

## **A influência da tipologia da janela na iluminação natural: O caso da Estação Antártica Comandante Ferraz**

**Marina Silva Tomé**

*Universidade Federal do Espírito Santo, Laboratório de Planejamento e Projeto, Vitória (ES), Brasil*  
[marina\\_tome@hotmail.com](mailto:marina_tome@hotmail.com)

**Daniela Pawelski Amaro Marins**

*Universidade Federal do Espírito Santo, Laboratório de Planejamento e Projeto, Vitória (ES), Brasil*  
[daniela.pawelski@gmail.com](mailto:daniela.pawelski@gmail.com)

**Cristina Engel de Alvarez**

*Universidade Federal do Espírito Santo, Laboratório de Planejamento e Projeto, Vitória (ES), Brasil*  
[cristina.engel@ufes.br](mailto:cristina.engel@ufes.br)

**Andréa Coelho Laranja**

*Universidade Federal do Espírito Santo, Laboratório de Planejamento e Projeto, Vitória (ES), Brasil*  
[andrea Coelho Laranja@gmail.com](mailto:andrea Coelho Laranja@gmail.com)

**RESUMO:** A iluminação natural é fundamental componente da qualidade do espaço interno das construções, e a escolha da forma e proporção das janelas destes espaços influencia diretamente no melhor uso desta fonte de energia. Isso torna-se especialmente importante em edificações na Antártica devido à trajetória solar. Assim, o objetivo desta pesquisa foi verificar a quantidade de luz natural disponibilizada pelas aberturas para as novas edificações da Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF), avaliando outros tipos de janelas que poderiam obter uma maior eficiência lumínica e fossem coerentes com o sistema construtivo adotado. Para realizar esta análise, foram determinados os formatos de janela a serem avaliados e adotado o software Relux Pro para executar os cálculos necessários. As simulações apontaram que a solução proposta no projeto original – com proporções mais verticais, não apresenta performance suficiente para atender às condições desejáveis de iluminação, tendo apresentado também o pior resultado quando comparada às demais aberturas sugeridas. Concluiu-se que a solução mais adequada para uma edificação antártica localizada na borda litorânea é a adoção de aberturas horizontais, permitindo o máximo de aproveitamento da luz natural, associado à necessária relação entre o ambiente interno e externo.

**Palavras chave** *iluminação natural, performance da janela, estação científica, iluminância.*

## 1. INTRODUÇÃO

Existe um grande número de estudos que procuram otimizar a relação da iluminação natural e o ambiente construído, entretanto, o contexto no qual o Continente Antártico se insere difere-se bastante dos centros urbanos onde esses estudos são normalmente desenvolvidos.

Conhecida como a “Terra dos Superlativos” por ser a região mais remota, mais estéril, mais desértica, mais ventosa e de mais alta superfície média do planeta (Alvarez, 1995), a Antártica apresenta características particulares que influenciam diretamente na obtenção de luz natural no ambiente interno, como sua trajetória solar com grandes diferenças na quantidade de horas de luz natural disponível nos períodos de verão e inverno, e o alto índice de radiação recebido (Montarroyos, 2015).

Atualmente, a Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF), pertencente ao Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR), encontra-se em processo de reconstrução visto que grande parte da antiga edificação foi destruída em um incêndio ocorrido em 2012. Para a reconstrução das novas edificações foi promovido um concurso de projetos e lançado um Termo de Referência contendo as principais orientações para o desenvolvimento do projeto (Montarroyos, 2015).

Embora as diretrizes estabelecidas pelo Termo terem buscado a proposição de exigências no âmbito da sustentabilidade para edificações mais eficientes, a realização de alguns estudos preliminares indicou que a abertura das janelas projetadas não alcançaria resultados satisfatórios relacionados à iluminação natural dos ambientes internos (Lima & Caram, 2015). Sabe-se que o apropriado formato de janela influencia diretamente na sua eficiência e quantidade de luz recebida (Acosta et al., 2016), e que a iluminância pode ser advinda de luz direta, quando o céu é visto do ponto de simulação, ou indireta, através das reflexões das superfícies existentes externamente.

Assim, como primeira aproximação ao tema abordado, o objetivo da pesquisa foi analisar o tipo de janela proposto nas novas edificações da Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF - Fig. 1), verificando a quantidade de luz natural disponibilizada pela abertura padrão e avaliando outros tipos, coerentes com o sistema construtivo adotado, que poderiam obter uma maior eficiência lumínica. Visto que as edificações ainda não foram construídas, os resultados permitem, eventualmente, a modificação do modelo de janela proposto, além de auxiliar em decisões futuras de projetos para edificações Antárticas que apresentem condições similares.



