

NBR 15.575 | DESEMPENHO LUMÍNICO

Projetos que passam nas simulações, mas falham nas medições. O que deu errado?

Dois métodos, duas métricas e resultados incompatíveis. Há um grande 'elefante na sala' do mercado imobiliário, e ninguém está falando sobre isso.

Incorporadores frequentemente se deparam com discrepâncias significativas nos resultados de desempenho lumínico ao aplicar os dois métodos previstos na NBR 15.575: simulações computacionais e medições in loco.

Não raro, empreendimentos que atendem aos critérios das simulações durante o projeto, falham nas medições na obra pronta. Entendemos que isso ocorre devido a inadequações técnicas na redação da primeira versão da Norma de Desempenho (2013), que preconiza o **uso de uma métrica defasada e inadequada para o método das medições, o FLD, ou Fator da Luz do Dia**, que perdura até hoje.

Como consequência, os estudos de desempenho lumínico através das medições in loco continuam sendo produzidos sem um necessário questionamento crítico. Essa situação naturalmente gera no mercado uma enorme insegurança jurídica, e a incerteza sobre a real conformidade dos empreendimentos.

Por isso, apontamos o "elefante na sala", através deste artigo, que analisa criticamente as contradições entre os dois métodos, explicando sua incompatibilidade e a impossibilidade de se comparar seus resultados.

Esperamos assim, contribuir com uma reflexão crítica sobre este tema, necessária a consolidação da confiança do mercado na Norma de Desempenho.



Por que os resultados não batem?

A NBR 15.575 – Norma de Desempenho prevê 2 métodos para demonstração de atendimento aos requisitos de Desempenho Lumínico (luz natural).

- **Método das simulações:** Consiste em se prever os níveis de luz natural absolutos em lux, através de simulações computacionais, realizadas na etapa de projeto, considerando a configuração do empreendimento que será executado.
- **Método das medições in loco:** Envolve medições de luz natural na construção concluída, comparando-se a iluminância interna com a externa, através da **métrica Fator da Luz do dia (FLD)**, detalhada mais adiante.

Em teoria, os resultados obtidos nas simulações durante o projeto deveriam ser confirmados nas medições in loco após a construção. Mas na prática isso nem sempre acontece, e não é incomum vermos projetos que passam nas simulações, mas falham nas medições in loco.

Atribuímos este fenômeno a 3 principais fatores, que desenvolveremos neste artigo:

1. **Cada método possui métricas e variáveis completamente distintas.** Assim, tentar encontrar alguma lógica comparativa entre seus resultados é como querer comparar ‘maças com bananas’;
2. **A métrica do Fator da luz do dia (FLD) não é compatível com exercícios de medições in loco,** já que se utiliza de um modelo de céu teórico e padronizado;
3. **É impossível assegurar que as condições climáticas** durante as medições estejam de acordo com as condições exigidas pela norma, resultando na maioria das vezes, em resultados imprecisos e pouco confiáveis.



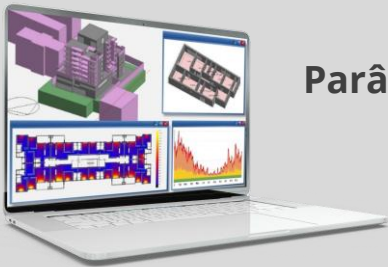
1. Os métodos em detalhe

1.1 Método da Simulação

As simulações de desempenho lumínico são realizadas através de softwares que modelam como a luz natural entra e é refletida nos ambientes, levando em consideração a geometria dos espaços, os materiais utilizados, e as condições externas com base em um arquivo climático da localidade.

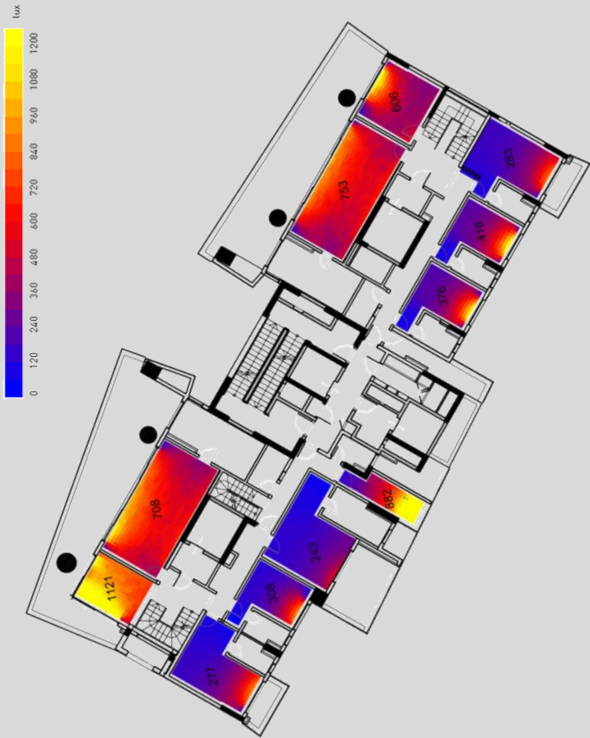
Os resultados das simulações são dados em lux absolutos, indicando a quantidade de luz incidente em um plano horizontal a 0,75 m acima do nível do piso.

