janela do banheiro em estudo possui orientação voltada para o norte verdadeiro (N), conforme figura 54 abaixo. Para a análise da iluminação de acordo com a orientação do banheiro em relação ao sol, foram analisados os azimutes  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$  e  $270^\circ$  graus, embora Hopkinson *et al* (1966, p. 640) acreditem que a orientação de um edifício que utiliza luz solar refletida é relativamente pouco importante.

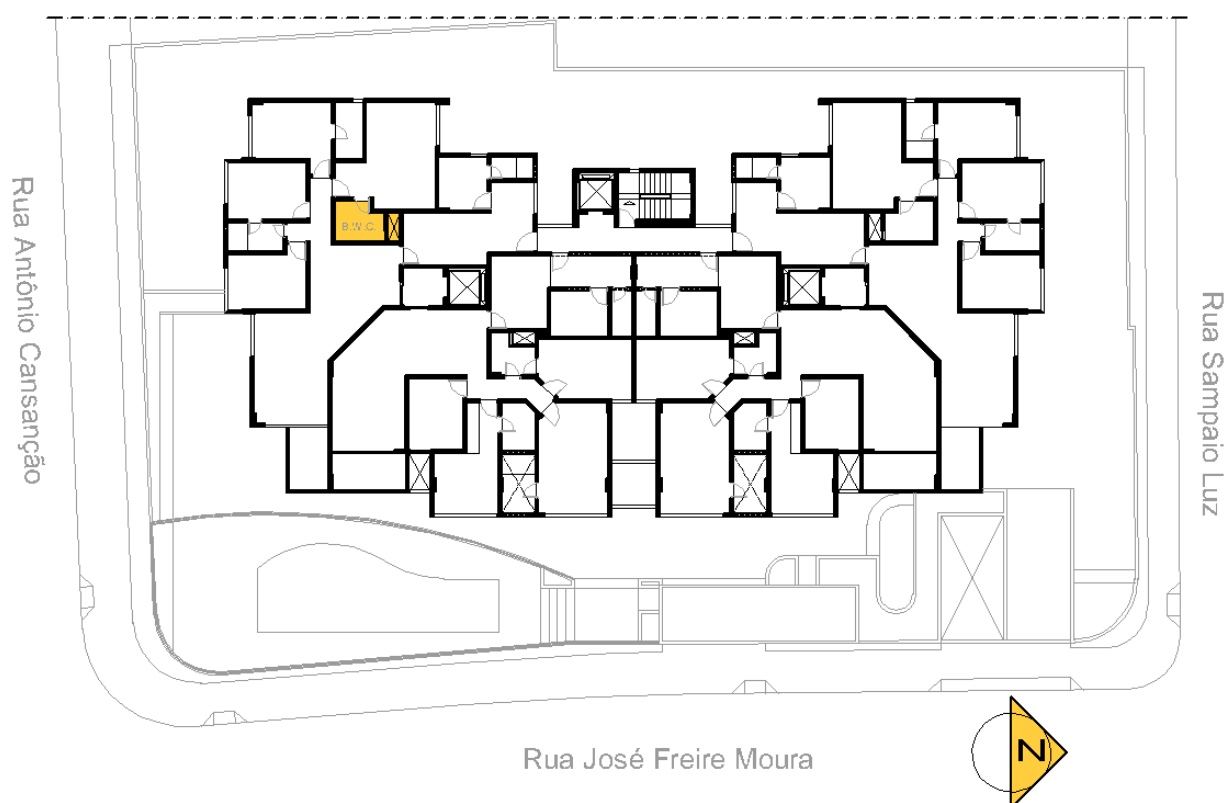


Figura 54 - Orientação do ambiente de estudo.

No programa, o azimute corresponde ao ângulo entre o Norte verdadeiro e o eixo X, no sentido horário, variando de  $0^\circ$  a  $360^\circ$ . Foi adotado o dia 22 de todos os meses do ano para avaliar a interferência sazonal nos valores das iluminâncias internas ao meio dia (hora solar). O método da iluminância horizontal difusa

escolhido foi o da IES (*Illuminating Engineering Society*). Ao final, foi aferida a curva isolux para o nono pavimento e suas variações. Os resultados foram analisados para três tipos de céu diferentes: encoberto, parcialmente nublado e claro, que correspondem, respectivamente, aos números 1, 10 e 14 (figura 55).

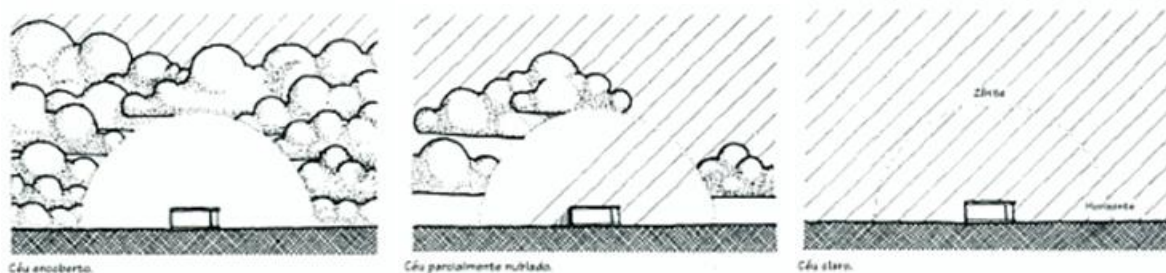


Figura 55 - Exemplos de tipos de céu encoberto, parcialmente nublado e claro. Fonte: DEKAY & BROWN, 2001.

No poço de luz os raios do sol são refletidos pelas paredes com um ângulo de incidência  $\alpha$ , perdendo um percentual de luz a cada rebatida, de acordo com as características da superfície em absorver e refletir parcelas da radiação (figura 56). Para o poço em estudo, a luz entra diretamente apenas no nono andar quando o sol possui altura solar entre  $67^\circ$  e  $69^\circ$ . Corresponde ao ângulo vertical da abertura, medido a partir do horizonte, em direção ao zênite. Com o Sol no zênite só existem reflexões difusas do sol e do céu, sendo assim, o fundo do poço foi desprezado no presente estudo por estar relativamente distante. Deste modo, sua refletância foi configurada como nula.

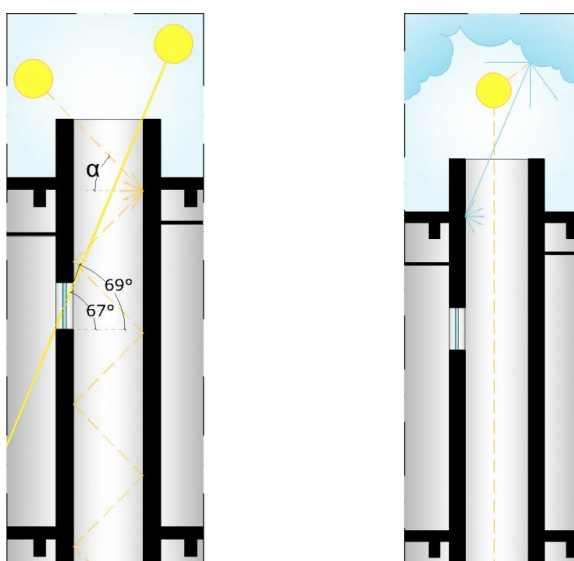


Figura 56 - Ângulos de altura solar, nas extremidades e o sol no zênite.

As janelas foram consideradas apenas como aberturas, não sendo objetivo deste trabalho estudar a influência da transmitância decorrente do vidro jateado. Como sugere Cabús (2005), foi adotada uma margem de erro estatístico de 5%. Este erro é calculado para a componente refletida integralizada para toda a abóbada celeste. Assim, a subdivisão do céu detalhada é processada, deixando a iluminância mais precisa. O cálculo da iluminância foi processado de acordo com o padrão da IES (*Illuminating Engineering Society*) e a iluminância foi processada em unidade absoluta – lx (lux).

Para representar todas as simulações realizadas, os dados foram relacionados no quadro abaixo (quadro 2) a fim de facilitar a visualização das combinações das propriedades para cada um dos parâmetros. As variações de plantas também podem ser observadas na figura 57 em seguida.

<b>QUADRO GERAL DAS SIMULAÇÕES</b>					
<b>Andar 9</b> <b>P(0,5;0,25;0,9)</b>	<b>Iluminância por azimute - mensal</b>				
	<b>Iluminância global - mensal</b>				
	<b>Iluminância por tipo de céu - mensal</b>				
	<b>Contribuição Céu x Sol - 22 de Janeiro - média das horas</b>				
	<b>Contribuição Céu x Sol - mensal</b>				
<b>15 pontos</b>	<b>Curvas isolux</b>				
<b>Refletância</b>	<b>Tamanho da Janela</b>	<b>Poço</b>	<b>Céu</b>	<b>Azimute</b>	<b>Hora</b>
0,90 difusa 0 especular	Pequena (0,5x0,4/1,7)m	Seção existente	1	0°	12h
0,45 difusa 0,45 especular	Grande (1,25x0,4/1,7)m	Seção invertida	10	90°	
0,3 difusa 0,6 especular		Ausente (Janela para o exterior)	14	180°	
				270°	
<b>Todos os andares</b> <b>P(0,5;0,25;0,9)</b>	<b>Iluminância mensal</b>				
0,90 difusa 0 especular	Pequena (0,5x0,4/1,7)m	Seção existente	10	0°	12h
	Grande (1,25x0,4/1,7)m		14		

Quadro 2 - Quadro Geral das Simulações.

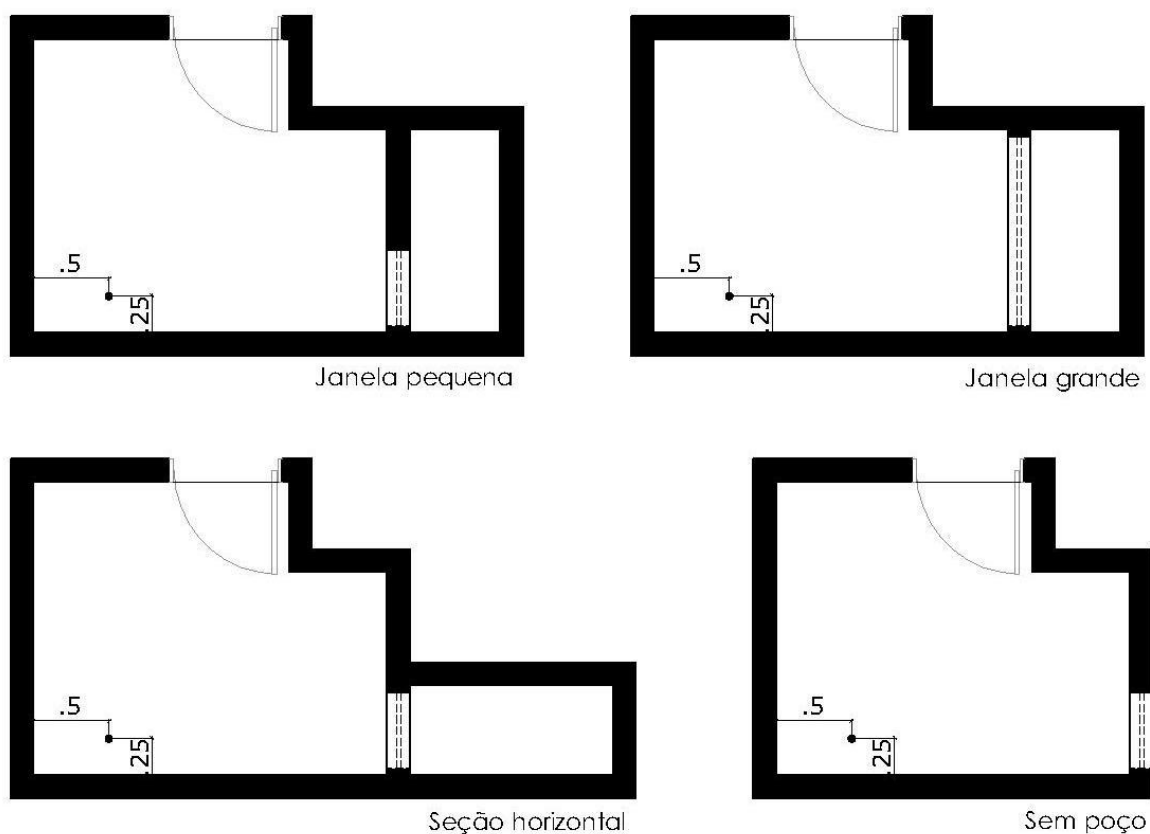


Figura 57 - Variações de planta em estudo com o ponto de medição.

Depois de processados, os dados foram obtidos no menu *Output* na opção *Illuminance*. Os valores foram exportados para a planilha do Excel com a finalidade de trabalhar visualmente e relacionar os valores em gráficos e tabelas para a melhor compreensão.

## **4 RESULTADOS E ANÁLISES**

Os dados foram processados no programa TropiLux 3.12 e posteriormente gerados gráficos da iluminância global x hora x meses, iluminância x azimute x meses, iluminância x céu x meses, contribuição céu x sol x meses, contribuição céu x sol. De acordo com a necessidade, cartas solares também foram utilizadas para a apresentação de dados mais precisos.

As curvas isolux também foram obtidas para o nono andar em quinze pontos, com a altura de 0,9m, azimute 0°, céu parcialmente nublado do tipo 10, para o dia 22 de janeiro ao meio-dia. Foi feita para a opção padrão da janela pequena, da janela grande, da seção horizontal e da janela pequena sem poço.

De acordo com a ABNT (1992) a iluminância mínima necessária para banheiros deve estar entre 100lx, 150lx e 200lx, dependendo do grau de acuidade visual dos usuários ou do tipo de atividade. Os valores correspondem às atividades de uso gerais do ambiente. Todos os resultados de iluminância global foram obtidos do ponto central da pia, de coordenadas (0,5m; 0,25m; 0,9m), ponto situado no plano de trabalho da bancada.

### **4.1 JANELA PEQUENA EXISTENTE**

#### **4.1.1 Iluminância por Azimute Mensal**

As simulações foram inicialmente realizadas com a janela pequena, do tamanho existente no edifício em estudo com as dimensões aplicadas para o nono andar. Foi adotado um padrão de refletância difusa igual a 0,9, com as simulações processadas no ponto (0.5, 0.25, 0.9). O céu parcialmente nublado do tipo 10 foi o escolhido para as análises da variação do azimute e orientação (figura 58), iluminância global mensal e o traçado das curvas isolux. Para uma melhor visualização dos dados, preferiu-se a demonstração dos dados em gráficos, podendo os resultados serem vistos numericamente em tabelas no Apêndice.

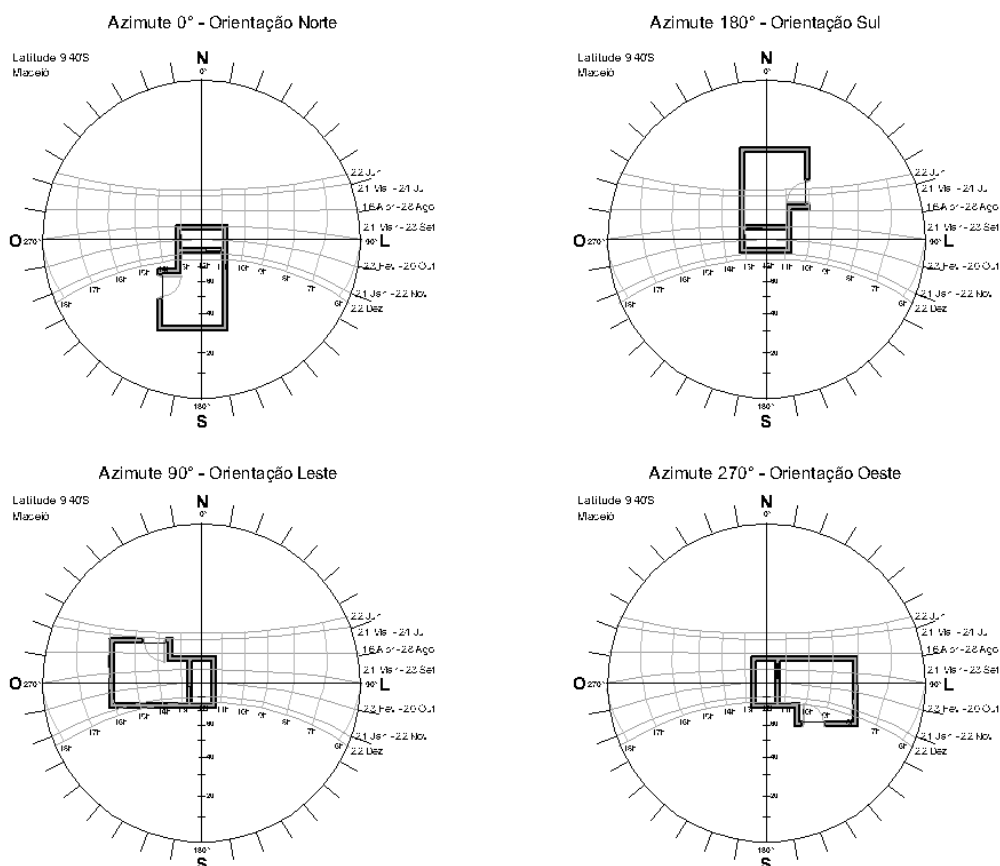


Figura 58 - Azimute e orientações na carta solar para a opção padrão.

A iluminância variou durante todas as épocas do ano de janeiro a dezembro para cada azimute (gráfico 14). A orientação Norte da janela equivalente ao azimute  $0^\circ$  obteve os maiores resultados para novembro, dezembro e janeiro. Com o azimute a  $90^\circ$ , a curva de queda das iluminâncias entre abril e agosto diminui, alcançando os valores mais altos em relação às outras orientações para os meses de abril, maio, junho, julho e agosto, coincidindo com os meses de menor altura solar, ao meio-dia. O ponto em estudo também influenciou a diferença, pois está localizado na pia mais próximo à parede adjacente à janela. Com o azimute  $180^\circ$ , o maior alcance em iluminância é dos meses de março e setembro, provavelmente por causa da grande altura solar a  $81^\circ$  e com influência da geometria do poço, pois os raios incidem na parede mais larga oposta à janela.



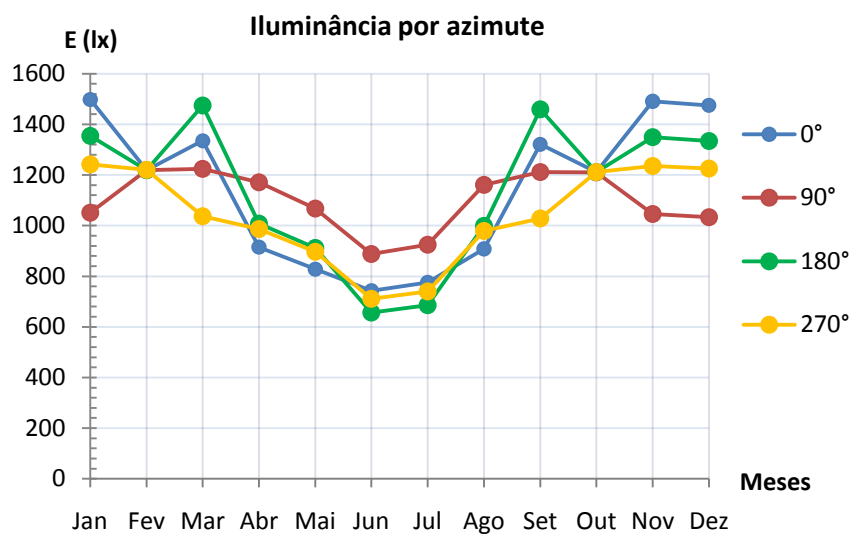


Gráfico 9 - Iluminância por azimute - janela existente.

Nos meses de fevereiro e outubro, as iluminâncias não variam para nenhum tipo de azimute. Correspondem ao sol próximo do zênite, como pode ser observado na carta solar. A perpendicularidade demonstra a clara relação geométrica da captação de luz zenital, assim, a direção do azimute nos meses em que acontece a máxima altura solar ao meio-dia não tem influência na iluminância no ponto em estudo (figura 59). O céu configura-se então como importante fonte de luz.