Figura 1. Maquete eletrônica da EACF  
Fonte: Arch Daily (2016)

## 1.1 Breve contextualização do local

A EACF foi construída na Península Keller, Ilha Rei George (62°05' S e 58°23' W), e encontra-se em uma área caracterizada por longos períodos de sol na abóbada celeste próximo ao solstício de verão, e por períodos curtos de trajetória solar no inverno (Montarroyos, 2015). Dessa forma, há uma grande diferença na quantidade de luz externa disponível durante o ano, gerando situações extremas e opostas a serem resolvidas por uma mesma abertura. Verifica-se, ainda, a diferença na refletância externa originada do solo, que devido à ausência de construções vizinhas, é a maior influência recebida pelo ambiente interno. Enquanto no verão o solo rochoso encontra-se exposto e apresenta uma tonalidade escura, no inverno a predominância da neve é a responsável por uma maior refletância devido a predominância da cor branca.

## 2. METODOLOGIA

Os programas de simulação de luz natural no espaço arquitetônico vêm ganhando importância no campo do planejamento das edificações devido ao fato da crescente preocupação em projetar ambientes confortáveis e energeticamente eficientes, existindo atualmente diversos programas com essa finalidade. Para esse estudo, foi selecionado o *software* RELUX PRO por ser um programa gratuito, apresentar confiabilidade e possibilitar a elaboração de gráficos e imagens, certificado pelo CIE (International Commission on Illumination) e por ser utilizado também em outros estudos recentes sobre eficiência energética (Maamari et al., 2006; YU et al., 2014).

Sabe-se que uso da luz diurna faz parte das recomendações de órgãos regulamentadores internacionais, tais como a IES (Illuminating Engineering Society) que sugere uma iluminância oriunda de fonte natural de 300 lux para escritórios, salas de aula e biblioteca em pelo menos 50% do tempo de ocupação do ano (Mangkuto et al., 2016). Assim, foi adotado o mesmo valor para a análise dos resultados.

### 2.1 Delimitação do objeto

Para a realização das simulações foram adotados os seguintes parâmetros: 1) dimensões do ambiente conforme a estrutura modular da Estação; 2) caracterização do ambiente como um local de trabalho, visto ser o espaço de maior permanência e com maior necessidade de iluminação adequada em termos quantitativos e qualitativos (Acosta et al., 2016); 3) adoção da mesma área de abertura conforme a janela projetada para as novas edificações da EACF.

O ambiente tipo possui dimensões de 2,14m de largura por 5,74m de profundidade e pé direito de 2,46m. Para a análise foi reproduzida a janela proposta para as novas edificações (Fig. 2) e propostos outros 3 modelos onde foi mantida a área da janela original. Os coeficientes de reflexões utilizados para os cálculos foram de 20% no piso, 70% no teto e 50% nas paredes. Estes valores foram definidos através da média da faixa de refletância útil para superfícies internas de um ambiente, disposto na normativa brasileira ABNT NBR 8.955-1.

Nas Figuras 2, 3, 4 e 5 estão representadas as vistas esquemáticas dos ambientes simulados com os quatro tipos de janelas seguindo as particularidades estabelecidas no projeto, ou

seja, a espessura das paredes externas e o vidro duplo para eficiência do isolamento térmico do edifício.

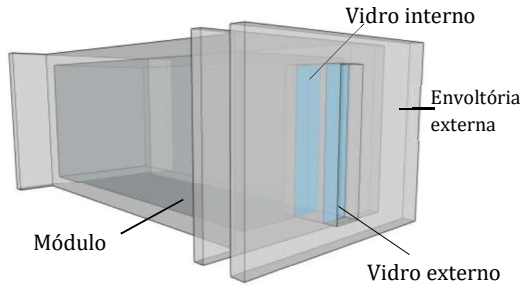


Figura 2. Representação da janela tipo 1 (projeto original para as novas edificações da EACF), de 221x48,3cm, 1,06m<sup>2</sup> e peitoril de 5cm