O simulador deve controlar exatamente os horários (e consequentemente a posição solar) e a nebulosidade em seus modelos.



Parâmetros de simulação

DATAS	21 de março e 21 de setembro (equinócios)
HORÁRIOS	9:30h e 15:30h
CONDIÇÃO DE CÉU	50% de nebulosidade
MÉTRICA (Nível mínimo)	≥ 60 lux no centro dos ambientes: salas de estar, dormitórios, copa/cozinha, áreas de serviço.



Isa Brooklin, da Nortis. Simulação de desempenho lumínico por Ca2.

1.2 Método das medições in loco

O método das medições in loco utiliza como métrica o **FLD**, ou **Fator de Luz Dia**. Ao contrário das simulações, que usa valores absolutos de luz do dia em lux, o FLD é dado em porcentagem, calculado com base na relação entre a quantidade de luz natural que entra no ambiente e a quantidade de luz disponível do céu no mesmo instante.

Deve-se determinar, em lux, a quantidade de luz disponível no exterior do edifício (iluminância externa), ao mesmo tempo em que mede-se, também em lux, a quantidade de luz disponível no interior dos ambientes (a 0,75m de altura do piso). Divide-se a segunda pela primeira, e temos o FLD (%).

Segundo a Norma, as medições devem ser realizadas mediante um cenário com 50% ou mais de nebulosidade, e com ausência completa de luz solar direta durante as medições. Ou seja, a Norma considera **apenas a luz difusa de um céu nublado estável, com nebulosidade pré-determinada**.

O método das medições depende portanto de um controle rigoroso das condições reais do céu no momento das aferições, que podem variar rapidamente devido a movimentação do sol, alterações na nebulosidade, e mudanças na iluminância do céu, impossíveis de se controlar.



Parâmetros de medição

DATAS	Não estipula datas
HORÁRIOS	Qualquer horário entre 9.00h e 15.00h
CONDIÇÃO DE CÉU	> 50% de nebulosidade Sem incidência de Sol direta
MÉTRICA (Nível mínimo)	FLD $\geq$ 0,5% no centro dos ambientes: salas de estar, dormitórios, copa/cozinha, áreas de serviço.

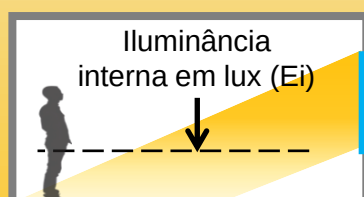
FLD (%) = E_i / E_e

Sendo:

Ei: Iluminância interna em lux

Ee: Iluminância externa em lux

FLD (%) =



÷

Iluminância externa
em lux (Ee)



1.3 Comparando os parâmetros climáticos

Toda norma baseada em desempenho, como a NBR 15.575, deve padronizar suas condições de ensaio para fazer sentido. Caso contrário, os resultados tornam-se imprecisos e não traduzem o desempenho real do empreendimento. Portanto, para que os resultados dos dois métodos pudessem ser comparados, as medições in loco, deveriam, em teoria, ser realizadas sob as mesmas condições climáticas controladas e estáveis preconizadas pelo método da simulação. Mas na realidade, as medições acabam sempre sujeitas às condições reais do céu no momento da aferição, variando em termos de nebulosidade, iluminância externa e posição solar. Na prática, fica evidente que essas variáveis **nunca irão coincidir**.

Para que os resultados pudessem ser diretamente comparáveis aos das simulações, seria necessário que o consultor aguardasse até o dia 21 de março e, depois, até o dia 21 de setembro, realizando medições completas às 9:30h e às 15:30h em ponto, em cada uma dessas datas, simultaneamente para todos os ambientes do empreendimento.

Na prática, isso tornaria a entrega do laudo inviável, levando pelo menos seis meses ou mais para ser concluído, e envolveria recursos humanos

impraticáveis.

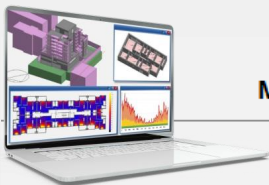
Ainda que se consiga a improvável proeza de realizar as medições nas mesmas datas e horários preconizados pelo método da simulação, seu parâmetro da nebulosidade do céu, igual a 50%, deveria também ocorrer ao longo de todo o processo de medições, de forma precisa e estável, o que é ainda mais improvável, já que as condições climáticas podem variar bastante em pouco tempo, alterando completamente a dinâmica da luz nos espaços.