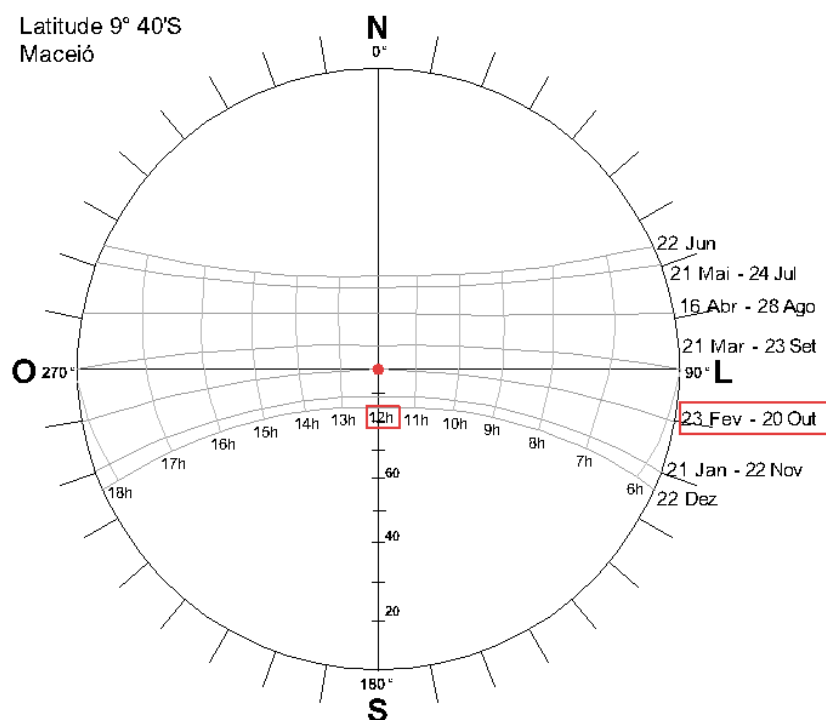


Figura 59 - Posição solar ao meio-dia, em fevereiro e outubro demarcados na Carta Solar de Maceió.

Nos meses de março e setembro, a iluminância sofre uma elevação quando os azimutes estão a 0° ou 180°, norte (N) e sul (S), respectivamente. Os valores das iluminâncias para a orientação sul são maiores que os do norte. Já os azimutes 90° e 270°, leste (L) e oeste (O), paralelos aos menores lados do poço, continuam a tendência da curva de iluminâncias em diminuir ao se afastarem do sol, com limite em junho. O leste alcança maiores valores que o oeste porque o ângulo encontra-se oblíquo ao plano da janela, enquanto que o oeste está praticamente perpendicular por causa de a janela situar-se no canto direito do poço. A geometria retangular do poço influencia na captação, pois o lado mais comprido pode receber mais radiação, de acordo com a orientação, e conseqüentemente transmitir mais luz para seu interior.

Alturas solares elevadas são desejadas para captação de luz no poço e uma conseqüente melhoria na iluminância do ambiente com a janela voltada para este. Entretanto, existirá certo ângulo de altura solar, que sofrerá influência da lei do cosseno (figura 60), ou seja, uma mesma parcela de radiação para uma área maior significa redução da sua intensidade, mas também um aumento da sua distribuição.

#### LEI DO COSSENO / INTENSIDADE SOLAR

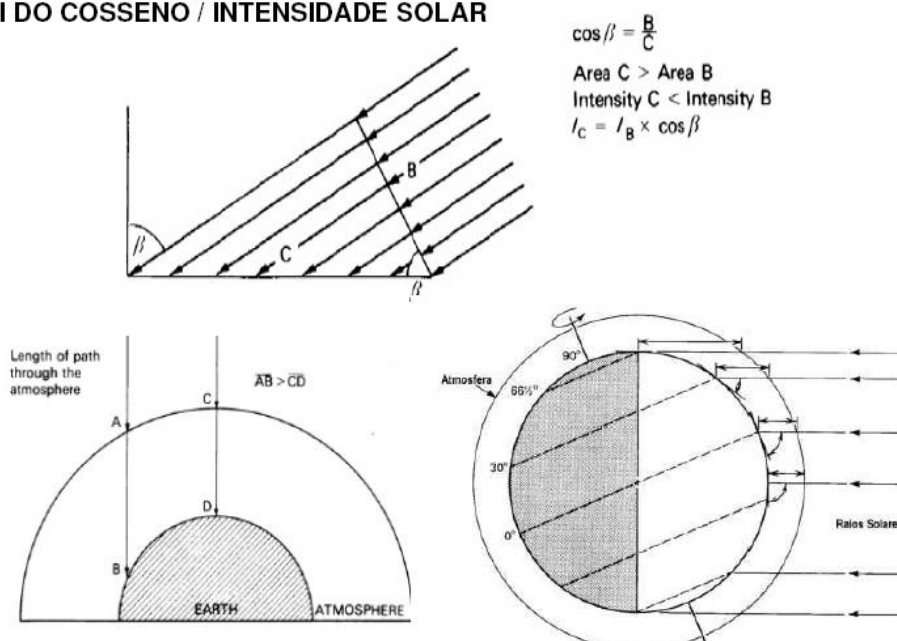


Figura 60 - Lei do cosseno. Fonte: KOENIGSBERGER et al (1977).

#### 4.1.2 Iluminância Global Mensal

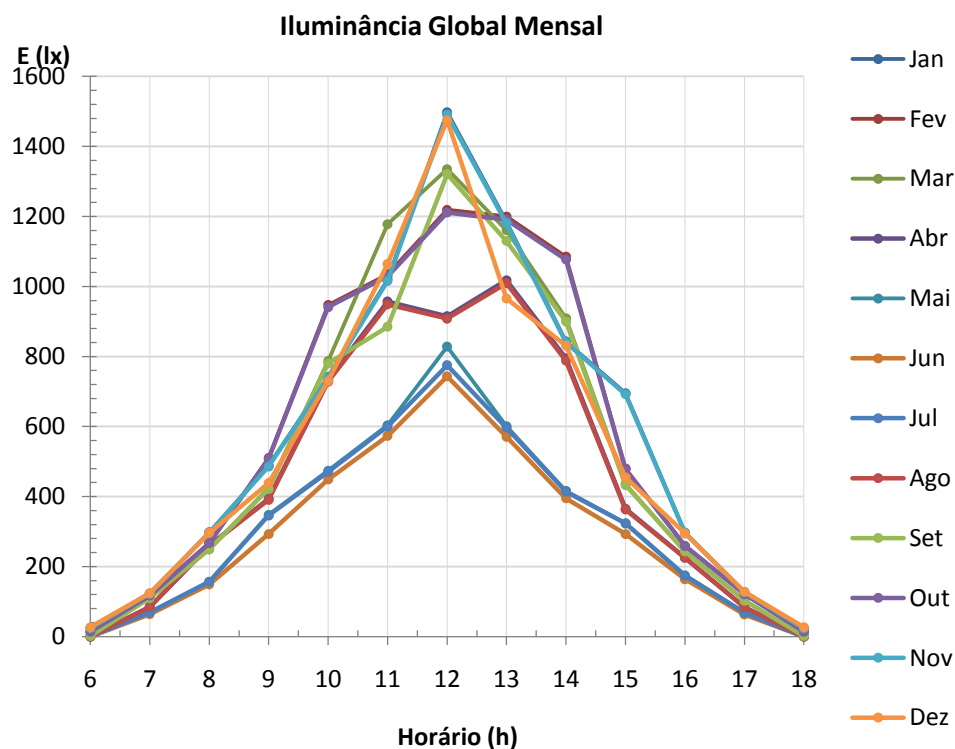


Gráfico 10 - Iluminância global mensal - janela existente.

O gráfico 15 relaciona a iluminância ( $E$ ) em lux, com os horários do dia para todos os meses do ano. A tendência da iluminância é aumentar quando o sol se aproxima do meio dia, pois o sol encontra-se próximo ao zênite. Percebe-se, então, a clara influência da altura solar na luminância do céu. Os meses que possuem a curva menos acentuada: maio, junho e julho possuem maior percentual de umidade relativa, maior precipitação, maior nebulosidade e conseqüentemente menor insolação.

Pode-se concluir que a iluminância ao meio-dia, na maioria dos meses ainda é o horário de maior valor, decrescendo um pouco apenas nos meses de abril e agosto. Como a captação de luz do poço é zenital, maiores alturas solares garantem uma maior penetração da luz dentro do poço (figura 61). Os resultados também mostraram maiores valores entre as 10h da manhã e as 14h.

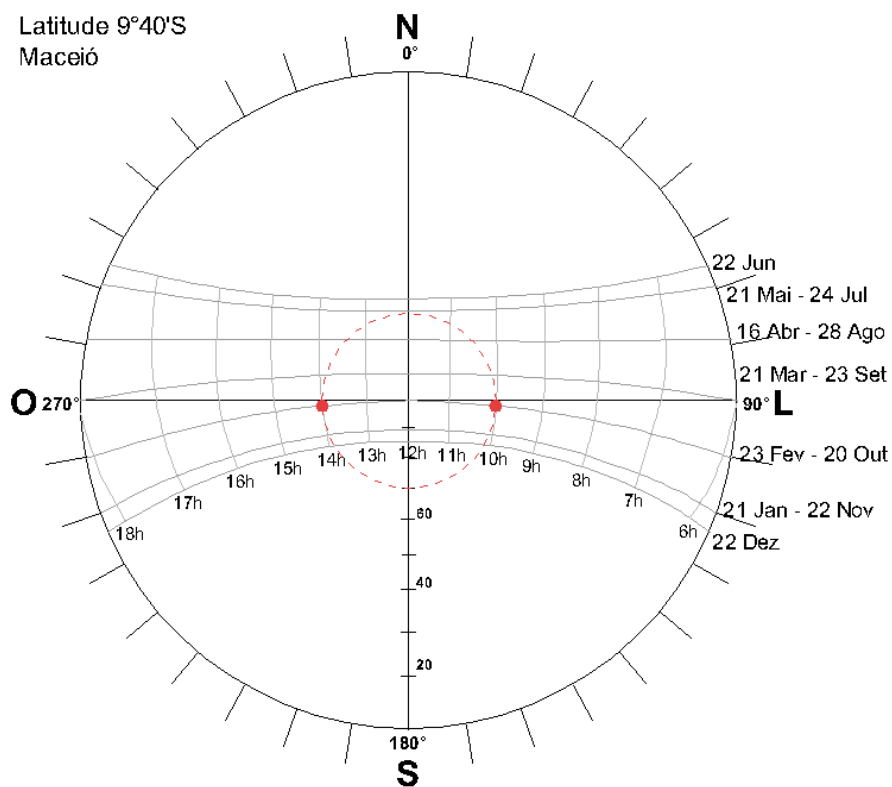


Figura 61 - Horário de maior influência na iluminação proporcionada pelo poço.

#### 4.1.3 Iluminância por tipo de céu

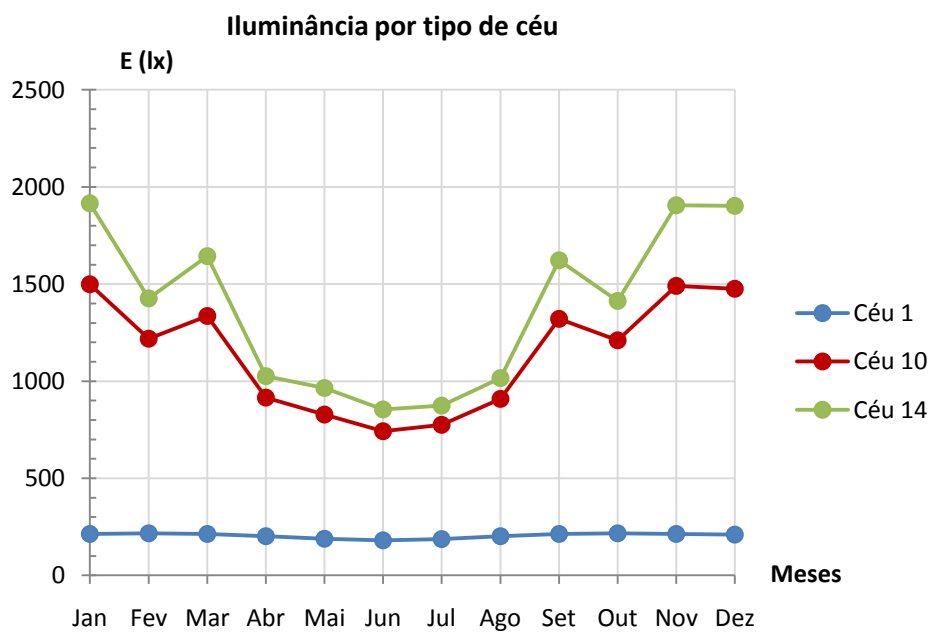


Gráfico 11 - Iluminância por tipo de céu - Mensal - janela existente.

No gráfico 16 fica claramente exposta a relação entre a iluminância e o tipo de céu. Quanto maior a nebulosidade, menor a iluminância. A uniformidade de nuvens para o céu encoberto do tipo 1, garante iluminâncias muito próximas durante todo o ano, com uma amplitude baixa de 35lx. Porém, houve uma pequena redução do céu claro tipo 14 para o céu 10, parcialmente nublado, mantendo o mesmo tipo de curva.

Nos meses de fevereiro e outubro a iluminância cai por causa da altura solar estar exatamente a 90°, perpendicular ao chão, reduzindo as reflexões da luz nas paredes. Assim, os meses e as horas de maior influência na iluminância proporcionada pelo poço podem ser demarcados na carta solar (figura 62).

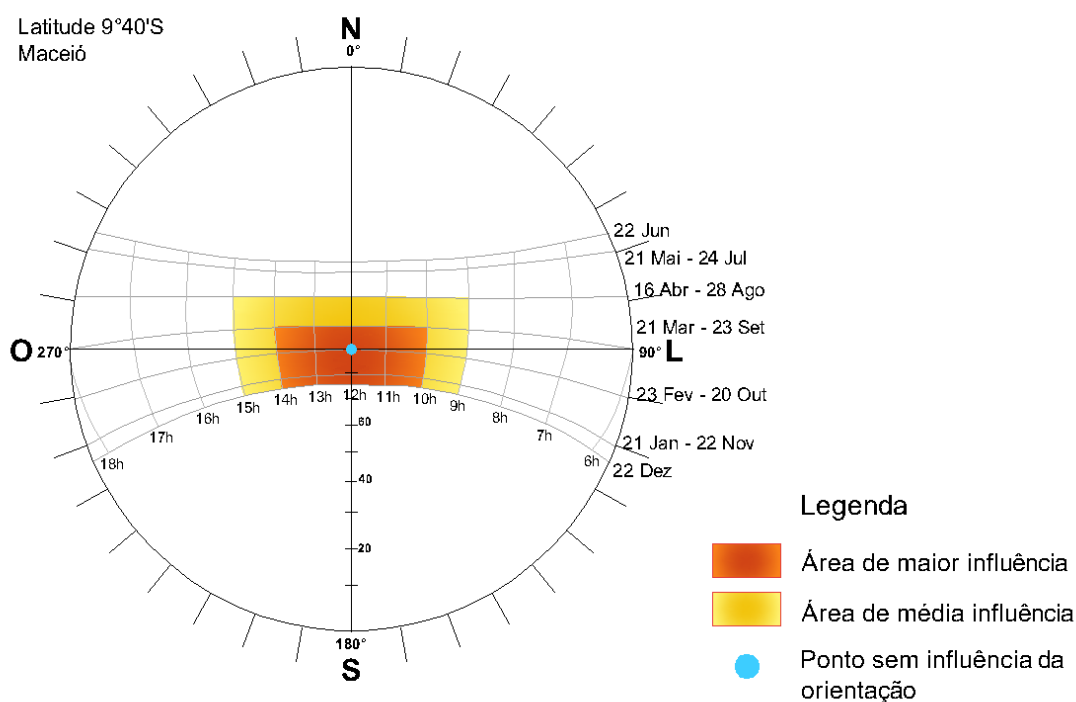


Figura 62 - Área de maior interferência nos resultados.

#### 4.1.4 Contribuição Céu x Sol

Também foi avaliada a contribuição do sol e a do céu para Maceió. O céu encoberto do tipo 1, possui evidentemente 100% de contribuição de luz do céu, sendo desnecessária a apresentação gráfica. Entretanto, foram gerados gráficos do tipo pizza para representar em porcentagem a contribuição das duas fontes de luz que influenciam o poço (gráficos 17 e 18).

**Contribuição Céu x Sol - Céu 10**

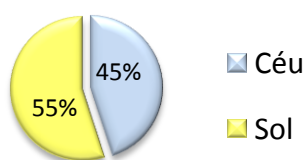


Gráfico 12 - Contribuição Céu x Sol - Céu 10 - janela existente.

**Contribuição Céu x Sol - Céu 14**

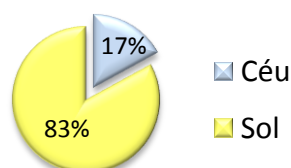


Gráfico 13 - Contribuição Céu x Sol - Céu 14 - janela existente.

Para o céu claro do tipo 14, a contribuição do sol é muito maior chegando a 83% do total da iluminação. Já no céu parcialmente nublado do tipo 10, o céu representa quase metade da contribuição com 45% do total, um percentual bastante significativo. O resultado compreende a média para as horas de 6 as 18 no dia 22 de janeiro.

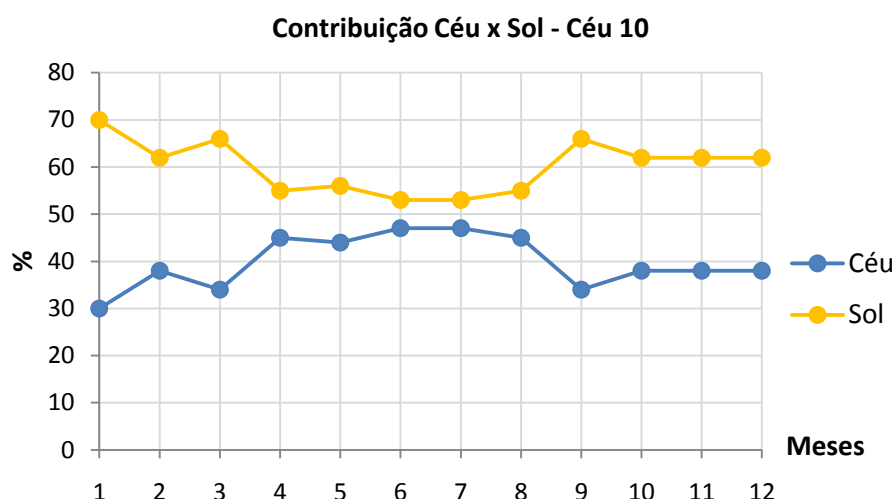


Gráfico 14 - Contribuição Céu x Sol Mensal - Céu 10 - janela existente.

As contribuições do céu e do sol, em percentual, foram relacionadas num gráfico para todos os meses do ano ao meio-dia (gráfico 19), e com o céu parcialmente nublado do tipo 10. Existe uma clara redução da parcela do sol entre os meses de abril e agosto, confirmando a influência dos fatores climáticos da nebulosidade, da umidade relativa e da precipitação. Da mesma forma, o sol a pino em fevereiro e outubro decresce a influência de sua parcela. A contribuição maior do sol em março e setembro confirma a influência da altura solar próxima, porém não

igual ao zênite e também a posição frente à janela, no quadrante norte da carta solar.

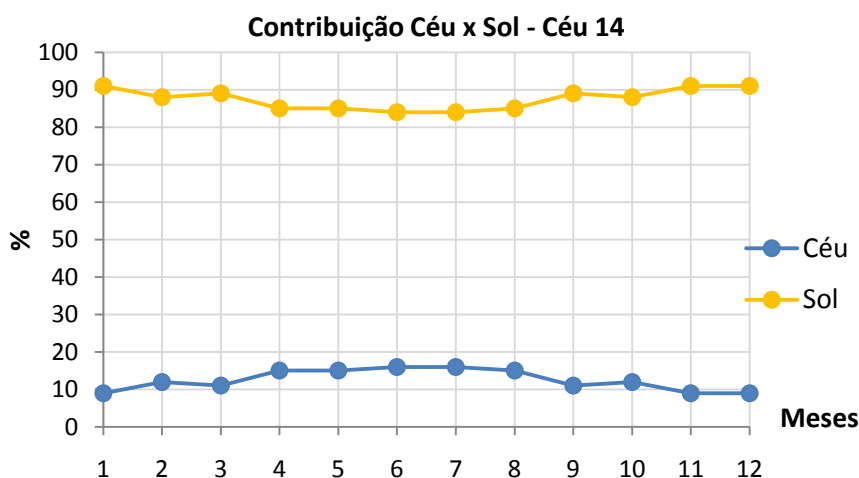


Gráfico 15 - Contribuição Céu x Sol Mensal - Céu 14 - janela existente.