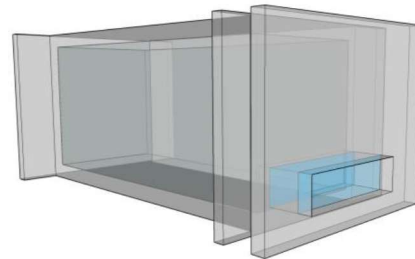


Figura 3. Representação da janela tipo 2, de 53x200cm, 1,06m<sup>2</sup> e peitoril de 10cm

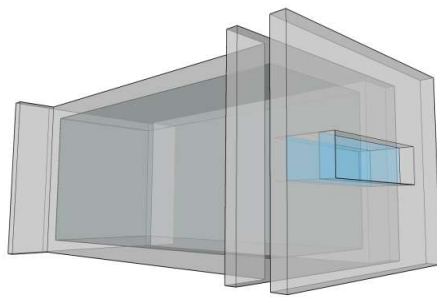


Figura 4. Representação da janela tipo 3, de 53x200cm, 1,06m<sup>2</sup> e peitoril de 100cm

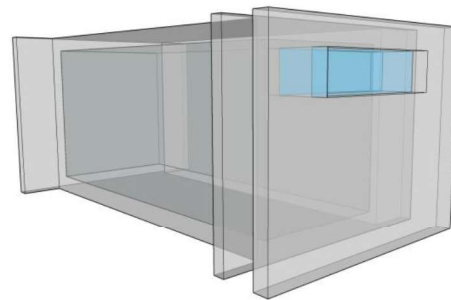


Figura 5. Representação da janela tipo 4, de 53x200cm, 1,06m<sup>2</sup> e peitoril de 180cm

Para efeito de simulação computacional foi feito um plano ortogonal (Fig. 6) da zona de avaliação do ambiente, a 75cm do piso conforme determina a ABNT NBR 8.955-1.

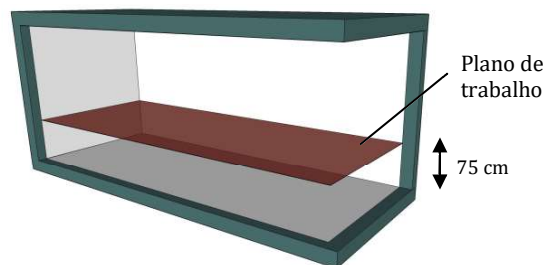


Figura 6. Representação do plano de trabalho

Para a realização da análise foi determinado o dia 21 de cada do ano, a fim de permitir o desenho do comportamento da entrada de luz natural nos ambientes internos, a performance obtida em cada tipo de janela e a análise dos solstícios de verão e inverno.

Foram selecionados horários para as medições da iluminância do ambiente interno que mapeassem o comportamento da luz natural ao longo de todo o ano, evidenciando assim a verdadeira contribuição da luz solar e, conseqüentemente, sua influência no desenvolvimento das atividades internas. Posteriormente, foi realizada a análise do horário de 13h00 apenas, pois ele representa a influência do sol na sua maior altitude. Isso possibilitou uma simplificação das análises e a obtenção de uma constante do potencial de cada janela.

A figura 7 representa o percurso do sol nas coordenadas geográficas da EACF. O desvio da hora de cálculo para aproximadamente 1h a menos representa o TST (“True Solar Time”). O programa de cálculo RELUX PRO converte a hora marcada usando as informações da latitude e longitude do local de implantação do projeto. Esse parâmetro determina o exato posicionamento do sol e a correta distribuição da luminância no céu.

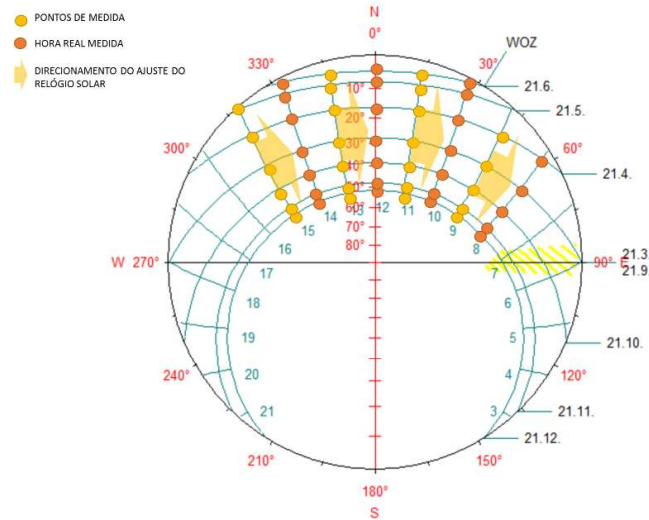


Figura 7. Mapa solar EACF, com a marcação dos pontos de medida – horários e meses do ano – e o deslocamento da hora legal para a hora real.