Assim, variações em datas e horários, ou nebulosidade, alterariam toda dinâmica da luz natural, impossibilitando uma equivalência entre os resultados.

A incompatibilidade entre os dois métodos se deve, portanto, não apenas às diferenças nas métricas utilizadas, mas também à **impossibilidade prática de se replicar as mesmas condições climáticas das simulações, nos momentos das medições**.

Mas mesmo sendo incompatível com o método das simulações, determinar o FLD em medições in loco pode ser considerado confiável?

É o que veremos a seguir.

 MÉTODO DAS SIMULAÇÕES	MÉTODO DAS MEDIÇÕES EM FLD 
Datas padronizadas 21 de março e 21 de setembro (equinócios)	Datas de livre escolha ! Não há parâmetros de datas
Horários padronizados 9:30h e 15:30h	Horários de livre escolha ! Entre 9.00h e 15.00h
Condição de céu fixa 50% de nebulosidade exatadamente. Sem incidência de Sol direto	Condição de céu muito ampla 50% ou mais de nebulosidade. Sem incidência de Sol direto

2. Os parâmetros climáticos do método das medições

Como vimos, o Fator da Luz do Dia (FLD) é uma métrica relativa, que expressa a relação entre a iluminação interna e a externa **sob um céu majoritariamente nublado e sem a incidência direta de luz solar**. No contexto da Norma de Desempenho, em seu método das medições in loco para cálculo do FLD, considera-se céu com 50% ou mais de nebulosidade, estável e constante durante todo o processo de medições, e ausência de luz solar direta (medições a sombra).

Assim, é necessário questionar:

*Como é possível conseguir as mesmas condições climáticas preconizadas pela Norma, no momento das medições, **de maneira precisa, constante e estável?***

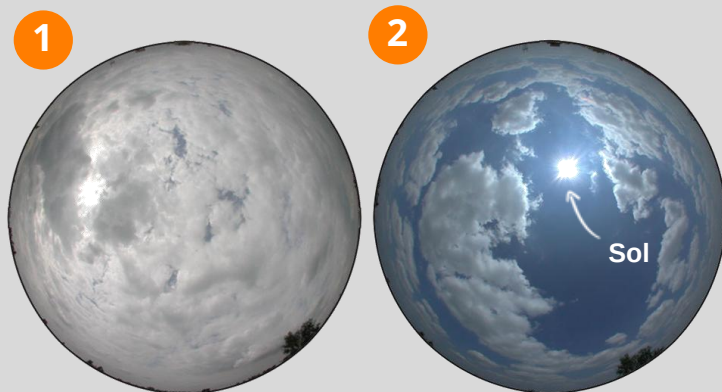
É aí justamente onde está um dos principais problemas deste método: **Isso não é possível na prática**. Medir a iluminância externa e interna com um luxímetro, para se aferir de forma coerente o FLD na prática, depende

exclusivamente das condições reais do céu no momento da medição, que costumam diferir da teoria, devido a 2 principais fatores:

(1) Céus nublados, na prática, podem apresentar incidência luz solar direta

O FLD é uma métrica pensada apenas para condições de céu densamente nublados, e por isso, a ocorrência de luz solar direta é vedada sob o método das medições. Na prática, é altamente improvável que essas condições estejam rigorosamente presentes ao longo de todo o processo de aferição de um empreendimento, uma vez que a nebulosidade e a posição do Sol variam constantemente ao longo do dia, comprometendo os resultados.

Se a iluminância externa (E_e) for medida sob luz solar direta, enquanto a interna (E_i) ocorre apenas com luz difusa, o FLD será menor, dificultando o atendimento normativo, já que o divisor na equação $FLD (\%) = (E_i/E_e)$ será maior. Por outro lado, se a luz direta incidir internamente (E_i) mas não externamente (E_e), o FLD será artificialmente elevado, tornando essa inconsistência inevitável na prática.



(1) Céu totalmente encoberto, onde não se tem a visão do Sol

(2) Céu com 50% de nebulosidade, que permite a visão do Sol

Ao lado vemos fotografias olho de peixe para duas condições de céu: (1) Céu totalmente encoberto, e (2) Céu com 50% de nebulosidade, conforme preconizado pela Norma.

Vemos que, mesmo quando o céu está encoberto por nuvens, o Sol pode estar visível e assim elevar desproporcionalmente os resultados das medições, sejam elas internas ou externas. A posição do Sol também afeta as medições, tornando impossível garantir que elas reflitam uma situação idêntica à descrita para este método.