Analisando o gráfico da contribuição do céu em todos os meses do ano para o tipo de céu claro 14 (gráfico 20), a contribuição do sol é evidentemente maior. Também existe uma redução, porém pequena, da participação do sol nos meses de sol a pino: fevereiro e outubro, ao meio-dia.

#### 4.1.5 Mapa de curvas isolux

Para o nono andar também foi simulada a iluminância para 15 pontos, formando uma malha, com o objetivo de traçar linhas de mesma iluminância, as curvas isolux. Esse tipo de representação facilita a compreensão da distribuição da luz no plano de trabalho, possibilitando um melhor estudo do efeito do tipo de abertura e a localização em relação à geometria do ambiente.

Como a janela é alta, as curvas de maior iluminância afastam-se um pouco da parede, por causa do sombreamento do peitoril (figura 63). As cores mais quentes representam as áreas de maior iluminância. A cor amarela distribuída até perto da porta indica uma grande influência da reflexão na parede do poço ao lado da janela em direcionar a luz com maior profundidade.

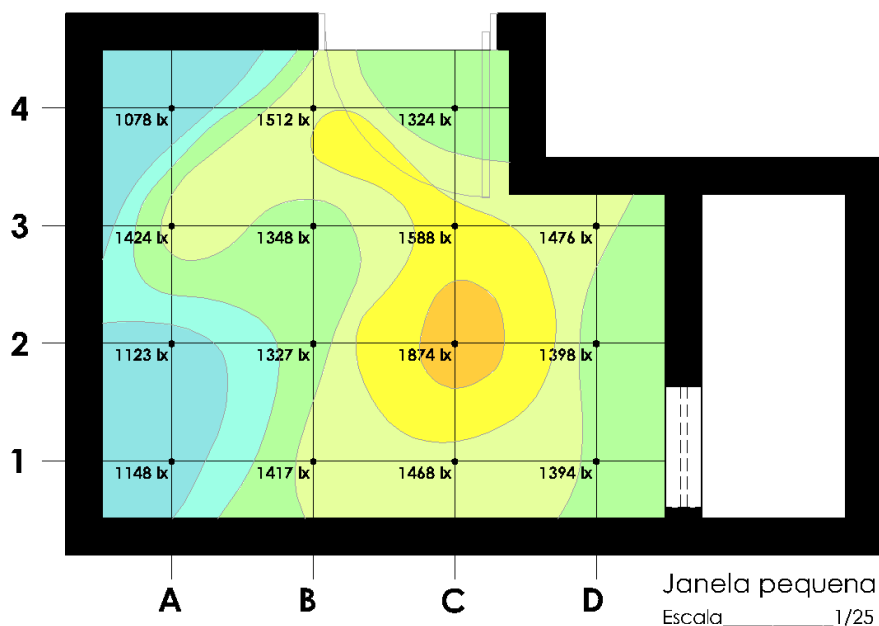


Figura 63 - Mapa de curvas isolux para janela pequena padrão.

## 4.2 JANELA GRANDE

### 4.2.1 Iluminância por azimuth mensal

Foram realizadas simulações, mantendo todas as características iniciais da janela pequena existente, para verificar quais resultados seriam diferenciados. Aumentou-se apenas a largura da janela de 0,50m para 1,25m, com recuos de 0,05m para cada lado, centralizando-a na parede mais larga do poço.

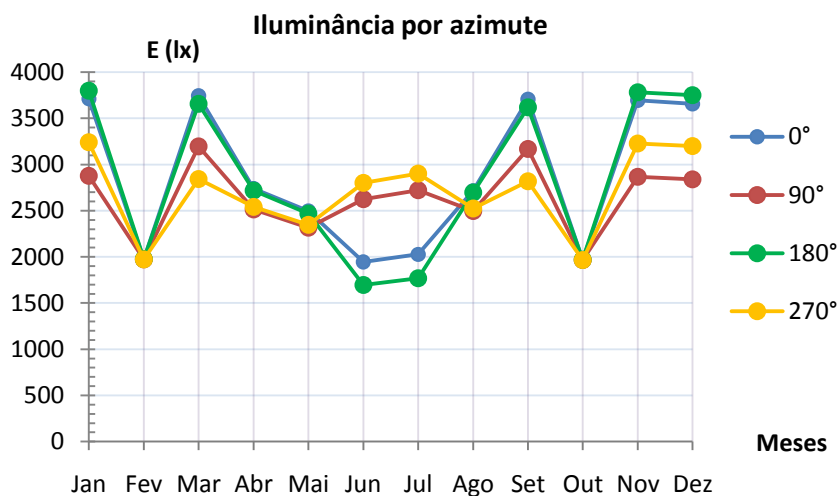


Gráfico 16 - Iluminância por azimuth - janela grande.



A iluminância variou com o azimute pelos mesmos motivos do exemplo anterior (gráfico 21). Em fevereiro e outubro, com o sol a pino e altura solar a  $90^\circ$  ao meio-dia, a iluminância, além de cair pela metade, mantém o mesmo resultado independentemente da orientação. Caso a simulação tivesse sido realizada entre 10h e 14h, excluindo-se as 12h em ponto, provavelmente a iluminância também estaria entre os maiores valores.

Em março e setembro a altura solar é próxima a  $90^\circ$ , ao meio-dia, no quadrante norte, representando, porém, altos valores. Juntamente com os meses de novembro, dezembro e janeiro, pertencem à região de maior influência na insolação conforme determinado na carta solar anteriormente. Para a orientação leste, em março e setembro foram os únicos meses em que a iluminância superou a orientação oeste. Em novembro, dezembro e janeiro a orientação sul da janela favorece o azimute  $180^\circ$  e o  $270^\circ$ .

Em junho e julho, percebe-se a influência da geometria do poço e do clima na diferenciação dos resultados, uma vez que os valores caem à medida que o ângulo de altura solar decresce. Para os azimutes de  $270^\circ$  e  $90^\circ$ , correspondendo ao oeste e ao leste respectivamente, a trajetória do sol encontra-se paralela ao plano da janela, e a curva de iluminância sobe, trazendo maiores valores para o oeste. A simetria dos resultados com o centro em junho, não ocorreu com os meses de maio e julho. Em julho a iluminância é maior que em maio, mesmo com o sol localizado no mesmo ponto a  $60^\circ$  de altura solar ao meio-dia, sugerindo uma melhor transmissão da luz para dentro do poço pela luminância distribuída no céu do mês de maior nebulosidade: julho. Nos azimutes  $0^\circ$  e  $180^\circ$ , de orientação norte e sul, a curva de iluminância cai com menores valores para a orientação sul, com influência da distância solar.

## 4.2.2 Iluminância global mensal

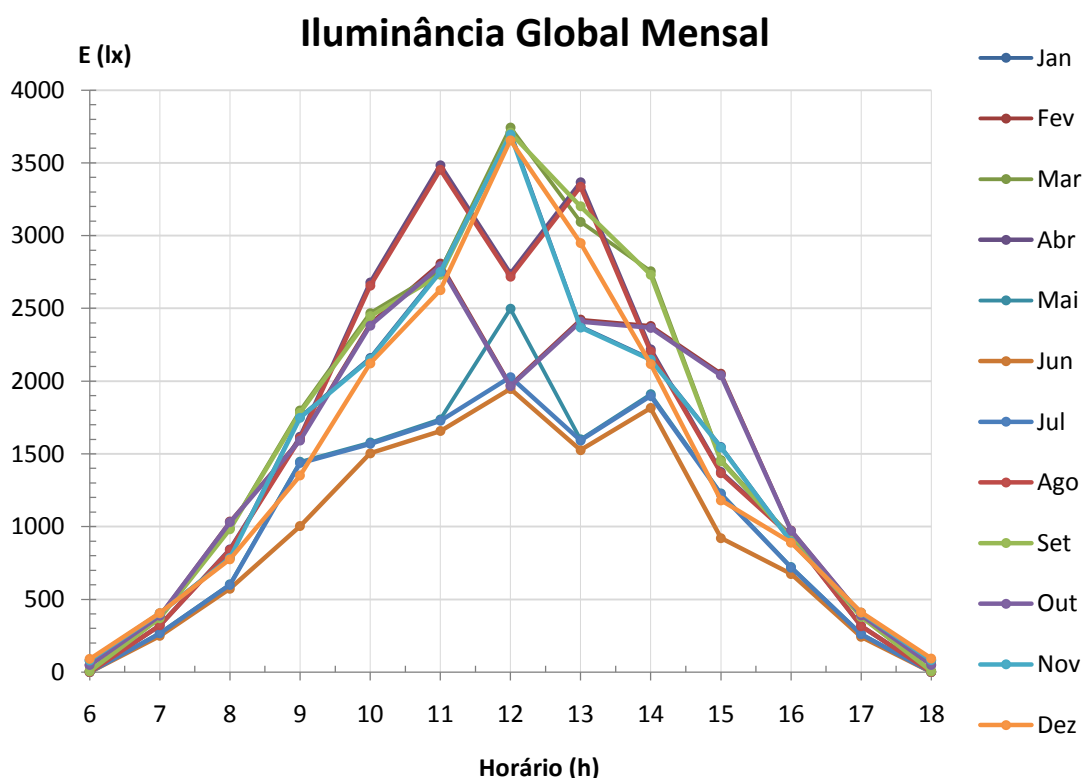


Gráfico 17 - Iluminância global mensal - janela grande.

Através do gráfico da iluminância global por hora em todos os meses do ano gráfico 22, pode-se perceber a influência do horário para a captação zenital, ou seja, para um dado ponto pode ser obtida o intervalo de alturas solares eficientes para a iluminação. O poço pode complementar a iluminação no interior, justamente nos horários em que uma iluminação zenital direta traria maior incremento térmico, indesejável ao trópico úmido.

Como a janela é mais aberta e centralizada num lado do poço, houve um alargamento da curva de iluminâncias para o azimute  $0^\circ$ . As iluminâncias seriam praticamente simétricas por horário, com eixo ao meio-dia, se o ponto de estudo fosse centralizado numa geometria retangular. Os horários e os meses simétricos pela carta solar sugerem uma iluminância regular, porém, existem outras influências na iluminância além da insolação e sua geometria.

Os meses de abril e agosto, de mesma trajetória solar, decrescem a iluminância ao meio-dia, como também os meses de outubro e fevereiro, que representam o sol a pino.

### 4.2.3 Iluminância por tipo de céu

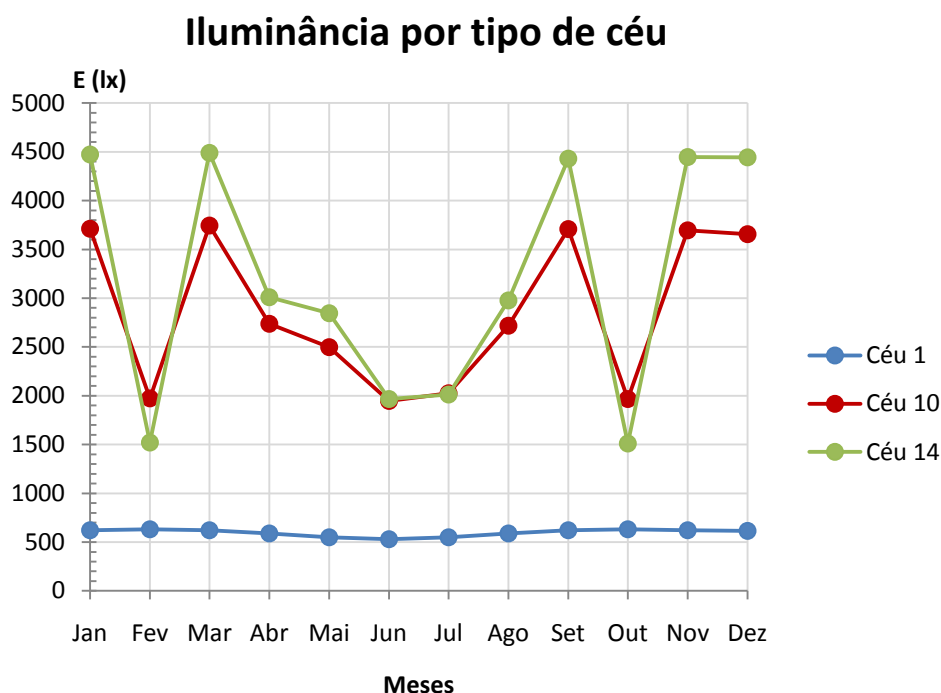


Gráfico 18 - Iluminância por tipo de céu - mensal - janela grande.

A maior nebulosidade tende a uniformizar a iluminância ao longo do ano ao uniformizar as luminâncias do céu, ou seja, quanto mais limpo o céu, maiores as amplitudes entre as iluminâncias. Em fevereiro e outubro, verifica-se ainda a queda da iluminância pela queda de reflexões dentro do poço (gráfico 23). O mês de maio é bem diferente de julho provavelmente pelo maior valor da insolação.

### 4.2.4 Contribuição céu x sol

A contribuição média diária para o dia 22 de janeiro no azimute  $0^\circ$  chega a 54% da parcela do céu, caso esteja parcialmente nublado. Já quando o céu é claro, a contribuição do sol supera com 78% (gráficos 24 e 25). Tais valores configuram o céu como importante fonte de luz na cidade de Maceió.

**Contribuição Céu x Sol - Céu  
10**

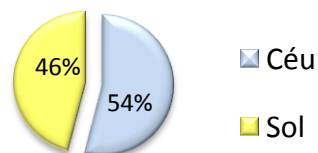


Gráfico 19 - Contribuição Céu x Sol - Céu 10 - janela grande.

**Contribuição Céu x Sol - Céu  
14**

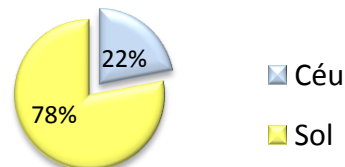


Gráfico 20 - Contribuição Céu x Sol - Céu 14 - janela grande.

No gráfico 26 com os resultados em percentual para o dia 22 de cada mês do ano, céu tipo 10, a contribuição do céu é maior nos meses de fevereiro e outubro, meses de sol a pino, e junho e julho, meses de alta precipitação, umidade e nebulosidade e menor insolação. Já com o céu claro tipo 14 (gráfico 27), a contribuição do sol é muito maior, mesmo havendo elevação dos percentuais para o céu nos meses de fevereiro, outubro, junho e julho.

**Contribuição Céu x Sol - Céu 10**

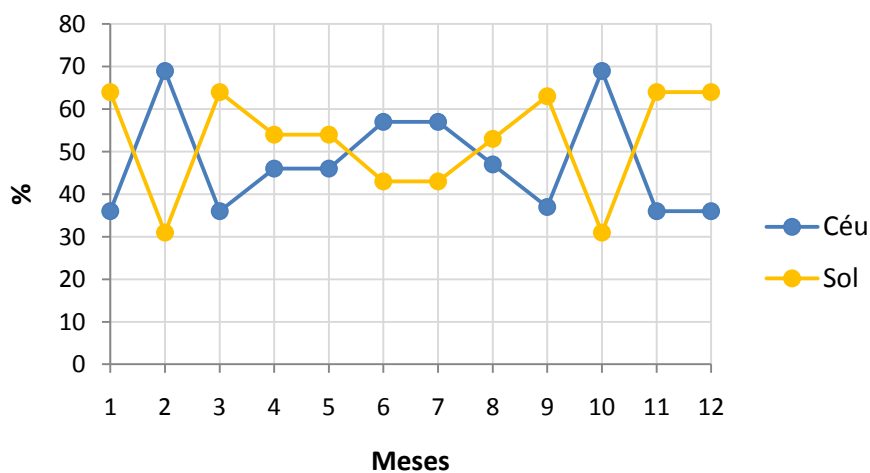


Gráfico 21 - Contribuição Céu x Sol – Mensal - Céu 10 - Janela grande.

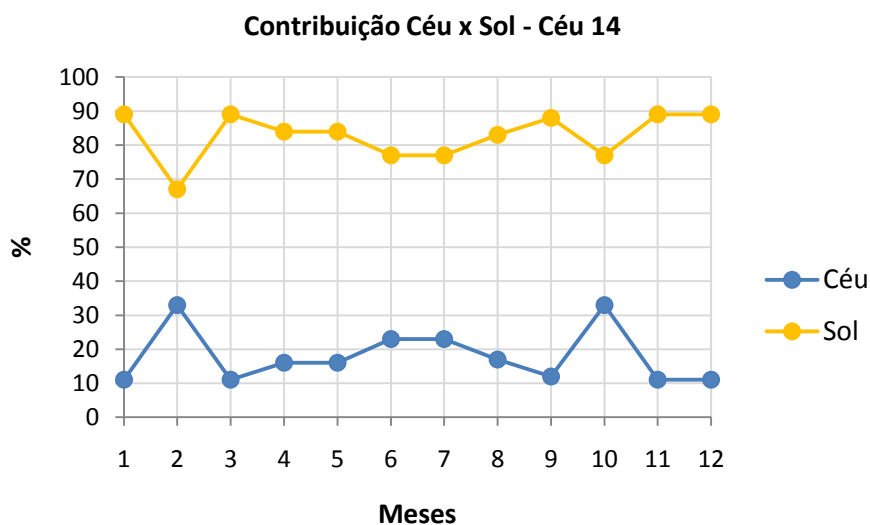


Gráfico 22 - Contribuição Céu x Sol – Mensal - Céu 14 - Janela grande.

#### 4.2.5 Mapa de curvas isolux

As curvas isolux apresentam uma disposição mais afastada da janela com maiores valores das iluminâncias a 0,8m de distância, reduzindo gradualmente até os fundos do ambiente (figura 64). Distribui-se mais regular do que com a janela pequena e também sofre influência do recuo da parede em escurecer o lado da porta. Possui a curva de maior iluminância quase centralizada com a janela.

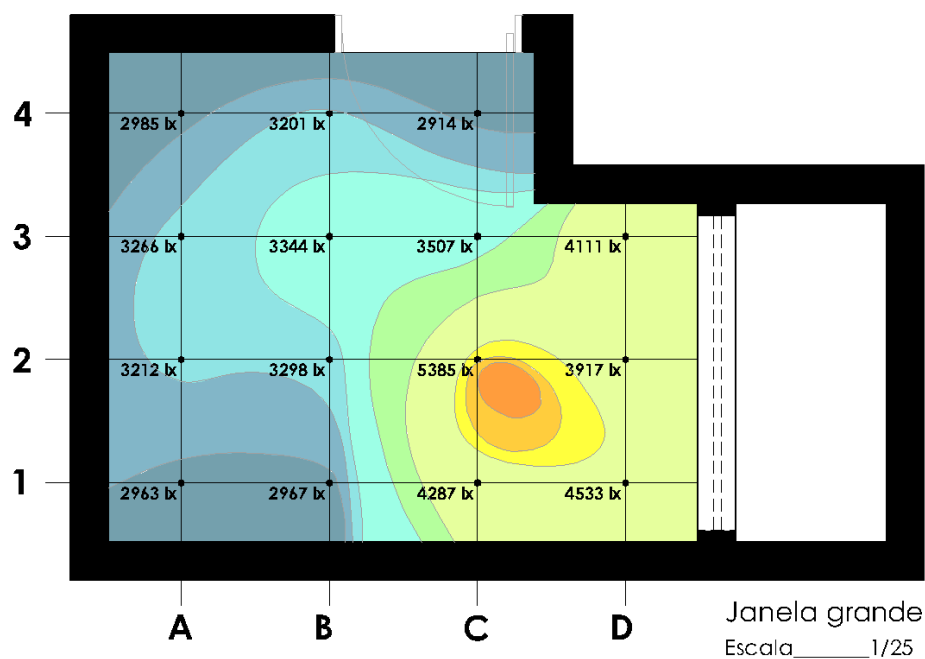


Figura 64 - Mapa de curvas isolux - janela grande.

## 4.3 JANELA PEQUENA – SEÇÃO INVERTIDA DO POÇO

### 4.3.1 Iluminância por azimute mensal

As simulações foram realizadas para o nono andar, com a janela pequena, tamanho existente, alterando-se a seção do poço. Os planos foram configurados com refletância difusa igual a 0,9, e os valores das iluminâncias processados para o dia 22 de cada mês, às 12h, com o céu tipo 10. No gráfico 28, que relaciona o valor da iluminância com os meses pode ser percebida uma grande diferenciação da opção original.