De acordo com os parâmetros CIE adotou-se o céu claro, o qual utiliza a luminância proveniente da radiação direta do céu azul, sem considerar a luz solar direta (CIE S011, 2003). Assim, os gráficos solares de iluminância média anual da EACF (gráfico 1) permitem analisar os diferentes comportamentos da luz natural dentro do ambiente ao longo do ano, e comparar os resultados obtidos na simulação dos 4 tipos de janelas avaliados.

## 2.2 Simulação computacional

O *Daylight Factor* também conhecido como Fator de Luz Diurna (FLD) ou Coeficiente de Luz do Dia é uma medida considerada adequada para ser utilizada na avaliação da qualidade da luz do dia em um ambiente. Ele descreve a proporção de iluminância do lado externo sob a iluminância do interior da construção, expressa em percentual. Quanto maior o FLD, mais luz natural está disponível no ambiente, sendo obtido a partir da seguinte equação:

$$FLD = 100 * E_{in} / E_{ext}$$

Onde,  $E_{in}$  é a iluminância dentro do ambiente num ponto fixo; e  $E_{ext}$  é a iluminância horizontal externa sob condições de céu nublado, conforme as normas CIE.

O FLD pode ser medido por um ponto específico ou expressos como uma média. Esta última é a média aritmética da soma dos valores do ponto de tomadas a uma altura de 0,75 m de uma malha que abrange a área total do ambiente.

O método de avaliação da performance lumínica deste trabalho utiliza o FLD expresso em média aritmética como parâmetro de medição. É um indicador que fornece resultados diretamente relacionados com a eficiência luminosa e de fácil manipulação e composição com outros indicadores, por se tratar de um valor numérico absoluto, sendo um método

também utilizado por outros autores, como Fontoynt et al. (2016). Segundo Fontoynt (2016) essa escolha pode ser justificada por ser uma abordagem simplificada que utiliza fatores de luz do dia em condições padronizadas para tipos de céus, de acordo com o CIE.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Coeficiente de luz natural no ambiente interno

A janela tipo 1 (gráf. 1) marca picos de entrada de luz natural na parte da manhã (9h00h) nos meses de fevereiro, março e abril, e novamente nos meses de agosto e setembro, ilustrando a entrada maior de luz natural nos equinócios quando o sol fica mais próximo da terra e a altitude solar varia entre 20 e 40 graus.

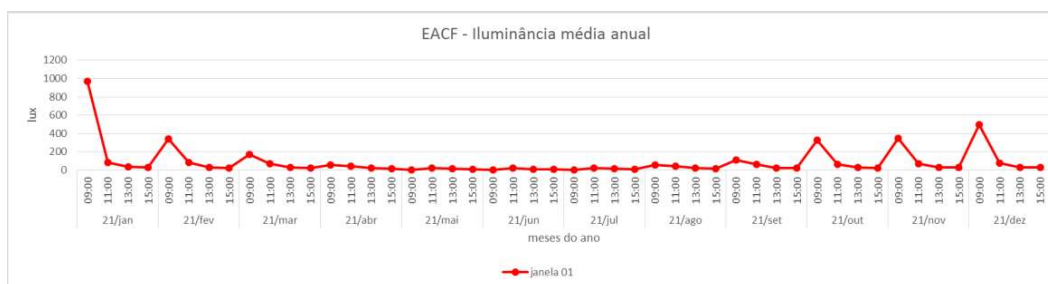


Gráfico 1. Iluminância média anual da EACF em 4 horários do dia referente à janela tipo 1.

A janela tipo 2 (gráf. 2) apresenta uma variável inexpressiva em quantitativo de luz na iluminância natural no ambiente interno anualmente. No gráfico podem ser visualizados valores entre 0 e 8lux, contudo, o comportamento da luz ocorre da mesma maneira que nas demais aberturas, com um nível maior no inverno e menor no verão. O posicionamento da superfície de trabalho acima da janela influencia diretamente nos baixos valores de cálculo.