Fonte: <https://andrewmarsh.com/articles/2019/sky-distribution/>

(2) A nebulosidade não descreve por completo as características de céu.

Nem todo céu com 50% ou mais de nebulosidade apresenta a mesma dinâmica de luz natural.

Para entender melhor, é essencial conhecer a norma que define os diferentes tipos de céu e suas características. A Comissão Internacional de Iluminação (CIE) normatizou as variações dos céus na ISO/CIE DIS 15469:2004, subdividindo-os em 15 tipos com base na nebulosidade, presença ou ausência do Sol e na distribuição da luminância. Essa classificação foi feita por meio de medições em diversas partes do mundo, resultando nos 15 modelos típicos de céu. Focaremos nos modelos de céu encoberto e

intermediário (CIE 1 a 5), que têm nebulosidade maior ou igual a 50%, conforme exigido pelo método das medições. Como vemos, eles apresentam dinâmicas de distribuição de luz sensivelmente distintas.

Assim, ainda que os parâmetros de céu do método das medições pareçam padronizados em teoria, na prática eles acabam por permitir aferições perante uma diversidade de céus com características variáveis, dentro da mesma faixa de nebulosidade. Por isso, concluímos que apenas a % de nebulosidade não representa adequadamente a distribuição de iluminância, gerando discrepâncias nos resultados. Além do mais, nuvens em movimento causam variações imprevisíveis na luz difusa e direta, alterando rapidamente os resultados.

Variações de céu encoberto e intermediário

Imagens tipo 'olho de peixe' dos diferentes encobertos e intermediários padronizados pelo CIE



CIE 1: Céu encoberto com grande gradiente entre luminosidade zenital e de horizonte. Nebulosidade entre 85-100%. A luz solar direta pode ser presente em algumas áreas, mas com uma luminância uniforme e suave ao longo do céu.

CIE 2: Céu encoberto com grande gradiente entre luminosidade zenital e de horizonte, e ligeiro aumento de brilho próximo ao Sol. Nebulosidade entre 70-90%. Há presença de luz solar direta, com uma suave da luminância ao redor dessa do Sol.

CIE 3: Céu intermediário com maior uniformidade zenital e gradação uniforme entre o zênite e o horizonte.

Nebulosidade entre 50-70%. O céu é parcialmente claro, com áreas de luz solar direta intercaladas com luminosidade difusa.

CIE 4: Céu intermediário com gradação suave e uniforme entre o zênite e o horizonte e aumento de brilho próximo ao Sol. Nebulosidade entre 40-60%. O céu apresenta luz solar direta, com uma distribuição suave da luminância mais intensa nas proximidades.

CIE 5: Céu intermediário, parcialmente nublado com transição suave de luminosidade e aumento de brilho ao redor do sol. Nebulosidade entre 30-50%. A luz solar direta está presente, com uma distribuição gradual de luminância.

Fonte: RODRIGUEZ, Ana Garcia; *et al.* 'Photosynthetic Active Radiation, Solar Irradiance and the CIE Standard Sky Classification', 2020. Research Group Solar and Wind Feasibility Technologies (SWIFT), Electromechanical Engineering Department, Universidad de Burgos, Espanha. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/22/8007>

3. Inconsistências práticas nas condições de ensaio das medições

3.1. A condições de céu não são padronizadas na prática

Como vimos, para serem válidas, as medições in loco com a métrica FLD devem seguir as condições climáticas previstas na Norma:

- Nebulosidade acima de 50%;
- Ausência de luz solar direta.