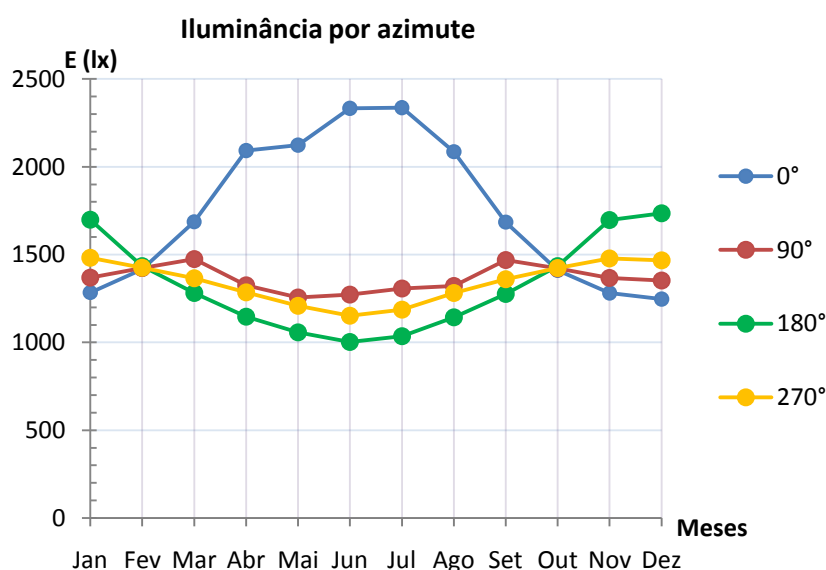


Gráfico 23 - Iluminância por azimute mensal – seção invertida do poço.

Os valores aumentaram, e ainda sofrem influência da orientação, porém, no azimute 0°, que corresponde à orientação norte, a curva de iluminância sobe, diferente das demais orientações (figura 65). De março a setembro, como a orientação norte está voltada para a insolação nesses meses, de acordo com a carta solar, o posicionamento do sol no horário escolhido combinado com uma maior penetração no poço por causa da nova geometria longitudinal, proporcionou o aumento da quantidade de luz. Os meses de fevereiro e outubro continuam sem influência da orientação. O mês de maio ainda pode ter influência devido à maior nebulosidade.

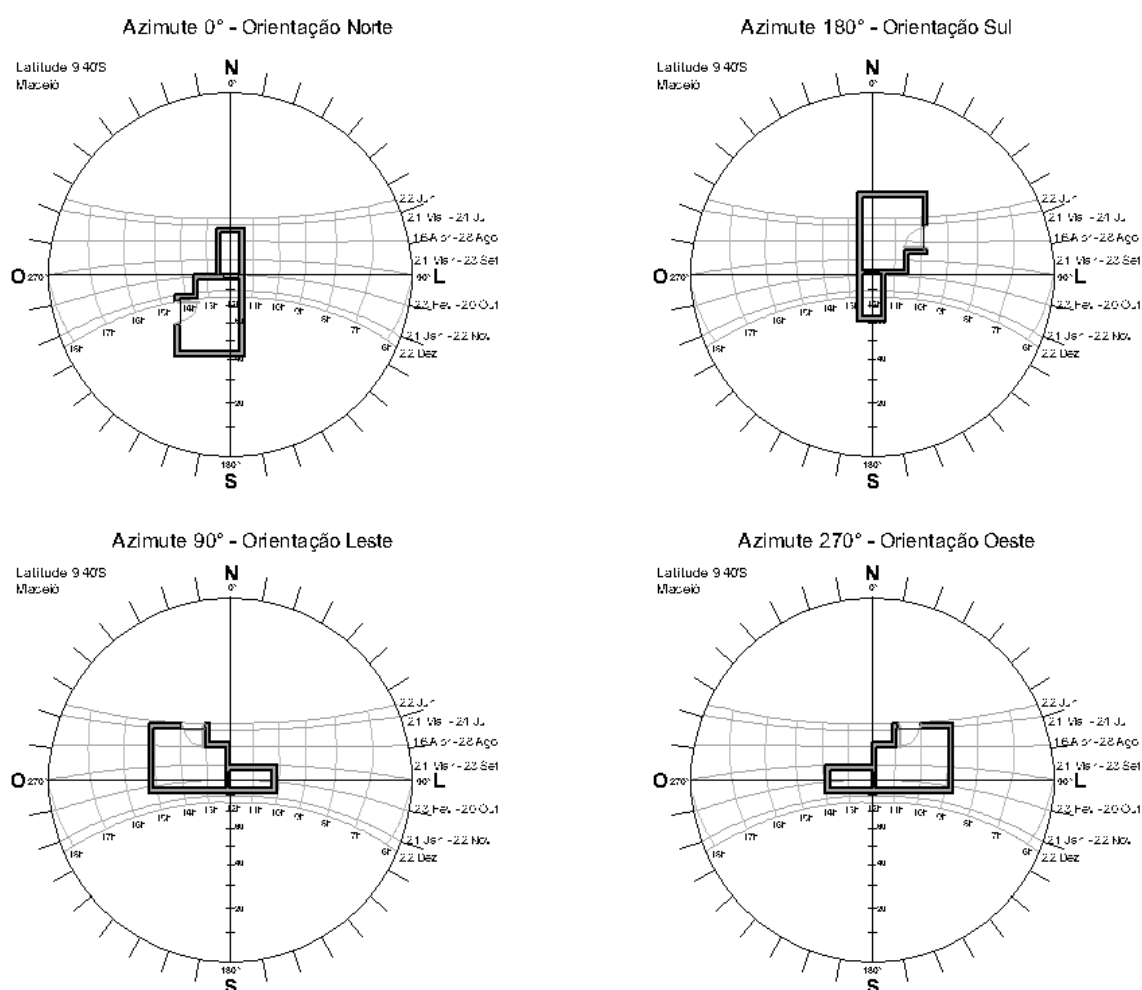


Figura 65 - Orientações analisadas para o poço de seção invertida

O mês de junho é quando acontece o solstício de inverno e delimita a trajetória solar, que se altera a cada seis meses. Por esse motivo há quase uma simetria de valores com eixo no mês de junho. Para os meses de novembro, dezembro e janeiro, localizados no quadrante sul da carta solar, o azimute 180° possui os maiores valores, enquanto que o azimute 0° representa os menores.

Para a orientação leste, azimute a 90°, os valores aumentam em fevereiro, março, setembro e outubro. Na orientação Oeste os valores são mais baixos que na leste para os meses entre fevereiro e outubro e maiores para os demais. A geometria trouxe maior uniformidade aos valores porque o Sol alcança melhor o ponto de medição, penetrando mais profundamente no ambiente.

### 4.3.2 Iluminância global mensal

Os meses localizados exatamente no quadrante sul da carta solar, contribuem com a luz indireta, representando curvas perfeitas no gráfico 29, são eles: dezembro, janeiro e novembro sobrepostos, outubro e fevereiro também coincidentes. Os meses de maio, junho e julho encontram-se sobrepostos também, com apenas duas elevações em junho para as 9h e 15h e queda em maio para o meio-dia. Em março e setembro coincidentes, há uma queda às 11h para março e outra pequena às 13h. Todas as diferenciações possuem relação direta com a geometria e a trajetória solar, sofrendo também pequenas alterações por conta dos dados climáticos.

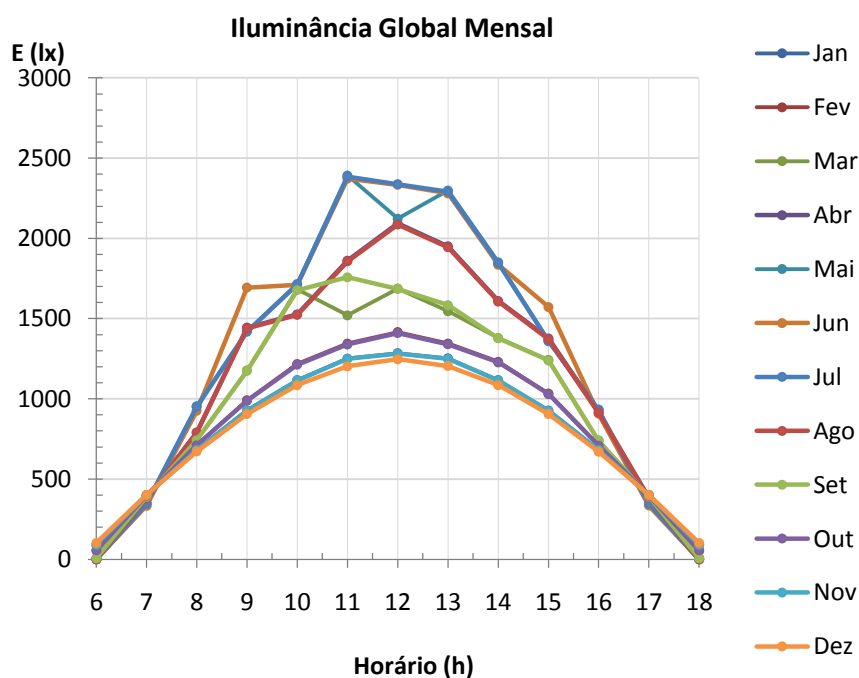


Gráfico 24 - Iluminância Global Mensal - Seção invertida do poço.

### 4.3.3 Iluminância por tipo de céu

Com uma refletância de 0,9, azimute 0°, ao meio-dia, obteve-se o gráfico 30 que demonstra uma clara superação de todos os valores de iluminância para o céu parcialmente nublado do tipo 10, o céu claro traz maiores amplitudes e o céu encoberto traz valores baixos combinados com uma grande uniformidade. Pode ser percebida uma diferença significativa para o mês de maio.

Interessante como a iluminância aumenta nos meses mais frios, e os menores valores são obtidos no mês de dezembro.



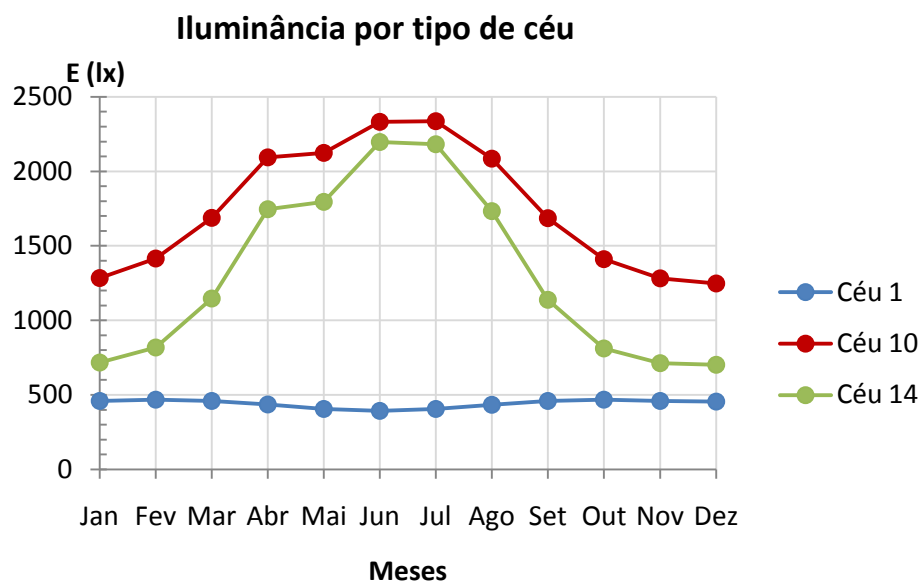


Gráfico 25 - Iluminância por tipo de céu mensal - Seção invertida do poço.

#### 4.3.4 Contribuição Céu x Sol

Abaixo, encontram-se as contribuições para o céu do tipo 10 e 14 (gráficos 31 e 32), realizada para todas as horas do dia 22 de janeiro. O céu representa a maior parcela nos dois casos, com 64% para o céu claro e 88% no céu parcialmente nublado.

**Contribuição Céu x Sol - Céu 10**

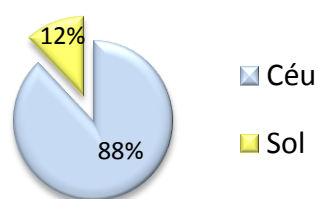


Gráfico 26 - Contribuição céu x sol - tipo 10 - seção invertida do poço.

**Contribuição Céu x Sol - Céu 14**

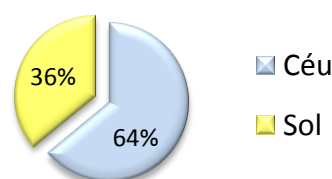


Gráfico 27 - Contribuição céu x sol - tipo 14 - seção invertida do poço.

A contribuição durante todo ano para as 12h, azimute 0° está dividida em dois gráficos, um para o céu 10 e outro para o tipo 14. Há uma diferença do percentual anterior por se tratar de valores ao longo do ano, no mesmo horário, enquanto que os dois gráficos anteriores representam a média de todas as horas do dia.

Para o céu parcialmente nublado, a parcela de contribuição do sol é a menor durante todo o ano (gráfico 33), aumentando um pouco o percentual nos meses de

março a setembro. O mês de maio sofre uma pequena queda de acordo com os meses próximos. O céu claro possui a maior parcela da iluminância relativa ao sol de março a setembro (gráfico 34).

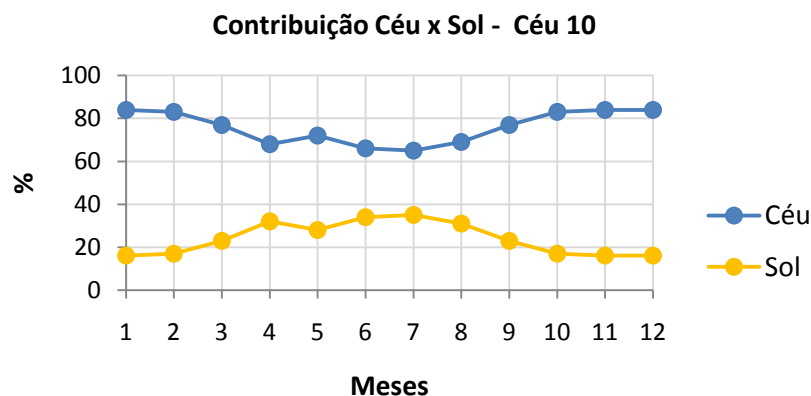


Gráfico 28 - Contribuição céu x sol mensal - Céu 10 - Seção invertida do poço.

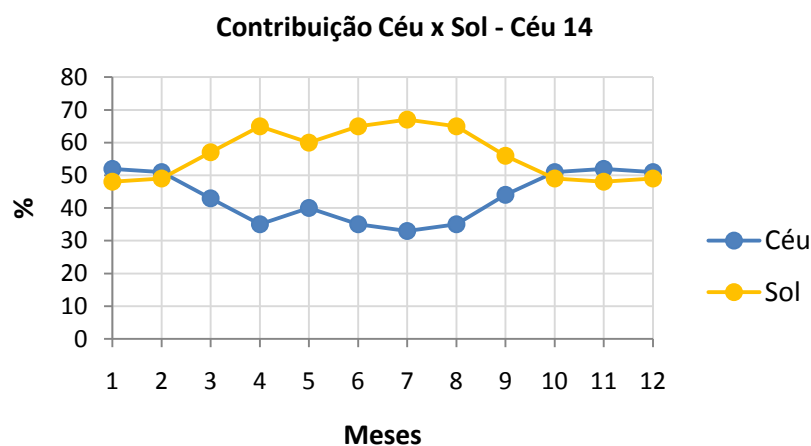


Gráfico 29 - Contribuição céu x sol mensal - Céu 14 - Seção invertida do poço.

#### 4.3.5 Mapa de curvas isolux

As curvas isolux apresentam maior penetração da luz em relação ao ambiente padrão. O poço de luz de mesmas dimensões, mas com seção horizontal, trouxe uma diferente distribuição da luz no banheiro. A curva de máxima iluminância está colada na parede adjacente e a distância entre as curvas isolux aumenta, representando um ambiente mais uniforme (figura 66).

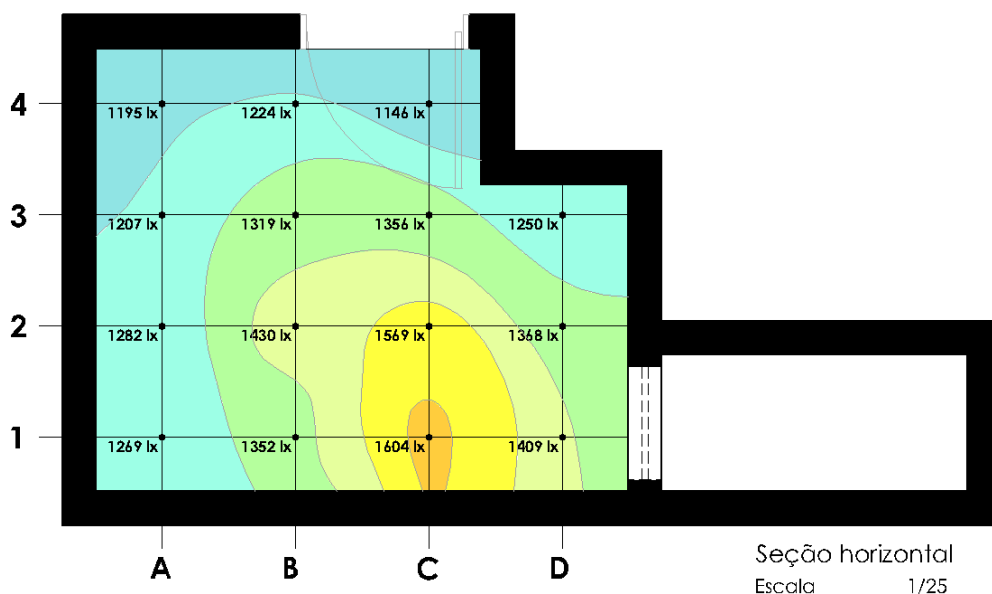


Figura 66 - Mapa de curvas isolux para o poço de seção horizontal.

## 4.4 JANELA PEQUENA SEM POÇO

### 4.4.1 Iluminância por azimuth mensal

As simulações também foram realizadas para o ambiente padrão, considerando a geometria sem o poço, como se a janela não tivesse nenhum tipo de obstrução. O gráfico 35 da iluminância pelo azimuth assemelha-se bastante ao resultado da opção com o poço de seção horizontal.

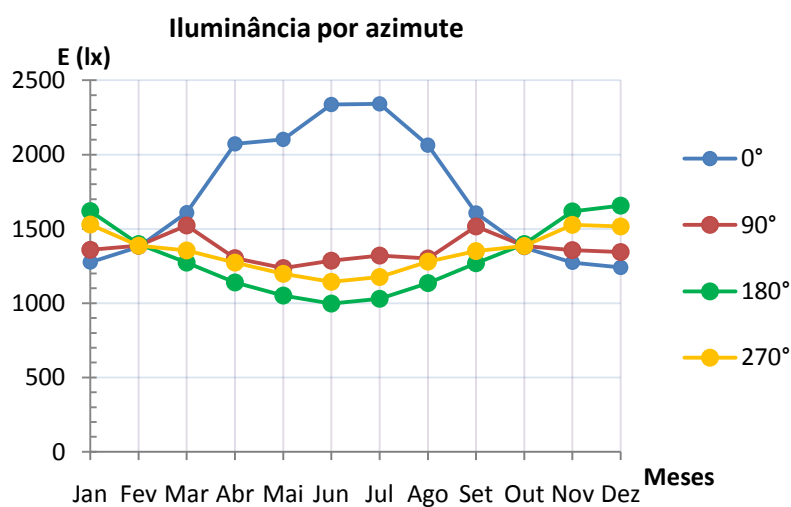


Gráfico 30 - iluminância por azimuth mensal - sem poço.

O horário escolhido para o estudo interferiu nos resultados, porque ao meio-dia, como confirmado nos outros resultados, a variável de maior influência é a altura solar. O comprimento em frente à janela de 1,35m, com um ângulo de penetração de  $40^\circ$  até a janela, ou seja, maior do que a mínima altura solar atingida ao meio-dia no solstício de verão, de  $34^\circ$  (figura 67). Portanto, as obstruções laterais próximas não tiveram muita influência na diferenciação dos resultados (figura 68). Provavelmente em outro horário os valores seriam diferentes.