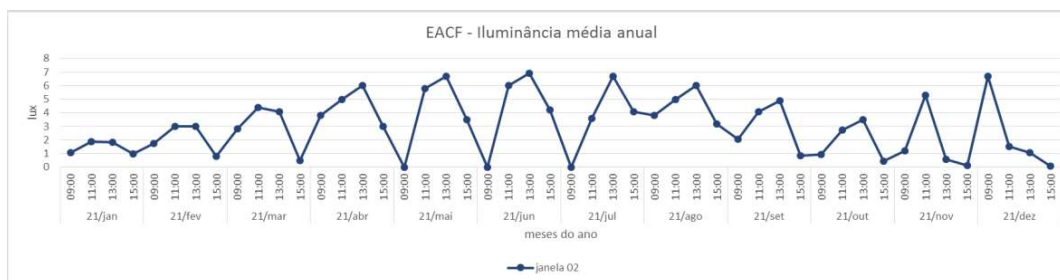


Gráfico 2. Iluminância média anual na EACF em 4 horários do dia referente à janela tipo 2.

A janela tipo 03 (gráf. 3) apresenta um gráfico constante, com apenas 2 picos de luz natural em fevereiro e setembro, que denotam o momento de entrada da luz direta do raio solar na abertura. Nos outros momentos a curva anual configura-se constante e com valores médios de 90lux, uma iluminação suficiente para circulação, identificação do espaço, e a possibilidade de desenvolvimentos de atividades de não-leitura.

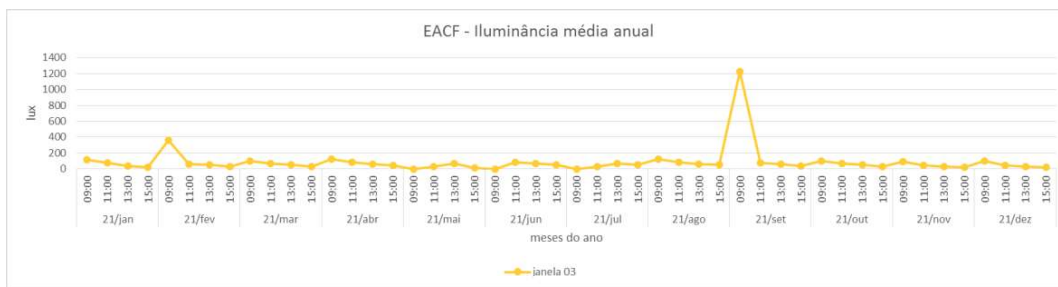


Gráfico 3. Iluminância média anual na EACF em 4 horários do dia referente à janela tipo 3.

A janela tipo 04 (gráf. 4) apresenta repetidos picos de luz distribuídos ao longo do período da manhã (às 9h00h) devido à orientação da fachada. Os resultados apontam valores médios mais baixo que a janela 3, justificados por sua localização elevada na fachada.

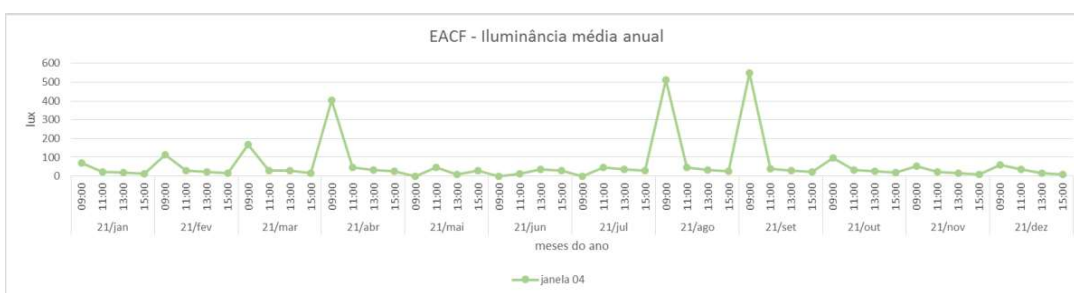


Gráfico 4. Iluminância média anual da EACF em 4 horários do dia referente à janela tipo 4.

Com a visão geral das 4 janelas (gráf. 5) e seu respectivo potencial de entrada de luz natural, é possível afirmar que a fachada leste permite a entrada de luz solar direta em diferentes períodos do ano dependendo da escolha da abertura. Esta compilação de todas as curvas e de todas as janelas, representa uma linha complexa de valores, que são diretamente influenciados e mascarados pelos picos de iluminação quando da entrada da luz solar direta pelas aberturas testadas.