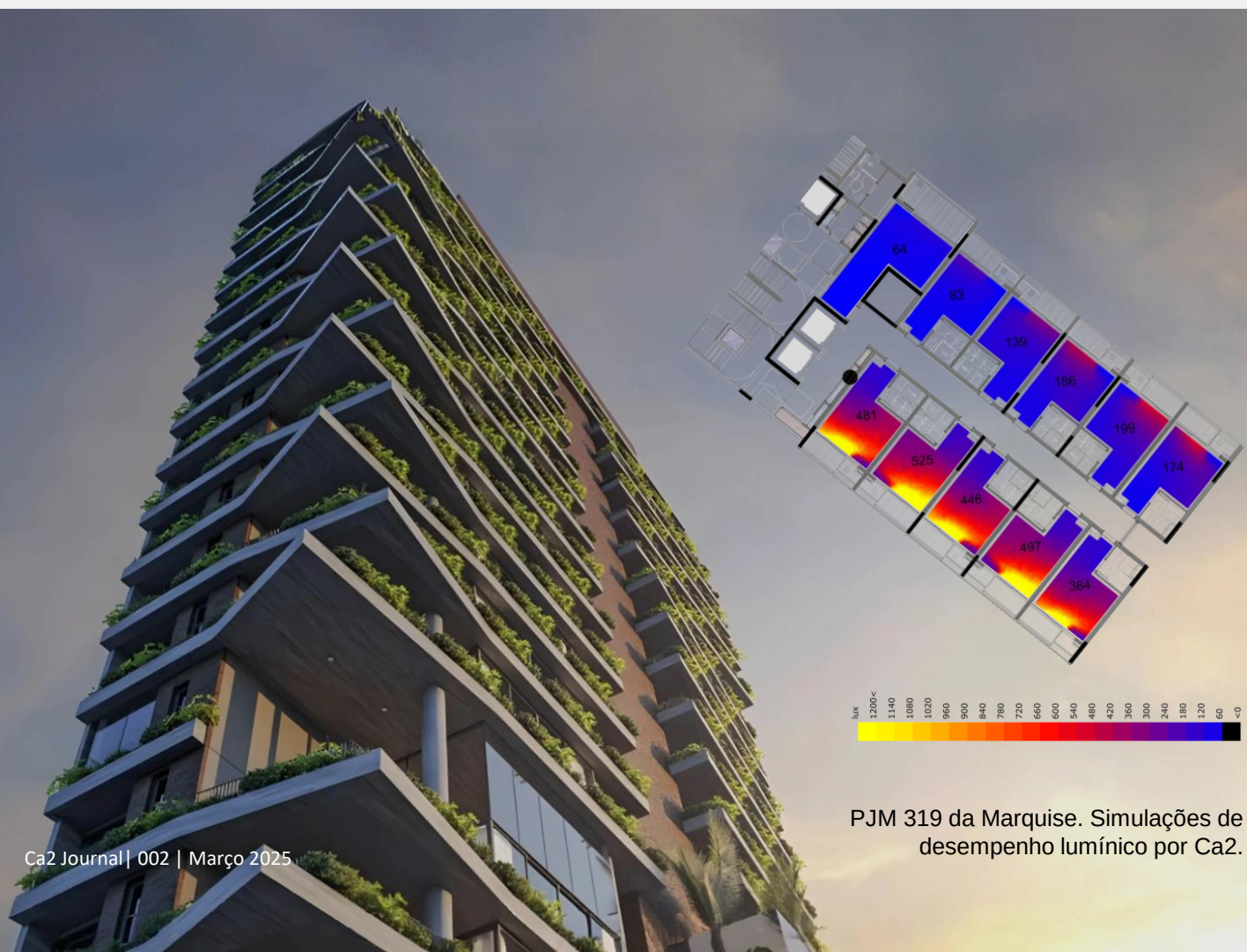
Esses critérios, porém, são imprecisos, pois abrangem uma ampla variação de nebulosidade (50% à 100%), sem considerar suas diferenças na difusão e distribuição da luz. Além disso, **são incompletos, pois não definem uma luminância mínima (brilho, ou claridade do céu)** para o céu adotado, permitindo uma grande variação nas condições reais de medição.

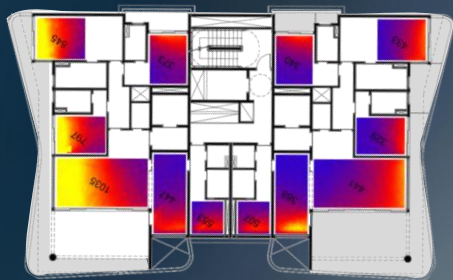
Como vimos, toda norma baseada em desempenho,

como a NBR 15.575, deve padronizar suas condições de ensaio. Caso contrário, os resultados tornam-se imprecisos e não traduzem o desempenho real. Atualmente, o método das medições padroniza as condições no papel, mas não na prática.

Ao deixar a nebulosidade em aberto e ao não estabelecer uma luminância mínima de céu, a Norma permite medições sob cenários extremamente variáveis. Sem um critério fixo, nenhum ensaio está correto, ao mesmo tempo em que todos podem ser considerados corretos.

Para evidenciar o impacto das imprecisões no texto atual da Norma, propomos aqui alguns exercícios simples:





Ibiatã, da Setin. Simulações de desempenho lumínico por Ca2.

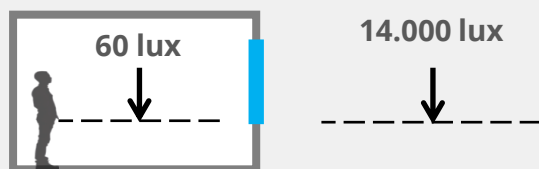
Exercício 01:

Consideremos que a iluminância no interior de um ambiente foi determinada através de medição em 60 lux (Ei). Como a iluminância externa não é especificada pela Norma, podemos assumir um valor típico para São Paulo com nebulosidade média, e iluminância de cerca de 14.000 lux (Ee).