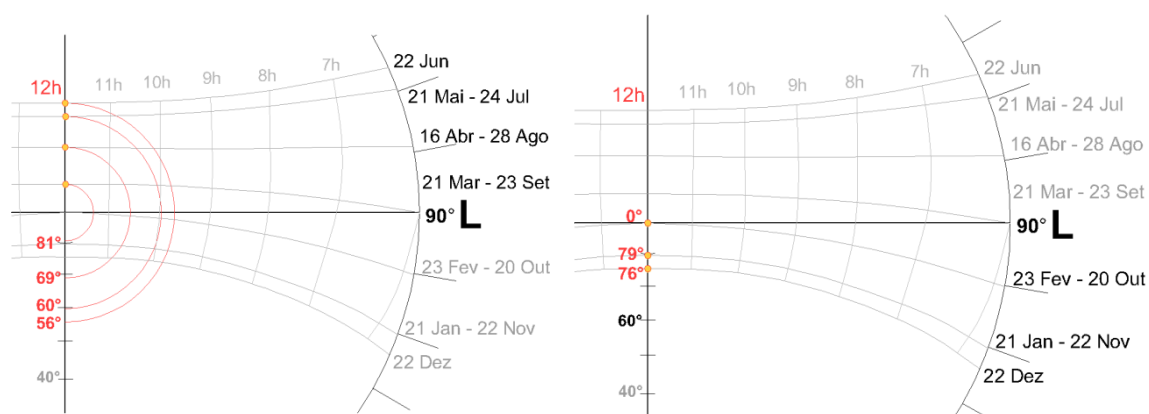


Figura 67 - Alturas solares mensais ao meio-dia para Maceió - latitude  $9^\circ 40''$ .

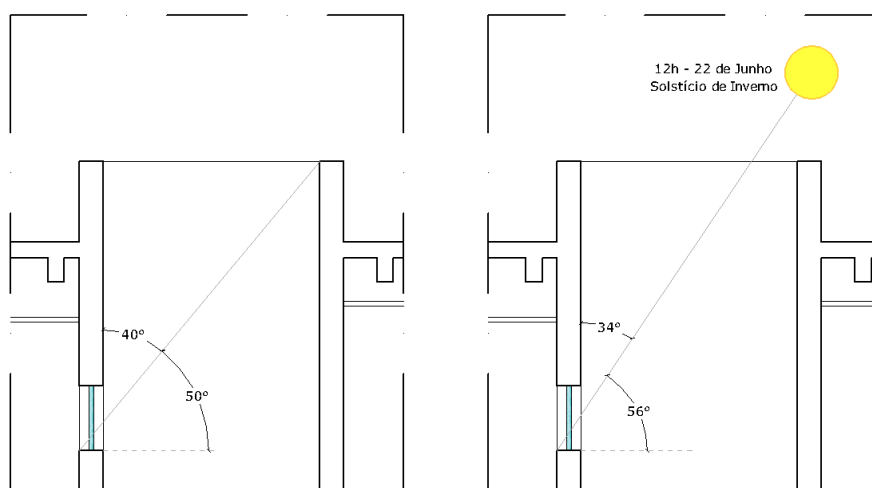


Figura 68 – Corte do poço de luz com os ângulos de obstrução e altura solar no solstício de inverno, orientação norte.

#### 4.4.2 Iluminância global mensal

O gráfico 36 também carrega bastante semelhança com o do poço invertido. Os valores sofreram um decréscimo nas iluminâncias em geral, em especial às 10h

enquanto que para a opção sem poço aumentou mais ainda às 11h (gráfico 36). Pode ser notada a contribuição da componente difusa, decorrente das paredes do poço.

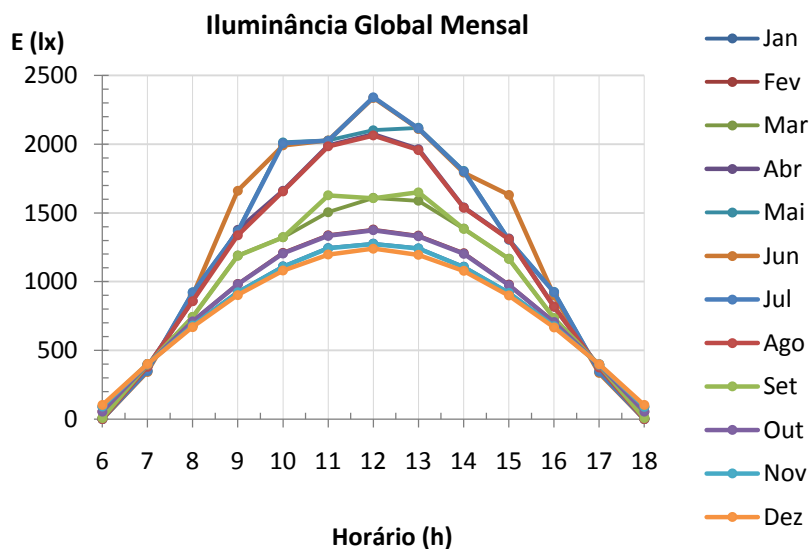


Gráfico 31 - Iluminância Global Mensal – sem poço.

#### 4.4.3 Iluminância por tipo de céu

O céu parcialmente nublado traz maior iluminância durante todo o ano, possui amplitude menor do que o céu claro, mesmo com semelhante direção (gráfico 37). O céu encoberto permanece estável o ano todo. O mês de maio continua apresentando valores menores que julho, seu correspondente na trajetória solar, provavelmente por questões climáticas. É interessante porque aumenta nos meses mais frios e diminui de outubro a fevereiro, comprovando a influência da luminância de uma abóbada clareada por nuvens.

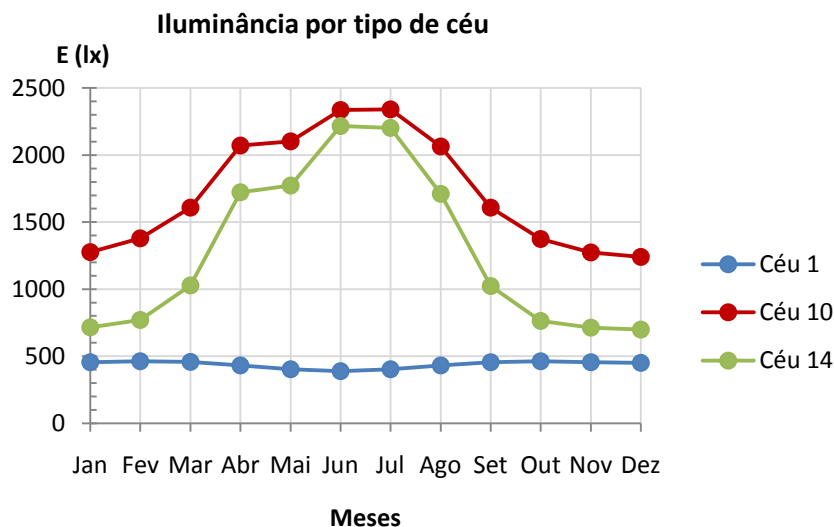


Gráfico 32 - Iluminância por tipo de céu - sem poço.

#### 4.4.4 Contribuição Céu x Sol

O céu contribui com a maior parte da luz de todo o dia, no dia 22 de janeiro ao meio-dia e azimute  $0^\circ$ , o céu parcialmente nublado com 88% do total (gráfico 38) e o céu claro com 64% (gráfico 39).

**Contribuição Céu x Sol - Céu 10**

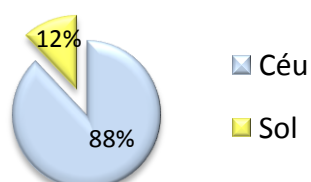


Gráfico 38 - Contribuição céu x sol - Céu 10 - sem poço.

**Contribuição Céu x Sol - Céu 14**

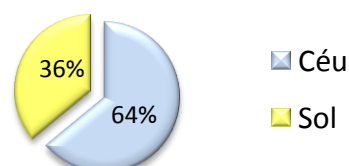


Gráfico 39 - Contribuição céu x sol - Céu 14 - sem poço.

A análise para todos os meses do ano de contribuição do céu e do sol foi feita para o azimute  $0^\circ$  às 12h. O céu tipo 10 teve uma contribuição maior que 60% durante todo o ano (gráfico 40), tendo o período entre abril e agosto representando os menores percentuais. Para o céu tipo 14 entre março e setembro, a contribuição do sol supera a do céu (gráfico 41).

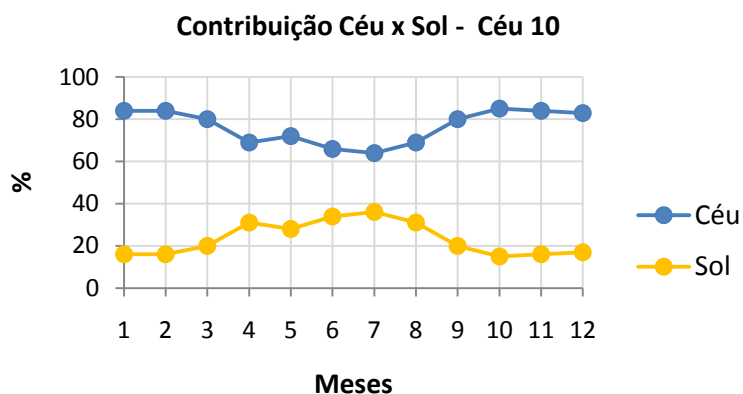


Gráfico 33 - Contribuição céu x sol mensal - céu 10 - sem poço.

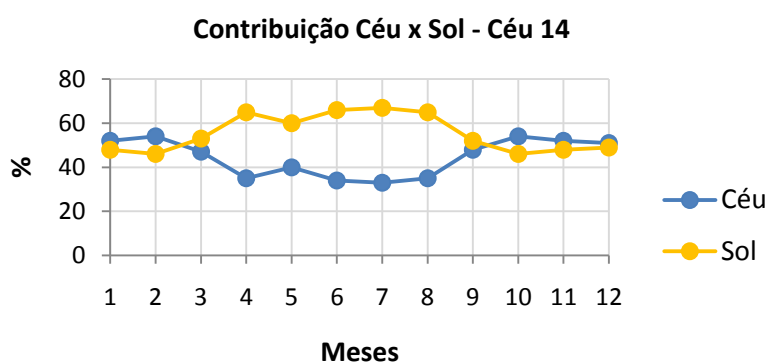


Gráfico 34 - Contribuição céu x sol mensal - céu 14 - sem poço.

#### 4.4.5 Mapa de curvas isolux

As curvas de maior iluminância encontram-se um pouco afastadas da janela, considerando que seu alto peitoril influencia diretamente no tipo de distribuição (figura 69). Sem o poço, a luz penetrou menos no ambiente, limitando-se à iluminação do céu e do sol, sem nenhum dispositivo de melhoria de desempenho.

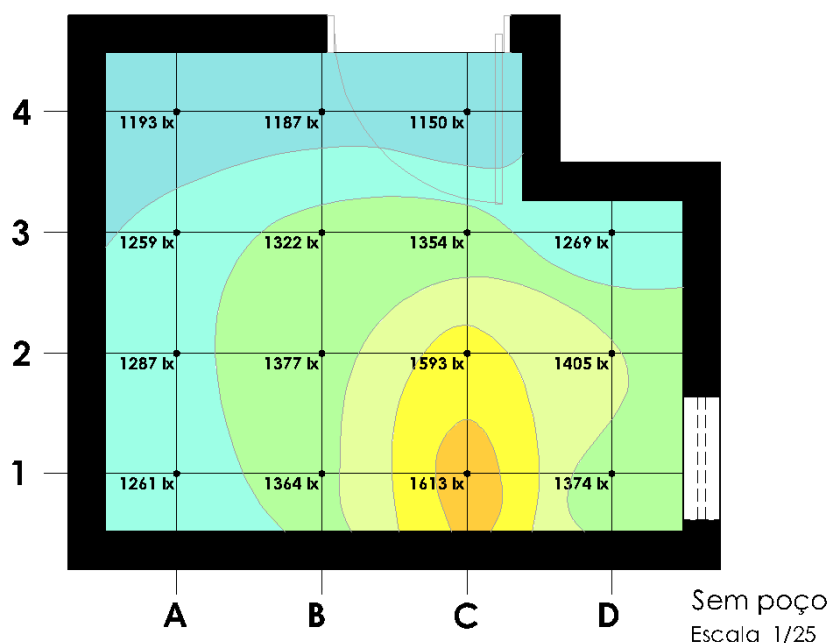


Figura 69 - Mapa de curvas isolux - planta sem poço.

## 4.5 JANELA PEQUENA – POÇO COM REFLETÂNCIA DIFUSA 0.3 E ESPECULAR 0.6

### 4.5.1 Iluminância por azimuth mensal

O ambiente padrão não sofreu nenhuma alteração geométrica, continuou sendo avaliado para o céu tipo 10, ao meio-dia, no nono andar. A refletância total continuou 0,9, porém foi dividida em difusa com o valor 0,3 e especular 0,6, apenas nos planos das paredes do poço, com o objetivo de avaliar a sua especularidade.

Os valores decrescem significativamente alcançando mais a realidade (gráfico 42). O azimuth 180°, correspondente à orientação sul, obteve maiores valores para os meses onde o sol só alcança a parede da frente da janela, ou seja, com a especularidade a reflexão permitiu que a luz chegasse mais forte, ou seja, perdeu menos intensidade por reflexão. A altura solar a 70° em abril e agosto garante uma boa entrada para reflexão da luz. Enquanto que na opção do ambiente sem o poço a orientação sul possui os menores valores entre março e setembro, para a configuração da refletância em difusa 0,3 e especular 0,6 esse resultado é o contrário.



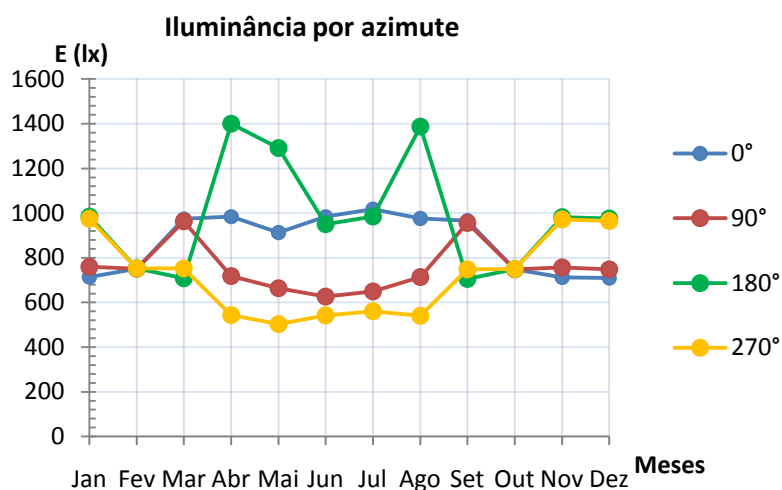


Gráfico 35 - Iluminância por azimute - mensal - refletância difusa 0.3 e especular 0.6.

#### 4.5.2 Iluminância Global Mensal

A iluminância global mensal sofre grandes mudanças entre 9h e 15h, em geral o valor cai e distribui melhor (gráfico 43). O mês de dezembro decresce muito ao meio-dia, aumentando muito às 13h. No mês de outubro e fevereiro, coincidentes, o valor também decresce às 10h, já em janeiro e novembro, cai às 13h e sobe às 14h.

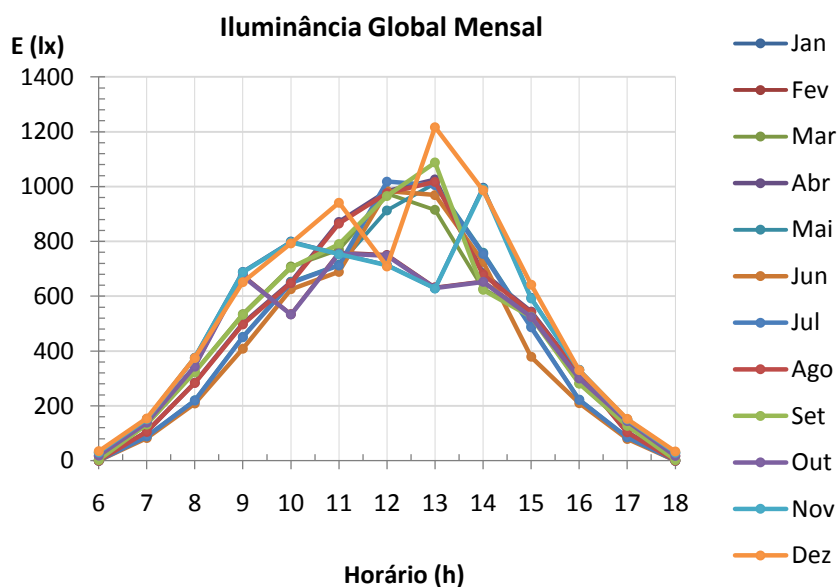


Gráfico 36 - Iluminância global mensal - refletância difusa 0.3 e especular 0.6.

### 4.5.3 Iluminância por tipo de céu

O céu claro se destaca entre março e setembro, com maiores valores, mesmo sendo em se tratando de meses com alta nebulosidade (gráfico 44). Entre outubro e fevereiro decresce bastante na curva de iluminâncias.

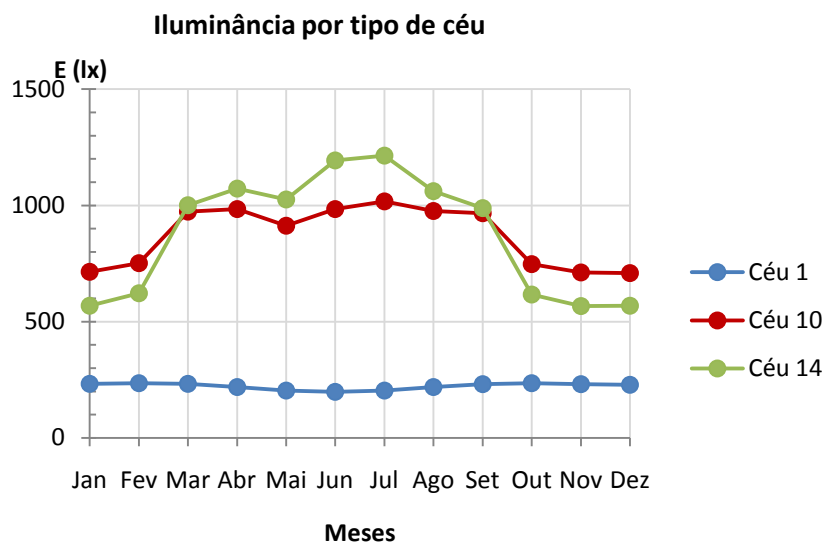


Gráfico 37 - Iluminância por tipo de céu - mensal - refletância difusa 0.3 e especular 0.6.

### 4.5.4 Contribuição Céu x Sol

A contribuição do sol para o céu parcialmente nublado tipo 10 é de 40% (gráfico 45) enquanto que para o céu claro tipo 14 é de 75% (gráfico 46) para a média das horas do dia 22 de janeiro, azimute 0°.

**Contribuição Céu x Sol - Céu 10**

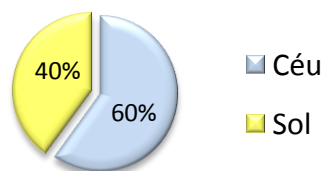


Gráfico 38 - Contribuição céu x sol - céu 10 - refletância difusa 0.3 e especular 0.6.

**Contribuição Céu x Sol - Céu 14**

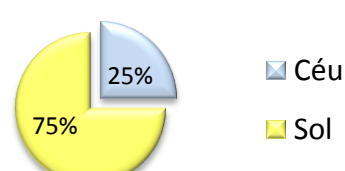


Gráfico 39 - Contribuição céu x sol - céu 14 - refletância difusa 0.3 e especular 0.6.

A contribuição durante o ano, ao meio-dia, para o céu parcialmente nublado (gráfico 47) tem um maior percentual para o sol entre março e setembro e para o céu com maiores valores no restante dos meses. Já com o céu claro, o sol compreende a maior parcela em todo o ano (gráfico 48).