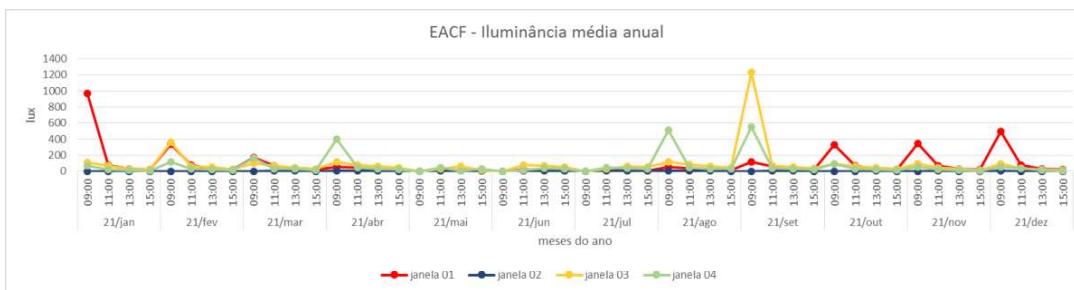


Gráfico 05. Iluminância média anual da EACF em 4 horários do dia referente a todas as janelas.

Por outro lado, a visualização da trajetória solar durante todo o ano nas 4 possibilidades de janela apresenta a vulnerabilidade do espaço em referência à iluminação natural. Isso significa que estas aberturas, mesmo que contendo a mesma área, proporcionam diferentes situações lumínicas no espaço interno, enfatizando assim a importância dos estudos aprofundados desta escolha.

Os resultados do gráfico 6, demonstram a performance da entrada de luz natural no ambiente e seu comportamento nas 4 estações do ano. São representadas as mesmas informações dos gráficos anuais anteriores, porém com a simulação realizada no horário de

13h00h apenas. Essa escolha ocorreu por ele ser o horário que mais se aproxima com a iluminância média no ambiente e por não apresentar picos de iluminação, que poderiam distorcer a curva representativa.

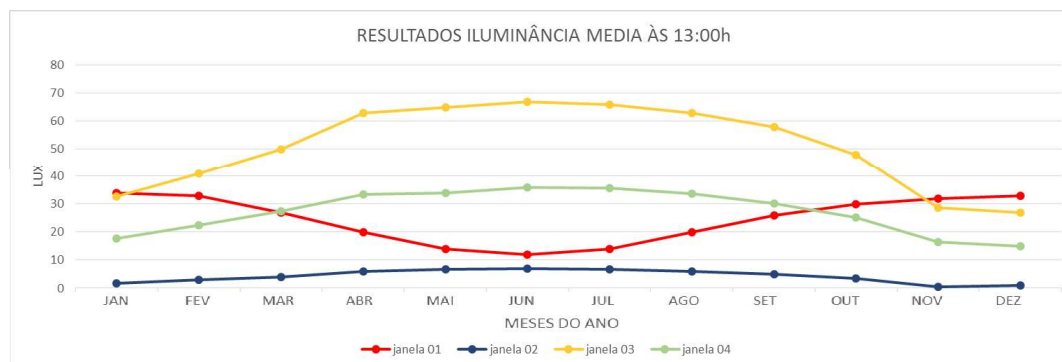


Gráfico 06. Iluminância média do ambiente interno às 13h00.

A janela tipo 01 se comporta de forma inversa de todas as outras janelas. Enquanto no verão ela permite a entrada de maior quantidade de luz, no inverno, quando o sol está posicionado com altitudes mais baixas, o índice de iluminância dentro do ambiente verificado reduz de forma significativa e funciona inversamente proporcional à janela 03. O mínimo atingido ocorre no mês de junho com uma média de apenas 12lux. Após a passagem do solstício de inverno a iluminância aumenta de forma suave com a mudança dos meses.

A janela tipo 02 apresenta valores de iluminância médios baixos e apenas uma pequena variação da entrada de luz natural nas diferentes estações do ano. Esse resultado ocorre devido a janela estar localizada abaixo do plano de trabalho estabelecido, resultando em valores de iluminância não significativos.

Pode-se afirmar que dentro das condições estabelecidas, a janela tipo 03 foi a que obteve o melhor resultado, pois apresentou o maior fator de desempenho durante o inverno, além de ter obtido o valor de 67lux médios durante o solstício. Esse valor representa a quantidade de luz suficiente para circulação e identificação dos objetos internamente e até valores apropriados ao lazer e relaxamento com alguma atividade (ABNT NBR 8.955-1). Ressalta-se que o inverno é um período que apresenta dias com pouca luminosidade devido à baixa altitude solar e por receber luz natural por apenas 3 horas, portanto, esse resultado apresenta uma grande melhora se comparado às demais aberturas.