Teremos então:

$$\text{FLD (\%)} = (E_i/E_e)$$

$$\text{FLD (\%)} = (60/14.000) = 0,43\%$$



✓ **SIMULAÇÕES** X **MEDIÇÕES** ✗
60 lux = 60 lux

Sob as condições climáticas descritas (iluminância externa de 14.000 lux), o valor encontrado internamente (60 lux) é insuficiente para demonstrar atendimento em salas de estar, dormitórios, copa e cozinhas, e áreas de serviço, já que a Norma exige $\text{FLD} \geq 0,5\%$.

Repare a primeira inconsistência:

Os mesmos 60 lux que satisfizeram os requisitos da simulação, não são suficientes para atender ao método das medições. Em uma condição externa de 14.000 lux, seriam necessários 70 lux no ambiente para se chegar a um $\text{FLD} = 0,5\%$.

Este é um exemplo clássico de projeto que passa nas simulações mas falha nas medições, devido à inexistência de parâmetros padronizados de iluminância de céu.

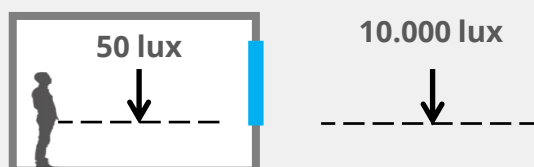
Exercício 02:

Em um projeto, as simulações computacionais indicaram uma iluminância interna de 50 lux, insuficiente para atender à Norma. Após a construção, medições in loco foram feitas sob um céu com iluminância externa de 10.000 lux (Ee), lembrando que a o método das medições não especifica esse parâmetro.

O luxímetro registrou uma iluminância interna (Ei) de 50 lux, resultando em um FLD de 0,5%, valor suficiente para atender ao método das medições, mas inferior ao necessário para cumprir com o método das simulações. Neste caso, o projeto falharia nas simulações, mas passaria no método das medições.

$$\text{FLD (\%)} = (E_i/E_e)$$

$$\text{FLD (\%)} = (50/10.000) = 0,50\%$$



❌ SIMULAÇÕES X **MEDIÇÕES** **✅**
60 lux > **⚠️ 50 lux**

Exercício 03:

Ainda que o método das medições determine que o luxímetro não deve receber luz solar direta, na prática, sabemos que é virtualmente impossível replicar estas condições. Assim, não é incomum vermos medições em situação de nebulosidade, mas com alguma luz solar direta. Vejamos neste exercício, o que acontece quando o luxímetro está sujeito à luz solar direta.

Primeiramente, imaginemos que a medição de iluminância externa foi realizada com céu parcialmente nublado (50% ou mais), porém com incidência direta do Sol. Em São Paulo, esse nível pode superar os 70.000 lux.

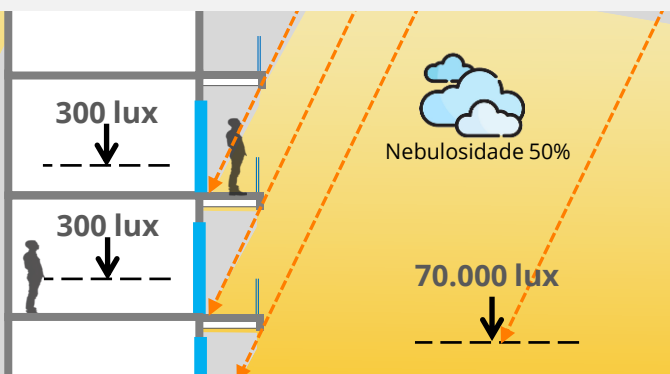
Imaginemos que não havia incidência direta de Sol no luxímetro no momento das medições internas, que indicaram 300 lux.

Repare que 300 lux é 5 vezes mais do que o valor mínimo estipulado pelo método das simulações (60 lux). No entanto, devido ao fato de haver luz solar direta nas medições externas, este valor não é suficiente para atender ao método das medições. Vale ressaltar que 300 lux é um excelente nível para quartos, salas e copas, mas insuficiente para passar nas medições, o que é um enorme contrassenso.

$$\text{FLD (\%)} = (E_i/E_e)$$

$$\text{FLD (\%)} = (300/70.000) = 0,43\%$$

✅ SIMULAÇÕES X **MEDIÇÕES** **❌**
60 lux < **⚠️ 300 lux**



3.2. A posição do Sol não é padronizada na prática

Outra grande inconsistência presente no método das medições reside no fato dele não especificar as datas e horários exatos em que as medições devem ocorrer. Como vimos, mesmo céus encobertos e intermediários na prática sofrerão influência da posição do Sol no momento das medições.