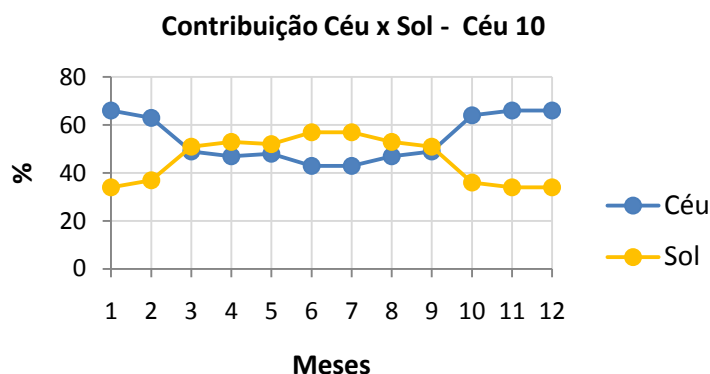


Gráfico 40 - Contribuição céu x sol - mensal - céu 10 - refletância difusa 0.3 e especular 0.6.

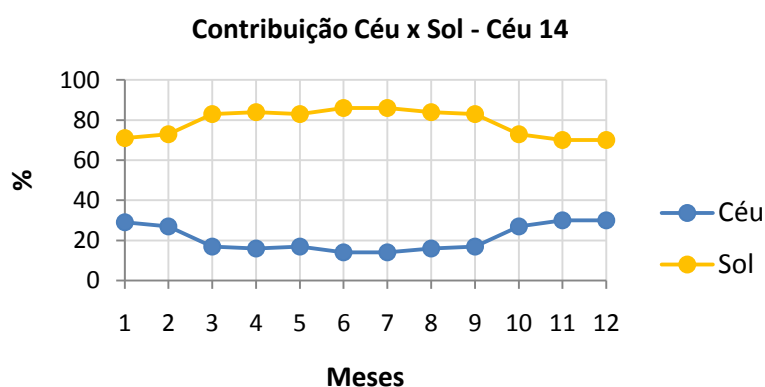


Gráfico 41 - Contribuição céu x sol - mensal - céu 14 - refletância difusa 0.3 e especular 0.6.

## 4.6 JANELA PEQUENA – POÇO COM REFLETÂNCIA DIFUSA 0.45 E ESPECULAR 0.45

### 4.6.1 Iluminância por azimute mensal

O ambiente padrão foi mantido, alterando-se apenas a refletância de 0,9 totalmente difusa para 0,45 difusa e 0,45 especular. As simulações foram feitas para o céu 10, ao meio dia para todos os meses do ano. Os valores das iluminâncias caíram consideravelmente comparando com a opção de ser perfeitamente difusa a superfície do poço. Em fevereiro e outubro, com o sol a pino, todos os valores são iguais.

Na orientação norte, a curva decresce bastante em junho e julho por causa da altura solar estar mais baixa do que o ângulo de entrada do poço (gráfico 49). Com a orientação leste, os meses de junho e julho também caem, porém com a ajuda da geometria, pela localização da janela. As orientações sul e oeste possuem menor

amplitude entre abril e agosto, porém aumentando muito a iluminância de novembro a janeiro.

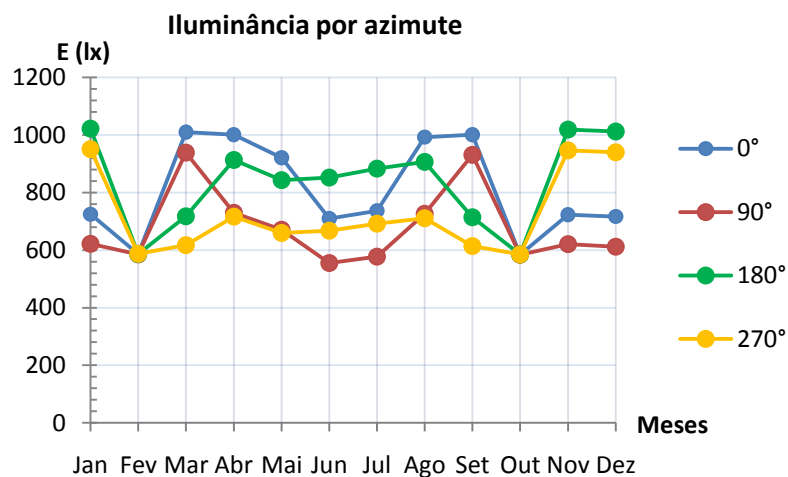


Gráfico 42 - Iluminância por azimute mensal - refletância difusa 0.45 e especular 0.45.

#### 4.6.2 Iluminância Global Mensal

Os resultados das simulações variaram mais entre 10h e 14h. Em setembro às 13h a iluminância sobe bastante (gráfico 50). Ao meio dia, os meses de outubro e fevereiro decrescem bastante a curva de iluminância e às 11h o mês de dezembro sobe, enquanto que novembro e janeiro, coincidentes, decrescem bastante.

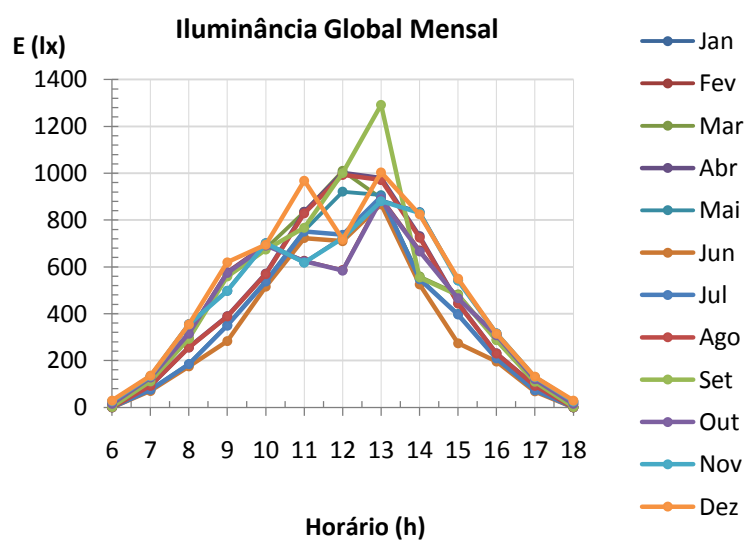


Gráfico 43 - Iluminância global mensal - refletância difusa 0.45 e especular 0.45.

### 4.6.3 Iluminância por tipo de céu

O céu claro possui os maiores valores entre março e setembro, enquanto que o céu parcialmente nublado supera nos meses entre outubro e fevereiro (gráfico 51). O céu encoberto é bastante uniforme, apresentando variações desprezíveis. Os meses mais próximos ao zênite possuem maiores valores.

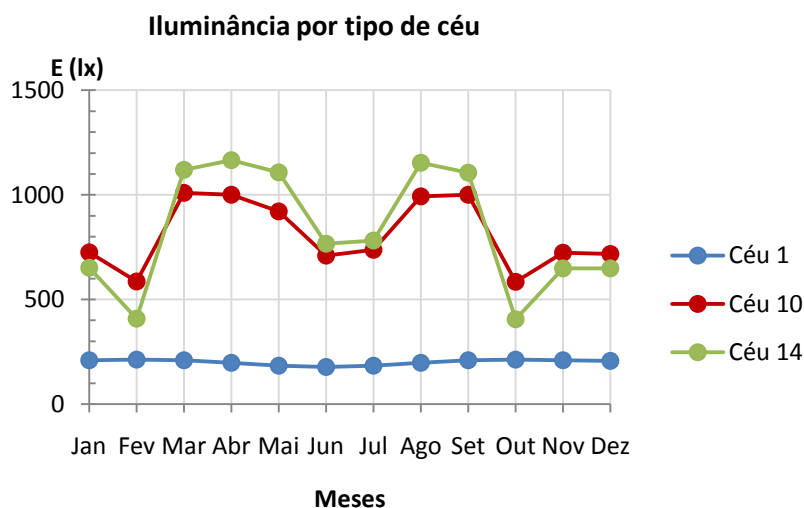


Gráfico 44 - Iluminância por tipo de céu mensal - refletância difusa 0.45 e especular 0.45.

### 4.6.4 Contribuição Céu x Sol

A parcela de contribuição do céu em todas as horas do dia 22 de janeiro, azimute 0°, refletância difusa 0,45 e especular 0,45, é 57% para o céu parcialmente nublado (gráfico 52), enquanto que para o céu 14 é 24% (gráfico 53).

**Contribuição Céu x Sol - Céu 10**

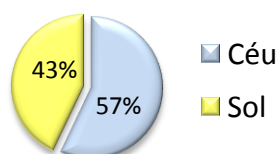


Gráfico 46 - Contribuição céu x sol - céu 10 - refletância difusa 0.45 e especular 0.45.

**Contribuição Céu x Sol - Céu 14**

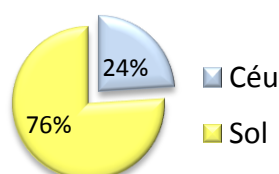


Gráfico 45 - Contribuição céu x sol - céu 14 - refletância difusa 0.45 e especular 0.45.

Para o céu do tipo 10, azimute 0°, ao meio dia, durante o ano, a contribuição do céu é maior para os meses de janeiro, fevereiro, junho, julho, outubro, novembro e dezembro (gráfico 54).

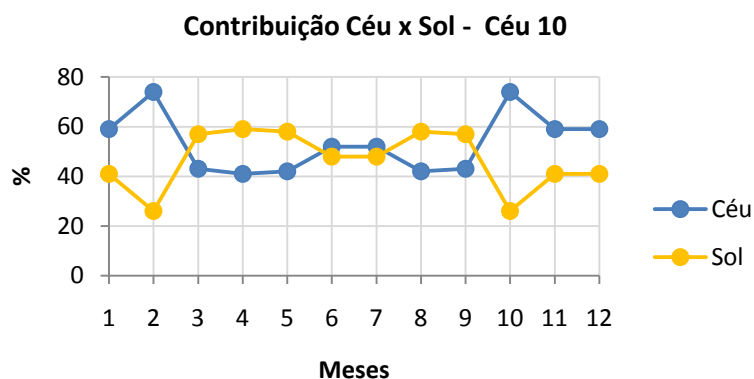


Gráfico 47 - Contribuição céu x sol mensal - céu 10 - refletância difusa 0.45 e especular 0.45.

Quando o céu é claro, a contribuição do sol é maioria em todos os meses, decrescendo apenas consideravelmente nos meses de fevereiro e outubro (gráfico 55).

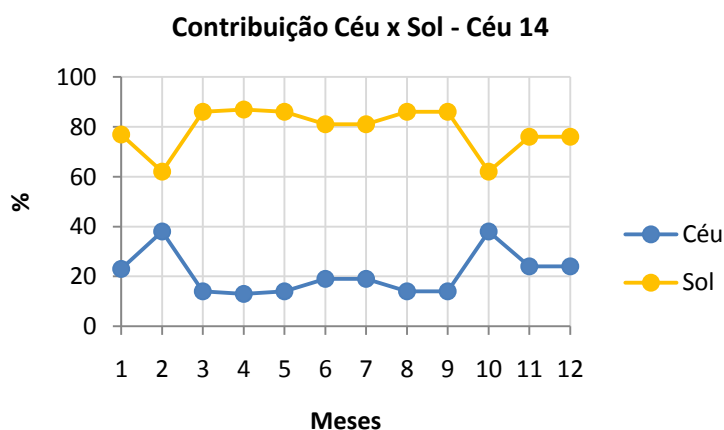


Gráfico 48 - Contribuição céu x sol mensal - céu 14 - refletância difusa 0.45 e especular 0.45.

## 4.7 ILUMINÂNCIA POR ANDAR

Para quantificar a redução da iluminação natural em função da profundidade do poço de luz, foram realizadas simulações para a janela pequena, do tamanho existente e para a opção da janela grande com o objetivo de comparar os resultados obtidos. As duas opções também foram analisadas para os dois tipos de céu mais frequentes na cidade de Maceió, o parcialmente nublado 10, e o claro 14.

#### 4.7.1 Janela pequena existente

A profundidade da entrada do poço até o centro da janela do nono andar é de 1,7m. A curva de iluminância tem amplitude entre os meses de mínima (junho) e máxima (janeiro) de 49,6% para o nono andar (Gráfico 56). Sofre uma queda nos meses de fevereiro e outubro, porém com valores satisfatoriamente elevados durante todo o ano. Os resultados para o oitavo andar foram insignificantes e muito próximos de zero. Todos os andares mais baixos obtiveram valor nulo.

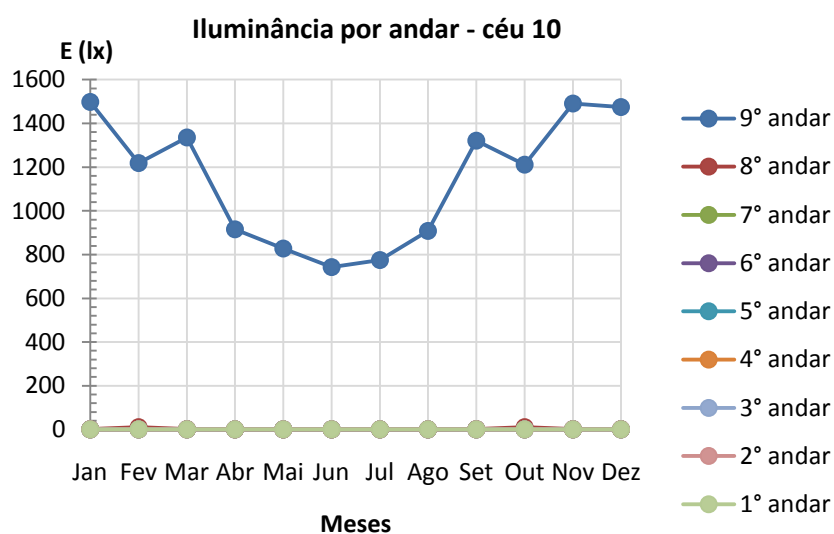


Gráfico 49 - Iluminância por andar - céu 10 - janela pequena.

Nas simulações para o céu claro, a curva de iluminância para o nono andar foi semelhante à opção do céu parcialmente nublado, com aumento proporcional dos valores das iluminâncias (gráfico 57). O oitavo andar obteve valores desprezíveis para os meses de janeiro, fevereiro, março, setembro, outubro, novembro e dezembro, como podem ser analisados em tabelas no apêndice. Todos os outros andares não receberam luz natural.

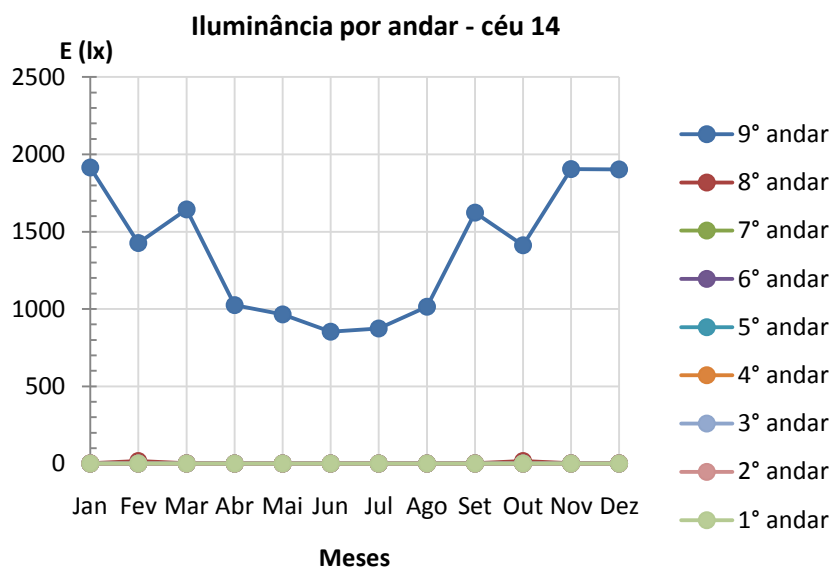


Gráfico 50 - Iluminância por andar - céu 14 - janela pequena.

#### 4.7.2 Janela grande

A partir da análise feita com a janela grande, a quantidade da iluminação natural aumentou muito. Observa-se pelo gráfico para o céu parcialmente nublado que a luz penetrou profundamente alcançando valores significativos até o sexto andar, com uma distância de 10,7m do centro da janela até a entrada do poço (gráfico 58).

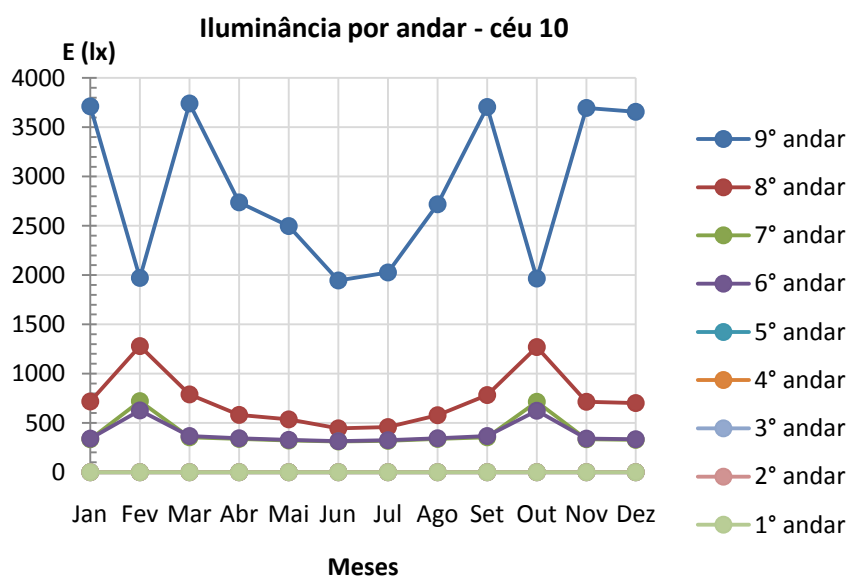


Gráfico 51 - Iluminância por andar - céu 10 - janela grande.



A curva de iluminância para o nono andar decresce no outono e no inverno e em fevereiro e outubro, com o sol a pino. No oitavo andar, no sétimo e no sexto, acontece o inverso, pois os valores em fevereiro e outubro aumentam. A explicação deve estar no fato da luminância do céu ser maior, em fevereiro e outubro ao meio-dia, do que em outros meses com uma menor altura solar, pois quanto mais profundo maior deve ser o ângulo de altura solar para alcançar o local definido. Outra diferença é que no nono andar pode haver luz direta, enquanto que nos outros, somente chega a difusa.

Quando o tipo de céu é alterado não há diferença significativa de relação em valor da iluminância pelos meses. Os mesmos fenômenos são observados, porém os valores das iluminâncias aumentam proporcionalmente (gráfico 59).

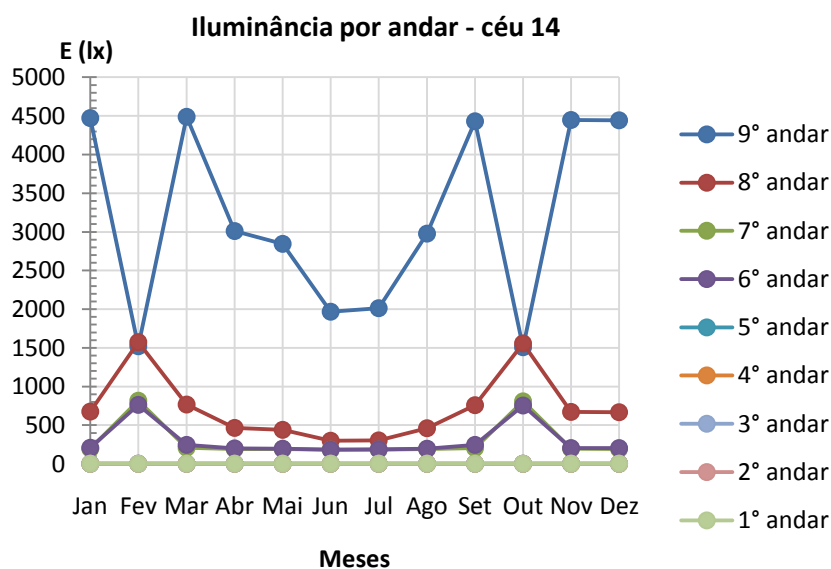


Gráfico 52 - Iluminância por andar - céu 14 - janela grande

## 5 CONCLUSÕES

### 5.1 CONCLUSÕES E OBJETIVOS

No presente trabalho, foram realizadas simulações com o objetivo de contribuir para a melhoria do uso da iluminação natural no projeto de arquitetura através da compreensão dos parâmetros e variáveis que influenciam no desempenho de um poço de luz num edifício residencial no contexto de Maceió-AL.