A janela de tipo 04 apresenta uma performance semelhante à janela de tipo 03, porém, por estar mais distante do plano de trabalho, a quantidade de lux recebida torna-se menor. Nota-se que os valores se modificam conforme a estação do ano, semelhantemente ao comportamento das janelas tipo 02 e 03.

### 3.2 Distribuição da luz natural

Os gráficos 6, 7, 8 e 9, respectivamente, representam a seção transversal do ambiente segundo os diferentes tipos de janela, demonstrando o comportamento da distribuição da entrada de luz natural em cada um deles. As variações de luz direta e indireta estão representadas nas cores cinza claro e cinza escuro, respectivamente.

Nota-se que a janela de tipo 01 (gráfico 6) apresentou um índice relevante de luz natural próximo à abertura e, a partir de 1m de distância, a iluminação natural fica abaixo de 40 lux,



contando apenas com uma curva decrescente de luz direta com índices inexpressivos após 2m de distância da janela. Neste caso há também pouca luz indireta, assim, as superfícies externas e internas que geram reflexão representam pouca relação com a performance da entrada e distribuição da luz natural na superfície de trabalho do ambiente.

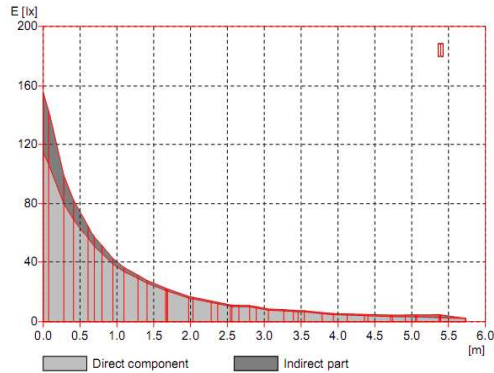


Gráfico 6: Seção transversal do ambiente x fator de luz do dia (FLD) para a janela Tipo 01- vertical.

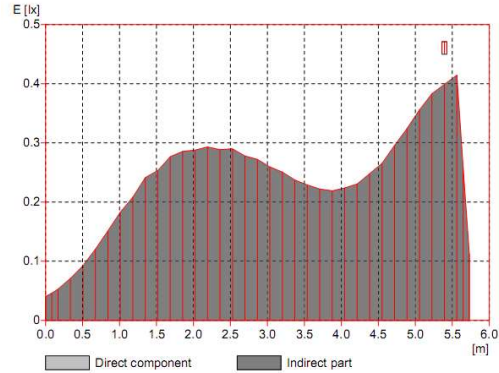


Gráfico 7: Seção transversal do ambiente x Fator de Luz do Dia (FLD) para a janela Tipo 02 -horizontal localizada na parte inferior da fachada

No gráfico 7, apesar dos índices próximos à abertura serem menores em comparação ao gráfico 6, a porção de luz indireta recebida das reflexões tanto das superfícies externas como internas foi superior e com maior influência na distribuição da luz natural no interior do ambiente, elevando o índice de distribuição nas áreas mais distantes da abertura. Vale ressaltar que os baixos valores de iluminância deste gráfico estão diretamente relacionados com o posicionamento da abertura abaixo do plano de trabalho.

O gráfico 8, referente à janela tipo 03, demonstra que essa abertura permite uma boa distribuição lumínica no interior do ambiente. A suave curva, mesmo que decrescente, denota ao espaço um bom nível de iluminância, atingindo valores em lux bem superiores às outras aberturas (ver eixo y dos gráficos). Assim, o fator de luz diurna direta apresentou-se superior em comparação aos outros tipos, influenciando diretamente na quantidade de luz recebida no ambiente.

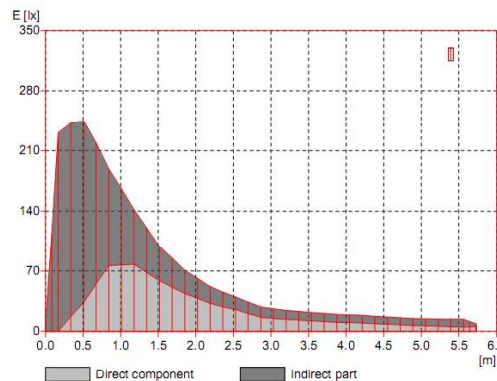


Gráfico 8: Seção transversal do ambiente x Fator de Luz do Dia (FLD) para a janela Tipo 03 -horizontal peitoril de 1,1m.