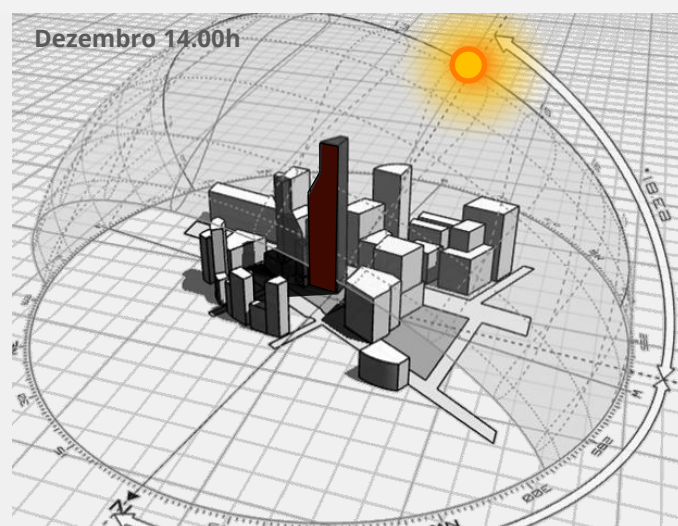
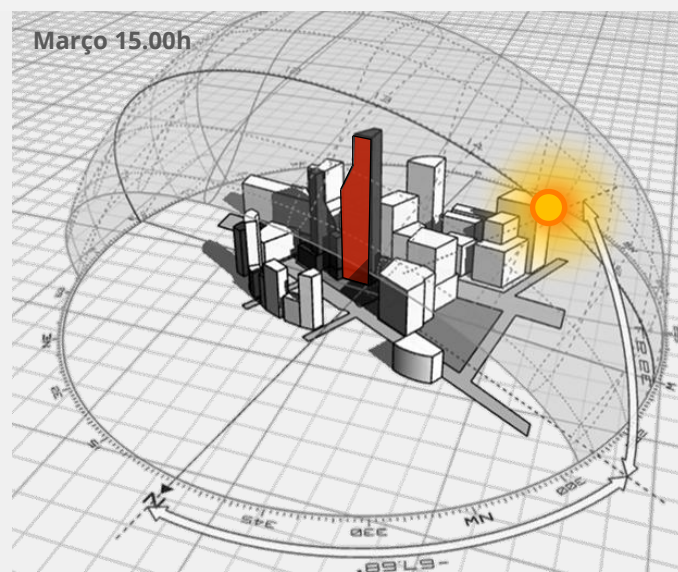
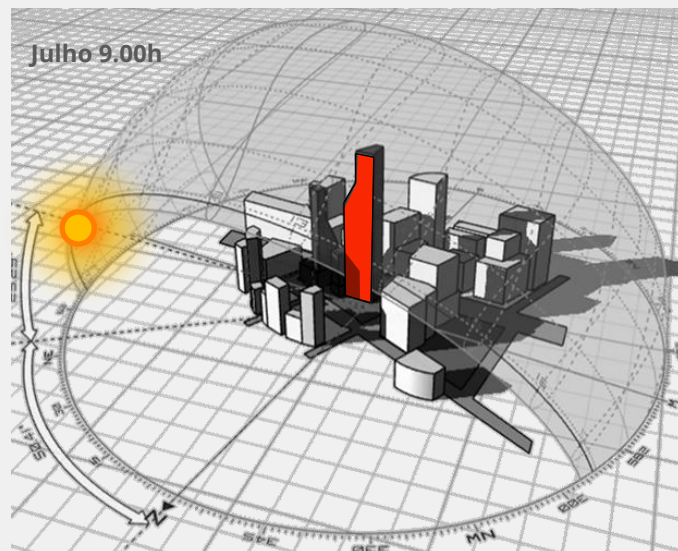
Neste exercício, simulamos a posição do Sol em três momentos distintos para a fachada norte de um edifício (destacada em vermelho), considerando horários entre 9.00h e 15.00h, que poderiam ser livremente escolhidos pelo consultor, uma vez que isso é permitido no método das medições.

Observa-se que, em cada um desses horários, a posição do Sol varia significativamente, impactando diretamente os resultados das medições de iluminância interna e externa, mesmo em condições de nebulosidade parcial.

No último cenário simulado (dezembro, às 14h), percebemos que o Sol encontra-se atrás da fachada norte. Isso resultaria em uma iluminância externa alta (devido a presença do Sol), enquanto a interna seria bem mais baixa, pois não receberia luz solar direta.

Como vimos, este tipo de situação tende a produzir FLDs muito baixos, tornando difícil o atendimento, mesmo com altos níveis absolutos em lux internamente. Outra problemática, é que durante as medições de um empreendimento, a posição do Sol inevitavelmente muda ao longo do dia, já que é impossível aferir todos os ambientes simultaneamente. Isso gera variações nas condições externas entre medições realizadas em diferentes pavimentos, resultando em distorções significativas nos resultados.