Foi possível quantificar a redução da iluminação natural, em função da profundidade do poço de luz, que chega ao banheiro de cada pavimento. Conclui-se que a luz chegou até o sexto andar, pois descendo a partir do quinto andar, a iluminação foi nula, tanto para o céu claro, quanto para o parcialmente nublado.

Para a janela existente a eficiência do dispositivo foi apenas para o nono andar com uma distância vertical de 1,5m e horizontal de 2m até o ponto estudado. Com a janela grande a disponibilidade de luz foi até o sexto andar a uma distancia vertical de 10,4m e horizontal de 2m. A janela grande, com uma área 2,5 vezes maior do que a original obteve valores esperadamente mais altos.

Os meses de fevereiro e outubro que tinham os valores mais baixos para o nono andar aumentam o seu valor para o oitavo, sétimo e sexto. Esse fato demonstra a tendência da estabilização da iluminância em função da contribuição da luz refletida dentro do poço. Ao passo que a luz direta diminui, somente a componente refletida afeta os valores das iluminâncias globais.

Pode-se concluir também que os meses de janeiro, março, setembro, novembro e dezembro possuem maiores valores influenciados pela proximidade do sol ao zênite, com grandes alturas solares, como foi indicado na carta solar. A geometria do poço e os ângulos de obstrução e abertura determinam a entrada da luz, seja direta ou por reflexão. Entretanto, os meses de fevereiro e outubro por possuírem a máxima altura solar, com os raios perpendiculares ao solo, não contribuem com a reflexão da luz direta, nem no fundo do poço, considerado muito distante, a 27,6m da entrada do poço.

Com o mapeamento das curvas isolux, foi avaliada a distribuição das iluminâncias no plano de trabalho proporcionadas por dois tamanhos diferentes de

janela e outra seção com a posição invertida do poço de luz comparando ao mesmo ambiente sem obstrução alguma. Na opção existente, a proximidade da janela a um lado do poço, possibilitou que a parede adjacente contribuísse com a penetração mais profunda da iluminação chegando às imediações da porta, onde há um recuo.

Na segunda avaliação na qual a janela foi substituída por uma mais larga, de um lado a outro, a distribuição foi mais radial, em relação à área de influência da janela no plano de trabalho, que também tendeu a centralizar mais a luz, embora os valores fossem esperadamente mais altos por causa do aumento da área de passagem de luz. Obteve os maiores valores de todas as análises realizadas em mapa de curvas isolux.

A terceira análise foi com o poço de seção invertida. Seu maior comprimento em frente à janela garantiu um bom ângulo de abertura, abarcando o sol até na época em que a sua altura é mais baixa, como no solstício de inverno às 12h. A distância do poço poderia ser até menor do que 1,35m, pois a 1,06m o raio de sol já alcança a janela, em 22 de junho (figura 70).

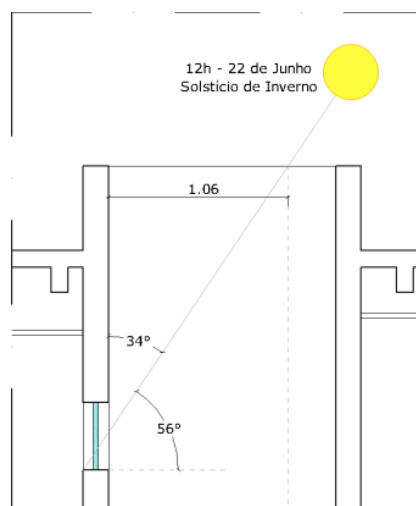


Figura 70 - Comprimento do poço em função da altura solar no solstício de inverno.

A última opção de estudo das curvas isolux é para o ambiente original, porém sem o poço de luz. A ausência de obstrução proporcionou um ambiente iluminado muito parecido com o anterior, da seção horizontal, e os valores bastante próximos das iluminâncias em cada ponto, só que com uma influência menor da luz refletida. A semelhança se deu por causa do horário escolhido, ao meio-dia, e da distância da obstrução frontal. A lateralidade da janela influenciou o posicionamento

da curva de máxima iluminância também localizada na mesma direção, com um pequeno afastamento provocado pelo peitoril alto.

Foram analisadas duas refletâncias diferentes da original para a geometria padrão, todas iguais a 0,9, sendo a primeira totalmente difusa, a segunda opção dividida em 0,3 difusa e 0,6 especular, e a terceira 0,45 difusa e 0,45 especular. Os resultados se diferenciaram bastante. Primeiramente os valores decresceram bastante, aproximando mais à realidade.

Com a refletância dividida igualmente em difusa e especular, a iluminância em fevereiro e outubro para todas as orientações chegou à metade do valor, quase se igualando à mínima anual. A distribuição sazonal da iluminância foi mais regular com menores amplitudes ao se excluir os meses de fevereiro e outubro. Ao longo do dia a variação se deu mais entre as 10h e 14h, com alguns valores bastante diferentes entre 11h e 13h nos meses de setembro, outubro, novembro, dezembro, janeiro e fevereiro. Esse horário combinado com a altura solar que obtiveram maiores iluminâncias, gerou uma área de influência para o poço que pôde ser prevista na carta solar através da combinação das alturas solares e meses que geraram maiores valores de iluminância. A série de dados mensais das iluminâncias por tipo de refletância para o céu 10 teve uma curvatura oposta à original 0,9 difusa, como também o céu 14 aumentou a iluminância proporcionalmente ao céu 10 (gráfico 60).

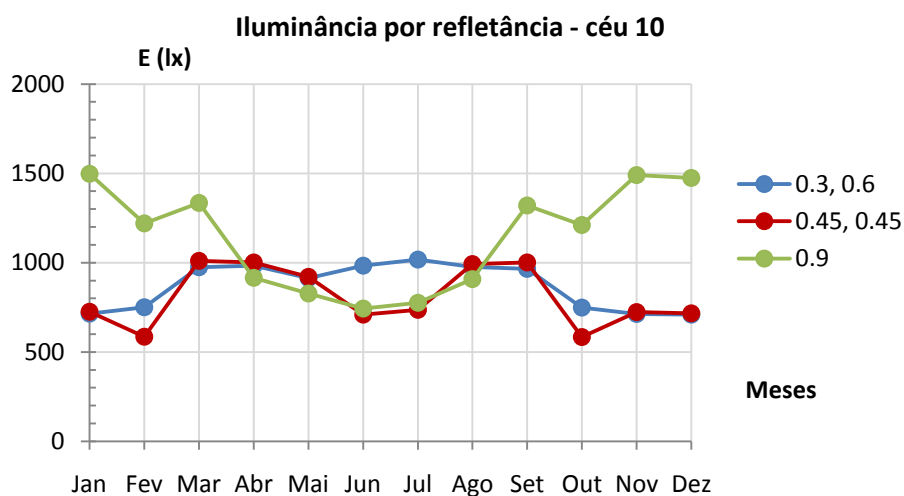


Gráfico 53 - Iluminância por refletância para janela pequena - céu 10 – andar 9.

A contribuição do céu e a do sol ao longo do ano variou em percentual. Para o tipo de céu 10 a contribuição do céu superou percentualmente a do sol nos meses de janeiro, fevereiro, junho, julho, outubro, novembro e dezembro. No mês de janeiro a média de contribuição ao longo do dia ainda rendeu 57% de influência do céu. Para o céu claro, durante todo o ano quem predominou foi o sol.

Na opção em que a especularidade é maior, a luz perde-se menos por reflexão, incrementando a iluminação indireta. A especularidade também favoreceu a orientação sul, oposta à janela, entre os meses de abril e agosto. Durante a variação das horas do dia, apresentou curvas mais achatadas ao meio-dia e irregulares entre 10h e 14h, com grande diferença sazonal. A série de dados mensais de iluminância para o céu 10 e o 14 obteve a menor amplitude e inesperadamente aumentou os valores para os meses de junho e julho, que normalmente estão entre os menores valores por causa do inverno.

Enquanto que na opção do ambiente sem o poço a orientação sul possui os menores valores entre março e setembro, para a configuração da refletância em difusa 0,3 e especular 0,6 esse resultado é o contrário.

Em geral, a contribuição do céu representou um percentual inesperado, com valores notórios por causa do clima tropical de Maceió em conjunto com a localização litorânea, a característica freqüência de céus parcialmente nublados de altas luminâncias influenciou significativamente os resultados. O horário de análise também foi decisivo, uma vez que, de acordo com Cabús (2002) a nebulosidade em Maceió é maior por volta do meio-dia e no início da tarde, conforme citado anteriormente.

Para a opção original da janela pequena a contribuição do sol foi maior em todo o ano para o céu 10, como também o 14 com mais de 80% para todos os meses. No dia 22 de janeiro, a contribuição do céu média em todas as horas do dia representa 54% para o céu 10 e 22% para o 14.

Com a janela grande em fevereiro, outubro, junho e julho a contribuição do céu é maior para o tipo 10, enquanto que o sol supera em todo o ano para o 14. No dia 22 de janeiro, o céu representa 54% da contribuição no parcialmente nublado e 22% para o céu claro.

Na seção horizontal do poço a contribuição percentual do céu supera todos os meses para a condição de parcialmente nublado e de março a setembro, caso seja claro com pequena diferença nos outros meses. No dia 22 de janeiro, a contribuição do céu chega a 88% para o parcialmente nublado e 64% para o claro.

Sem o poço o céu supera em todo o ano a contribuição para a condição de parcialmente nublado. Com o céu claro, o sol supera de março a agosto. Para o dia 22 de janeiro a contribuição é idêntica à opção da seção horizontal, por causa da questão da altura solar e do horário das simulações.

Quando a refletância foi dividida igualmente em difusa e especular, o céu claro teve uma contribuição maior do sol durante todo o ano e enquanto o céu esteve parcialmente nublado a contribuição do céu foi maior para os meses de janeiro, fevereiro, junho, julho, outubro, novembro e dezembro. No dia 22 de janeiro o céu pôde alcançar 57% para o tipo 10 e 24% para o tipo 14.

Quando a especularidade foi considerada maior, o céu parcialmente nublado trouxe maiores valores para o céu de março a agosto e o céu claro ficou com a parcela do sol predominante todo o ano. No dia 22 de janeiro o céu representou 60% para o céu 10 e 25% para o céu 14.

As simulações para o dia 22 de janeiro foram realizadas com o azimute 0° para todas as horas do dia, com a refletância de 0,9 no ponto P(0.5,0.25,0.9) localizado no balcão da pia do banheiro. Tais resultados foram esquematizados na tabela 4. Conclui-se então que a contribuição do céu é maior quando o céu é parcialmente nublado, mas também representa grande parcela quando o céu é claro.

<b>Parcela de contribuição do céu (%)</b>		
<b>Opção</b>	<b>Céu 10</b>	<b>Céu 14</b>
Janela pequena	45	17
Janela grande	54	22
Seção horizontal	88	64
Sem poço	88	64
Reflet. 0.3; 0.6	60	25
Reflet. 0.45; 0.45	57	24

Tabela 4 - Parcela de contribuição do céu - comparação das variáveis.

A influência do azimute em função da sazonalidade foi avaliada com o objetivo de indicar a orientação mais adequada para a obtenção da iluminação através do poço de luz.

A orientação Sul obteve maiores iluminâncias para a opção da janela pequena, até para quando se variou a especularidade das superfícies do poço. Em seguida a orientação norte também apresentou bons resultados, posteriormente a leste e por último a oeste.

Ainda com a janela pequena, mas alterando-se a seção do poço ou tirando totalmente qualquer obstrução da janela, a melhor orientação para obtenção da iluminação é a norte com o azimute a  $0^\circ$ . Em seguida a leste, depois a oeste e por último a sul.

Com a janela grande os valores das orientações norte e sul se aproximaram bastante e foram maiores, já os resultados para a orientação leste e a oeste foram pouco menores, com exceção dos meses de junho e julho. Foi próximo aos solstícios que o valor das iluminâncias tendeu a diferenciar um pouco entre as direções norte - sul e a leste - oeste.

## **5.2 LIMITAÇÕES DO TRABALHO**

O presente trabalho foi realizado com objetivos que determinaram a seleção de alguns fatores de influência na avaliação do poço como um condutor de luz. O ambiente em estudo, um banheiro, não foi avaliado qualitativamente em relação à iluminação natural e suas implicações no conforto luminoso do usuário local. Os valores trabalhados referem-se a um ponto específico no centro da bancada, com exceção da malha de iluminâncias para obtenção das curvas isolux.

Também não foi estudada a transmitância do vidro da janela, por ser jateado e conseqüentemente não possuir um valor padrão estipulado pelo programa de simulação na época da simulação, o que hoje já é possível na versão mais recente.

O domo que protege o poço de luz das intempéries também não foi estudado, pelo mesmo motivo do vidro da janela. Não foi possível determinar com precisão o acrílico empregado no domo e sua transmitância.

O estudo tem validade para a cidade de Maceió, em função das diferenças climáticas e disponibilidade de luz natural característicos da sua localização e orientação.

O ambiente foi processado sem móvel ou equipamento existente, uma vez que poderia trazer diferenças nos resultados.

### **5.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Podem ser estudados poços de luz variando-se a seção horizontal em geometrias diferentes, porém com a mesma área de passagem da luz, a fim de avaliar a relação entre a luz externa e a interna de um ambiente.

Seria interessante um estudo que contemplasse a análise qualitativa do ambiente iluminado apenas naturalmente pelo poço de luz e fizesse uma avaliação de locais que não possuíssem vista direta do céu ou do exterior com foco no conforto do usuário.

Ainda são precárias as informações dos fabricantes de produtos na área da construção civil sobre as propriedades físicas de materiais. Também poderia existir um estudo que explorasse todos os materiais transparentes e translúcidos empregados em aberturas, a fim de estabelecer uma média estatística, da transmitância, da refletância e da absortância da luz, por causa das diferenças entre os fabricantes.



## REFERÊNCIAS

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *Iluminação de interiores (NBR 5413)*. ABR 1992, ABNT, 1992.
- \_\_\_\_\_. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *Verificação de iluminância de interiores*. (NBR 5382), 1985.
- \_\_\_\_\_. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *Parte 1 – Conceitos básicos e definições*. (NBR 15215-1), 1999.
- \_\_\_\_\_. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *Iluminação Natural - Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações – Método de medição*. (NBR 15215-4), 2003.
- ARAÚJO, Iuri A. L. *Influência da luz natural refletida pelo entorno na iluminação de edifícios no trópico úmido*. Dissertação, Maceió, 2006.
- AVENIDA CENTRAL. *Fotografia de 1923*. RJ. <<http://www.vivercidades.org.br>>. Acesso em 20 de fevereiro de 2009.
- BAKER, N.; STEEMERS, K. *Daylight design of buildings*. Reino Unido: Earthscan, 2002.
- BEAN, A. R.; SIMONS, R. H. *Lighting Fittings Performance and Design*. Oxford: Pergamon Press, 1968.
- BOYCE, Peter R. *Human Factors in Lighting*. Londres: Taylor & Francis, 2003.
- BRASIL, EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). *Balanco Energético Nacional 2009 – Ano base 2008*. Rio de Janeiro: EPE, 2009, 48p.
- BRUNDTLAND, G. H. Report of the world commission on environment and development “*Our Common Future*”, United Nations, 1987.
- CABÚS, Ricardo. C. *Tropical daylighting: predicting sky types and interior illuminance in north-east Brazil*. (PhD). Architecture, University of Sheffield, Sheffield, 2002. 288p.
- \_\_\_\_\_. Ricardo. *Validação do programa Troplux*. Brasil - Maceio, AL. 2005. p. 250-259. ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8., 2005, Maceió, AL; ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE CONFORTO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4., 2005, Maceió, AL.
- \_\_\_\_\_. Ricardo. C. *Software: Troplux, versão 3.0*. Maceió, Brasil: Grilu. 2006.
- CIE - COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE. (2002) *Spatial distribution of daylight - CIE standard general sky*. CIE. Wien, p.7. (CIE DS 011.2/E:2002)
- CIPESA/GAFISA. *Jatiúca Trade Residence, Maceió*. <<http://www.cipesa.com.br>>. Acesso em março de 2010.
- \_\_\_\_\_. *Edifício NEO, Maceió*. <<http://www.cipesa.com.br>> Acesso em março de 2010.
- DEKAY, Mark; BROWN, G.Z. *Sol, Vento & Luz. Estratégias para o Projeto de Arquitetura*. Bookman, 2.ed. Tradução de John Wiley & Sons, Inc, Porto Alegre: Artmed Editora, 2001.

DREBES, Fernanda Jung. *O Edifício Residencial e a Arquitetura Brasileira (1945/55)*. In: DOCOMOMO, São Carlos, 2003, 13 p.

EDIFÍCIO ESTHER. *Fotografia*. <<http://www.itaucultural.org.br/>>. Acesso em 29 de outubro de 2008.

FAZIO, Michael W. ; MOFFET, Marian; WODEHOUSE, Lawrence. *A World History of Architecture*. Londres: Ed. Lawrence King, 2003, 592p.

FROTA, Anésia B. *Geometria da Insolação*. São Paulo: Geros, 2004.

GIEDION, Sigfried. *Raum, Zeit, Architektur: Die Entstehung einer neuen tradition*. Berlin: Ed. Birkhäuser, 2000, 255p.

GIRARDET, Herbert. *Creating Sustainable Cities*. Bristol: Schumacher Briefings, Greenbooks, 2003, 80p.

GLANCEY, Jonathan. *A História da Arquitetura*. Tradução Luis Carlos Borges e Marcos Marcionilo, São Paulo: Ed. Loyola, 2001, 240p.

GOULART, Solange; LAMBERTS, Roberto; FIRMINO, Samanta. *Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras*. Florianópolis: UFSC, 1997, 345p.

GRAZIANO JUNIOR, Sigfrido F. C. G. *Elementos de controle e redirecionamento*. Disponível em: <[http://www.luz.philips.com/latam/archives/sig\\_elementos.htm](http://www.luz.philips.com/latam/archives/sig_elementos.htm)>. Acesso em 29 de outubro de 2008.

GUARDIA, Eduardo C.; HADDAD, Jamil; MARQUES, Milton C. S. *Eficiência Energética: teoria e prática*. Itajubá: FUPA, 2007.

HOPKINSON, R.; PETHERBRIDGE, P.; LONGMORE, J. *Daylighting*. London: William Heinemann Ltda, 1966.

INMET, INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. *Dados climáticos das normais climatológicas para Maceió - 1961-1990*. <<http://www.inmet.gov.br/>>. Acesso em 24 de maio de 2010.

KITTLER, R. *Universal Modelling of Daylight Climates for design purposes*. Architectural Science Review, V. 40.

\_\_\_\_\_ ; PEREZ, R.; DARULA, S. *A new generation of sky standards*. Proceedings Lux Europe Conference, 1997.

KOENIGSBERGER, O. H.; INGERSOLL, T. G.; MAYHEW, Alan; SZOKOLAY, S. V. *Viviendas y edificios em zonas cálidas y tropicales*. Paraninfo, Madrid, 1977.

LAM, William M. C. *Perception and Lighting as Formgivers for Architecture*. Estados Unidos: McGRAW-HILL BOOK COMPANY, 1977.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano, PEREIRA, Oscar R. *Eficiência energética na arquitetura*. São Paulo: Virtus, 2004.

LITTLEFAIR, P. J. *Site layout planning for daylight and sunlight. A guide to good practice*. Watford: BRE, 1991, 86p.

\_\_\_\_\_ ; CRISP, V. H.; COOPER, I.; MCKENNAN, G. *Daylight as a passive solar energy option: an assessment of its potential in non-domestic buildings*. Watford: BRE, 1988, 55p.

MACEIÓ, PREFEITURA MUNICIPAL DE MACEIÓ. *Código de Urbanismo e Edificações do Município de Maceió*. 2007.

\_\_\_\_\_, PREFEITURA MUNICIPAL DE MACEIÓ. *Plano Diretor: Maceió-Alagoas*. 2005.

MAJOROS, András. *Daylighting*. (Plea Notes- design tools and techniques). Kenmore - Australia: PLEA, 1998. v.4, 76p.

MÁRCIO RAPOSO IMÓVEIS. Edifício Vinícios Cansanção. <<http://www.marrioraposo.com.br>>. Acesso em março de 2010.

MASCARÓ, Lúcia R. de. *Energia na Edificação: Estratégia para Minimizar seu Consumo*. São Paulo: Ed. Projeto, 1985, 136p.

\_\_\_\_\_, Lúcia. R. D. *Luz, clima e arquitetura*. São Paulo: Nobel, 1983. 189p.