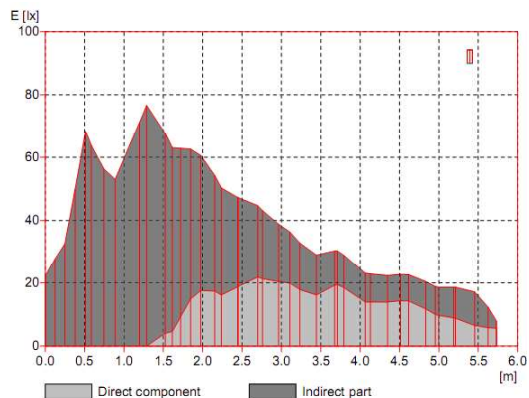


Gráfico 9: Seção transversal do ambiente x Fator de Luz do Dia (FLD) para a janela Tipo 04 -horizontal posicionada na parte superior do ambiente.

A janela tipo 04 representada no gráfico 9 distribui a luz natural para o fundo do ambiente interno mantendo um valor de 20 lux até 5,5m de profundidade. O espaço se beneficia de luz indireta refletida das próprias superfícies internas. Com a análise do gráfico é possível afirmar que apesar de apresentar valores baixos, a quantidade de lux recebida é bem distribuída.

#### 4. CONCLUSÃO

Nota-se que as 3 tipologias de janelas com forma horizontal apresentam dados mais eficientes para a situação geográfica da Antártica visto que elas permitem uma maior entrada de luz natural por mais tempo do dia. O gráfico 6, nos resultados, demonstra essa característica e denota a este tipo de abertura o fator de compensação entre a ausência de luz no inverno e a luz abundante do verão. Através dessa comparação é possível atribuir o comportamento da luz à geometria e proporção da janela. Como consequência da abertura se posicionar ao longo do ambiente, ela permite a entrada da luz natural priorizando as altitudes mais baixas, que, como já citado, é uma característica fundamental da Antártica.

Escolher aberturas que favorecem e controlem a entrada de luz natural por um período de tempo maior é fator fundamental no processo de projeto. Permitir uma maior relação entre o ambiente exterior e o interior auxilia na redução das tensões comuns em áreas inóspitas, especialmente na Península Keller, cujo usufruto da paisagem exuberante é privilégio de poucos.

#### REFERÊNCIAS

- Acosta, I., Campano M.A., Molina J. F. "Window Design in Architecture: Analysis of Energy Savings for Lighting and Visual Comfort in Residential Spaces." *Applied Energy*, Sevilla, v. 168, p. 493–506. 2016.
- Alvarez, C. E. de. *Arquitetura na Antártica: ênfase nas edificações brasileiras em madeira*. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAU/USP), São Paulo, 1995.
- CIE S011, 2003. International Commission of Illumination. Disponível em: <<http://www.cie.co.at/index.php/Publications>>. Acesso em: 24/02/2016
- Fontoynt, M., Ramanarivo K., Soreze T., Fernez G., Skov K. G. "Economic Feasibility of Maximising Daylighting of a Standard Office Building with Efficient Electric Lighting." *Energy and Buildings*, Kobenhavn, v. 110, p. 435–442. 2016.
- Lima K.M. & Caram R.M. "Avaliação de sistemas de janela para suporte a decisões de projeto quanto ao equilíbrio de ganhos de luz e calor". *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 15, n. 3, p. 117 – 113. 2015.
- Maamari F., Fontoynt M., Adra M. "Application of the CIE test to assess the accuracy of lighting computer programs". *Energy and Buildings*, Vaulx-en-ValinCedex, v. 38, p. 869-877. 2006.
- Mangkuto, R. A., Mardiyah R., Asri A.D. "Design Optimisation for Window Size, Orientation, and Wall Reflectance with Regard to Various Daylight Metrics and Lighting Energy Demand: A Case Study of Buildings in the Tropics." *Applied Energy*, Bandung, v. 164, p. 211–219. 2016.
- Montarroyos, D. C. G. *Indicadores de sustentabilidade para edificações na Antártica*. 2015. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2015.