MOORE, F. *Concepts and practice of architectural daylighting*. New York: Van Nostrand Reinhold, 1985. 290p.

MUNEER, T. *Solar Radiation & Daylight Models: for the Energy Efficient Design of Buildings*. Oxford: Architectural Press, 1997.

OLGYAY, Victor. *DESIGN WITH CLIMATE: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism*. New Jersey: Princenton University Press, 1973.

OSRAM. *Catálogo de lâmpadas*. <<http://www.osram.com>>. Acesso em março de 2010.

PEREIRA, Fernando. O. R. *Iluminação. Apostila do curso de especialização em engenharia de segurança de trabalho*. CCT. Florianópolis: UFSC, 1994.

PEREIRA, Roberto C. *Avaliação de ferramentas de simulação de Iluminação Natural por meio de mapeamento digital de luminâncias da abóbada celeste e entorno*. Tese de Doutorado. Florianópolis: UFSC, 2009.

PHILLIPS, Derek. *Daylighting: Natural Light in Architecture*. Oxford: Elsevier, 2004.

PROCEL. *Modelo para elaboração de código de obras e edificações*. Rio de Janeiro: IBAM/DUMA, 1997.

REIS FILHO, Nestor Goulart. *Quadro da Arquitetura no Brasil*. São Paulo: Ed. Perspectiva, 1970, 209p.

RIFFAT, S. B.; SHAO, L. *Daylighting using light pipes and its integration with solar heating and natural ventilation*. Londres: Revista Lighting Research and Technology, 2000.

ROMERO, Marta. *Princípios Bioclimáticos para o Desenho Urbano*. São Paulo: Ed. Pro Livros, 2001, 119p.

RUA LÍBERO Badaró. *Fotografia de 1920*. SP. <<http://italianadas.blogspot.com>>. Acesso em 20 de fevereiro de 2009.

RUA XAVIER de Toledo, *Fotografia*. SP. <<http://flickr.com>>. Acesso em 20 de fevereiro de 2009.

SAMANT S.; YANG, F. *Daylighting in atria: The effect of atrium geometry and reflectance distribution*. Londres: Revista Lighting Research and Technology, 2007.

SHERWOOD, Roger. *Modern Housing Prototypes*. Cambridge and London: Harvard University Press, 2001.

TREGENZA, P.; LOE, D. *The design of lighting*. Londres: E & FN SPON, 1998, 164 p.

VITRUVIUS. *The ten books on Architecture*. Tradução: Morgan, New York: Dover Publications, 1960, M. 331 p.

ZOMER, C.; RUTHER, R. *A arquitetura eficiente como um meio de economia energética atuando no gerenciamento pelo lado da demanda* Fortaleza: ENTAC, 2008.

## APÊNDICE

## Tabelas referentes aos gráficos

\*Unidade das iluminâncias em lx (lux).

### 5.4 JANELA PEQUENA EXISTENTE

#### 5.4.1 Iluminância por azimute mensal

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<b>0°</b>	1498	1219	1335	915	828	743	775	908	1321	1211	1491	1475
<b>90°</b>	1051	1219	1224	1171	1068	888	924	1161	1212	1210	1046	1033
<b>180°</b>	1355	1219	1475	1008	912	657	686	999	1459	1211	1349	1334
<b>270°</b>	1242	1220	1037	987	897	711	740	979	1028	1211	1236	1225

#### 5.4.2 Iluminância global mensal

	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
<b>Jan</b>	24	123	298	488	742	1020	1498	1185	843	695	297	127	24
<b>Fev</b>	14	117	268	510	947	1035	1219	1200	1085	480	259	121	14
<b>Mar</b>	2	111	250	425	787	1178	1335	1161	909	436	244	103	2
<b>Abr</b>	0	85	260	394	733	957	915	1018	795	365	226	84	0
<b>Mai</b>	0	69	157	348	474	604	828	601	416	324	175	68	0
<b>Jun</b>	0	64	149	293	449	573	743	571	395	293	164	63	0
<b>Jul</b>	0	69	157	346	471	600	775	597	414	323	174	68	0
<b>Ago</b>	0	85	259	391	728	949	908	1009	788	363	225	84	0
<b>Set</b>	2	110	249	422	780	885	1321	1130	900	433	243	103	2
<b>Out</b>	14	117	267	508	941	1029	1211	1191	1077	478	259	121	14
<b>Nov</b>	24	123	297	486	739	1016	1491	1180	840	692	296	127	24
<b>Dez</b>	27	124	296	439	730	1064	1475	966	831	455	295	128	27

#### 5.4.3 Iluminância por tipo de céu

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<b>Céu 1</b>	213	216	213	201	188	181	187	201	213	216	213	210
<b>Céu 10</b>	1498	1219	1335	915	828	743	775	908	1321	1211	1491	1475
<b>Céu 14</b>	1916	1427	1644	1026	965	854	874	1015	1623	1413	1905	1903

#### 5.4.4 Contribuição céu x sol

##### Céu 10 - Mensal

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<b>Céu</b>	30	38	34	45	44	47	47	45	34	38	38	38
<b>Sol</b>	70	62	66	55	56	53	53	55	66	62	62	62

##### Céu 14 – Mensal

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<b>Céu</b>	9	12	11	15	15	16	16	15	11	12	9	9
<b>Sol</b>	91	88	89	85	85	84	84	85	89	88	91	91

## 5.4.5 Mapa de curvas isolux

		x			
y	<b>0,29</b>	<b>0,88</b>	<b>1,47</b>	<b>2,06</b>	
1,71	1078 lx	1512 lx	1324 lx	–	
1,22	1424 lx	1348 lx	1588 lx	1476 lx	
0,73	1123 lx	1327 lx	1874 lx	1398 lx	
0,24	1148 lx	1417 lx	1468 lx	1394 lx	

## 5.5 JANELA GRANDE

## 5.5.1 Iluminância por azimute mensal

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<b>0°</b>	3711	1972	3743	2738	2497	1946	2027	2717	3707	1965	3695	3656
<b>90°</b>	2878	1973	3197	2514	2315	2626	2722	2497	3168	1966	2867	2841
<b>180°</b>	3799	1975	3658	2718	2470	1695	1768	2697	3621	1969	3782	3752
<b>270°</b>	3240	1973	2844	2543	2346	2801	2903	2525	2820	1967	3227	3199

## 5.5.2 Iluminância global mensal

	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
<b>Jan</b>	79	404	789	1754	2159	2760	3711	2376	2154	1548	898	407	82
<b>Fev</b>	47	387	1034	1599	2396	2808	1972	2422	2380	2052	974	391	49
<b>Mar</b>	8	373	989	1798	2468	2759	3743	3095	2756	1458	927	382	8
<b>Abr</b>	0	321	844	1617	2678	3484	2738	3366	2219	1375	938	317	0
<b>Mai</b>	0	268	603	1446	1578	1737	2497	1600	1910	1228	722	261	0
<b>Jun</b>	0	249	573	1003	1504	1657	1946	1526	1815	921	674	242	0
<b>Jul</b>	0	266	600	1437	1569	1727	2027	1592	1898	1221	718	260	0
<b>Ago</b>	0	321	840	1606	2656	3453	2717	3336	2203	1367	932	316	0
<b>Set</b>	6	371	983	1783	2447	2730	3707	3201	2731	1449	922	380	6
<b>Out</b>	49	387	1030	1592	2382	2791	1965	2409	2366	2040	971	391	50
<b>Nov</b>	80	404	785	1748	2151	2750	3695	2368	2147	1543	896	407	82
<b>Dez</b>	90	406	776	1351	2122	2626	3656	2949	2118	1181	890	411	94

## 5.5.3 Iluminância por tipo de céu

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<b>Céu 1</b>	622	632	623	588	549	531	548	588	622	632	622	614
<b>Céu 10</b>	3711	1972	3743	2738	2497	1946	2027	2717	3707	1965	3695	3656
<b>Céu 14</b>	4473	1520	4488	3010	2844	1967	2012	2977	4431	1509	4447	4442

## 5.5.4 Contribuição céu x sol

## Céu 10 mensal

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<b>Céu</b>	36	69	36	46	46	57	57	47	37	69	36	36
<b>Sol</b>	64	31	64	54	54	43	43	53	63	31	64	64

## Céu 14 mensal

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<b>Céu</b>	11	33	11	16	16	23	23	17	12	33	11	11
<b>Sol</b>	89	67	89	84	84	77	77	83	88	77	89	89

### 5.5.5 Mapa de curvas isolux

	x			
y	0,29	0,88	1,47	2,06
1,71	2985 lx	3201 lx	2914 lx	
1,22	3266 lx	3344 lx	3507 lx	4111 lx
0,73	3212 lx	3298 lx	5385 lx	3917 lx
0,24	2963 lx	2967 lx	4287 lx	4533 lx

## 5.6 JANELA PEQUENA - SEÇÃO INVERTIDA DO POÇO

### 5.6.1 Iluminância por azimuth mensal

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<b>0°</b>	1284	1416	1687	2093	2123	2333	2337	2086	1685	1410	1281	1247
<b>90°</b>	1369	1424	1474	1325	1255	1273	1307	1322	1469	1421	1367	1353
<b>180°</b>	1699	1434	1281	1146	1058	1003	1036	1143	1275	1434	1697	1735
<b>270°</b>	1481	1425	1365	1285	1209	1152	1186	1282	1360	1423	1478	1468

### 5.6.2 Iluminância global mensal

	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
<b>Jan</b>	89	400	683	928	1117	1251	1284	1252	1117	927	682	400	90
<b>Fev</b>	54	397	712	991	1217	1345	1416	1345	1231	1033	711	397	54
<b>Mar</b>	9	389	743	1176	1682	1520	1687	1546	1379	1242	740	391	9
<b>Abr</b>	0	380	790	1444	1526	1861	2093	1950	1610	1377	916	385	0
<b>Mai</b>	0	349	954	1422	1716	2392	2123	2298	1852	1362	933	348	0
<b>Jun</b>	0	334	925	1693	1711	2372	2333	2280	1836	1572	907	335	0
<b>Jul</b>	0	347	951	1418	1713	2384	2337	2291	1847	1359	930	347	0
<b>Ago</b>	0	380	789	1439	1523	1856	2086	1944	1606	1372	913	385	0
<b>Set</b>	7	389	743	1174	1677	1758	1685	1584	1378	1239	740	391	7
<b>Out</b>	55	397	711	988	1212	1339	1410	1340	1227	1030	709	397	55
<b>Nov</b>	90	400	682	926	1115	1249	1281	1249	1115	926	681	400	90
<b>Dez</b>	102	401	672	905	1086	1203	1247	1204	1086	905	671	401	102

### 5.6.3 Iluminância por tipo de céu

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<b>Céu 1</b>	460	467	460	435	406	392	405	434	459	467	459	454
<b>Céu 10</b>	1284	1416	1687	2093	2123	2333	2337	2086	1685	1410	1281	1247
<b>Céu 14</b>	716	818	1146	1746	1796	2197	2181	1733	1139	812	713	701

### 5.6.4 Contribuição céu x sol

#### Céu 10 mensal

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----



<b>Céu</b>	84	83	77	68	72	66	65	69	77	83	84	84
<b>Sol</b>	16	17	23	32	28	34	35	31	23	17	16	16

#### Céu 14 mensal

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<b>Céu</b>	52	51	43	35	40	35	33	35	44	51	52	51
<b>Sol</b>	48	49	57	65	60	65	67	65	56	49	48	49

#### 5.6.5 Mapa de curvas isolux

	x			
y	0,29	0,88	1,47	2,06
1,71	1195 lx	1224 lx	1146 lx	
1,22	1207 lx	1319 lx	1356 lx	1250 lx
0,73	1282 lx	1430 lx	1569 lx	1368 lx
0,24	1269 lx	1352 lx	1604 lx	1409 lx

### 5.7 JANELA PEQUENA SEM POÇO

#### 5.7.1 Iluminância por azimute mensal

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<b>0°</b>	1276	1379	1609	2072	2102	2337	2342	2064	1607	1374	1274	1240
<b>90°</b>	1359	1387	1522	1304	1236	1286	1320	1301	1516	1385	1358	1344
<b>180°</b>	1619	1397	1274	1140	1052	997	1030	1136	1268	1398	1618	1656
<b>270°</b>	1530	1388	1355	1273	1198	1143	1176	1279	1351	1386	1527	1517

#### 5.7.2 Iluminância global mensal

	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
<b>Jan</b>	89	400	681	924	1111	1245	1276	1243	1108	920	678	398	89
<b>Fev</b>	54	398	711	983	1210	1338	1379	1335	1207	978	707	395	54
<b>Mar</b>	9	396	743	1190	1323	1506	1609	1588	1386	1167	735	393	9
<b>Abr</b>	0	382	860	1377	1662	1991	2072	1965	1541	1313	818	377	0
<b>Mai</b>	0	351	922	1367	2014	2028	2102	2120	1806	1307	926	346	0
<b>Jun</b>	0	343	899	1662	1992	2027	2337	2111	1794	1631	900	335	0
<b>Jul</b>	0	350	920	1365	2007	2025	2342	2115	1802	1304	923	345	0
<b>Ago</b>	0	381	858	1337	1657	1984	2064	1958	1538	1309	817	376	0
<b>Set</b>	7	396	743	1188	1323	1628	1607	1650	1385	1166	735	392	7
<b>Out</b>	55	398	710	980	1205	1333	1374	1330	1203	975	705	395	55
<b>Nov</b>	90	400	680	922	1109	1243	1274	1241	1106	919	677	398	89
<b>Dez</b>	102	400	670	902	1081	1197	1240	1195	1078	899	667	399	102

#### 5.7.3 Iluminância por tipo de céu

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<b>Céu 1</b>	456	463	457	431	403	389	402	431	456	463	456	450
<b>Céu 10</b>	1276	1379	1609	2072	2102	2337	2342	2064	1607	1374	1274	1240
<b>Céu 14</b>	714	769	1029	1723	1773	2218	2202	1710	1023	764	712	699

#### 5.7.4 Contribuição céu x sol

## Céu 10 mensal

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<b>Céu</b>	84	84	80	69	72	66	64	69	80	85	84	83
<b>Sol</b>	16	16	20	31	28	34	36	31	20	15	16	17

## Céu 14 mensal

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<b>Céu</b>	52	54	47	35	40	34	33	35	48	54	52	51
<b>Sol</b>	48	46	53	65	60	66	67	65	52	46	48	49

## 5.7.5 Mapa de curvas isolux

	x			
y	0,29	0,88	1,47	2,06
1,71	1193 lx	1187 lx	1150 lx	
1,22	1259 lx	1322 lx	1354 lx	1269 lx
0,73	1287 lx	1377 lx	1593 lx	1405 lx
0,24	1261 lx	1364 lx	1613 lx	1374 lx

## 5.8 JANELA PEQUENA – POÇO COM REFLETÂNCIA DIFUSA 0,3 E ESPECULAR 0,6

## 5.8.1 Iluminância por azimute mensal

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<b>0°</b>	714	751	974	984	913	984	1018	976	966	748	712	709
<b>90°</b>	759	751	963	718	664	627	649	714	956	748	757	748
<b>180°</b>	985	752	708	1400	1291	950	984	1387	705	749	982	976
<b>270°</b>	974	752	753	543	503	542	561	541	748	749	971	964

## 5.8.2 Iluminância global mensal

	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
<b>Jan</b>	29	151	376	689	799	755	714	629	996	594	331	150	29
<b>Fev</b>	17	138	344	676	534	759	751	632	654	526	300	144	17
<b>Mar</b>	3	133	324	535	708	770	974	915	627	529	282	128	3
<b>Abr</b>	0	105	284	500	652	871	984	1026	684	544	318	104	0
<b>Mai</b>	0	89	220	452	652	715	913	1012	759	489	223	85	0
<b>Jun</b>	0	82	208	408	625	689	984	969	725	379	210	79	0
<b>Jul</b>	0	88	219	450	648	712	1018	1005	754	486	222	85	0
<b>Ago</b>	0	105	283	497	648	865	976	1017	679	541	316	103	0
<b>Set</b>	2	132	322	532	704	790	966	1088	623	525	281	127	2
<b>Out</b>	18	138	343	673	533	756	748	630	652	524	300	144	17
<b>Nov</b>	30	151	375	687	797	753	712	628	992	592	331	150	29
<b>Dez</b>	34	154	375	651	793	941	709	1217	986	642	330	152	33

## 5.8.3 Iluminância por tipo de céu

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<b>Céu 1</b>	232	235	232	219	204	198	204	219	231	235	231	229
<b>Céu 10</b>	714	751	974	984	913	984	1018	976	966	748	712	709

<b>Céu 14</b>	569	622	1001	1073	1025	1193	1214	1061	989	617	567	569
---------------	-----	-----	------	------	------	------	------	------	-----	-----	-----	-----

#### 5.8.4 Contribuição céu x sol

##### Céu 10 mensal

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<b>Céu</b>	66	63	49	47	48	43	43	47	49	64	66	66
<b>Sol</b>	34	37	51	53	52	57	57	53	51	36	34	34

##### Céu 14 mensal

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<b>Céu</b>	29	27	17	16	17	14	14	16	17	27	30	30
<b>Sol</b>	71	73	83	84	83	86	86	84	83	73	70	70

### 5.9 JANELA PEQUENA – POÇO COM REFLETÂNCIA DIFUSA 0,45 E ESPECULAR 0,45

#### 5.9.1 Iluminância por azimute mensal

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<b>0°</b>	725	586	1010	1001	921	710	737	993	1001	584	723	717
<b>90°</b>	622	585	939	730	671	555	577	726	931	584	621	612
<b>180°</b>	1023	586	718	914	843	852	883	907	714	585	1019	1012
<b>270°</b>	951	587	618	716	660	668	692	711	614	585	947	940

#### 5.9.2 Iluminância global mensal

	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
<b>Jan</b>	25	132	355	498	702	619	725	884	834	543	316	129	25
<b>Fev</b>	15	127	316	577	695	626	586	893	670	467	309	120	15
<b>Mar</b>	2	111	295	564	679	835	1010	893	559	483	289	110	2
<b>Abr</b>	0	92	256	389	572	835	1001	979	731	446	231	92	0
<b>Mai</b>	0	76	185	351	541	755	921	907	550	399	210	74	0
<b>Jun</b>	0	70	175	283	516	723	710	867	525	274	196	68	0
<b>Jul</b>	0	75	184	349	537	751	737	900	547	396	209	73	0
<b>Ago</b>	0	92	255	388	569	829	993	971	725	443	230	92	0
<b>Set</b>	2	111	293	559	674	767	1001	1292	555	479	287	109	2
<b>Out</b>	15	127	315	574	691	624	584	888	666	466	308	120	15
<b>Nov</b>	26	132	354	497	700	618	723	881	831	541	316	129	25
<b>Dez</b>	29	135	354	620	695	968	717	1004	824	550	315	131	29

#### 5.9.3 Iluminância por tipo de céu

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<b>Céu 1</b>	209	212	209	197	184	178	184	197	209	212	209	206
<b>Céu 10</b>	725	586	1010	1001	921	710	737	993	1001	584	723	717
<b>Céu 14</b>	652	408	1120	1166	1108	766	782	1153	1106	405	649	649

#### 5.9.4 Contribuição céu x sol

##### Céu 10 mensal



<b>2° andar</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>1° andar</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

## Céu 14

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<b>9° andar</b>	4473	1520	4488	3010	2844	1967	2012	2977	4431	1509	4447	4442
<b>8° andar</b>	674	1573	767	463	441	297	303	459	759	1557	671	666
<b>7° andar</b>	195	815	206	193	190	181	182	192	204	807	194	192
<b>6° andar</b>	206	763	245	199	195	184	186	197	243	756	205	203
<b>5° andar</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>4° andar</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>3° andar</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>2° andar</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>1° andar</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Iluminância por refletância  
Céu 10

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<b>0.3, 0.6</b>	714	751	974	984	913	984	1018	976	966	748	712	709
<b>0.45, 0.45</b>	725	586	1010	1001	921	710	737	993	1001	584	723	717
<b>0.9</b>	1498	1219	1335	915	828	743	775	908	1321	1211	1491	1475

## Céu 14

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<b>0.3, 0.6</b>	569	622	1001	1073	1025	1193	1214	1061	989	617	567	569
<b>0.45, 0.45</b>	652	408	1120	1166	1108	766	782	1153	1106	405	649	649
<b>0.9</b>	1916	1427	1644	1026	965	854	874	1015	1623	1413	1905	1903