Haverá distorções significativas também, quando tentarmos comparar empreendimentos distintos, uma vez que certamente suas medições foram realizadas em momentos, e condições de céu diferentes..



3.3. O que acontece de fato na prática?

As premissas adotadas no exercício que apresentamos agora são realistas e simulam um processo de medições in loco, como ele costuma acontecer na prática do mercado, sempre sujeitos a variações nas condições climáticas:

1. Suponha que, em um empreendimento de 20 pavimentos idênticos, as medições de iluminância externa sejam feitas na cobertura do edifício simultaneamente a cada uma das medições internas nos pavimentos. Supomos uma nebulosidade inicial de 50% e a iluminância externa, 13.000 lux.
2. Às 9h, no 1º pavimento, um edifício vizinho bloqueia o Sol, e a iluminância interna é de 60 lux, resultando em um FLD de 0,46%, abaixo do mínimo exigido.

3. Às 10h, no 2º pavimento, o Sol já incide diretamente, elevando facilmente a iluminância interna para 1.000 lux e o FLD para 7,69%, agora suficiente para atender à Norma, mesmo o 1º e 2º pavimentos sendo idênticos e em alturas muito próximas
4. No 10º pavimento, algumas horas depois, a nebulosidade aumenta e reduz a iluminância externa para 9.000 lux. Com isso, meros 45 lux internos já garantem um FLD = 0,5%.
5. No 20º pavimento, horas depois, as nuvens se dissipam, e a iluminância externa sobe para 15.000 lux, com incidência solar direta. Neste momento, o Sol já não incide mais na fachada em questão, e o luxímetro no ambiente indica 70 lux, resultando em um FLD = 0,47%, portanto insuficiente para atender à Norma, apesar de ser 1,5 vez maior do que os 45 lux que foram suficientes no 10º pavimento.

*Na prática, não apenas **é impossível replicar**, durante as medições, as mesmas condições climáticas preconizadas pelo método, como também é certo que essas condições **não permanecerão inalteradas** ao longo de todo o processo.*

$$\text{FLD (\%)} = E_i/E_e$$

Requisito mínimo: $\text{FLD} \geq 0,5\%$

20º Pav. $\text{FLD (\%)} = (70/15.000) = 0,47\%$



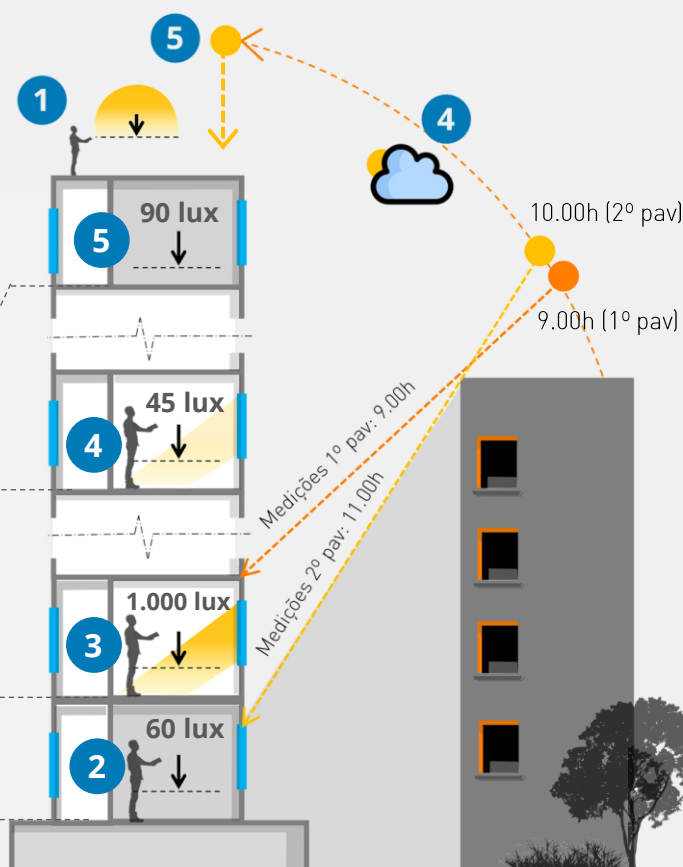
10º Pav. $\text{FLD (\%)} = (45/9.000) = 0,50\%$



2º Pav. $\text{FLD (\%)} = (1.000/13.000) = 7,69\%$



1º Pav. $\text{FLD (\%)} = (60/13.000) = 0,46\%$



Oscar By You, da YouInc. Simulações de desempenho lumínico por Ca2.

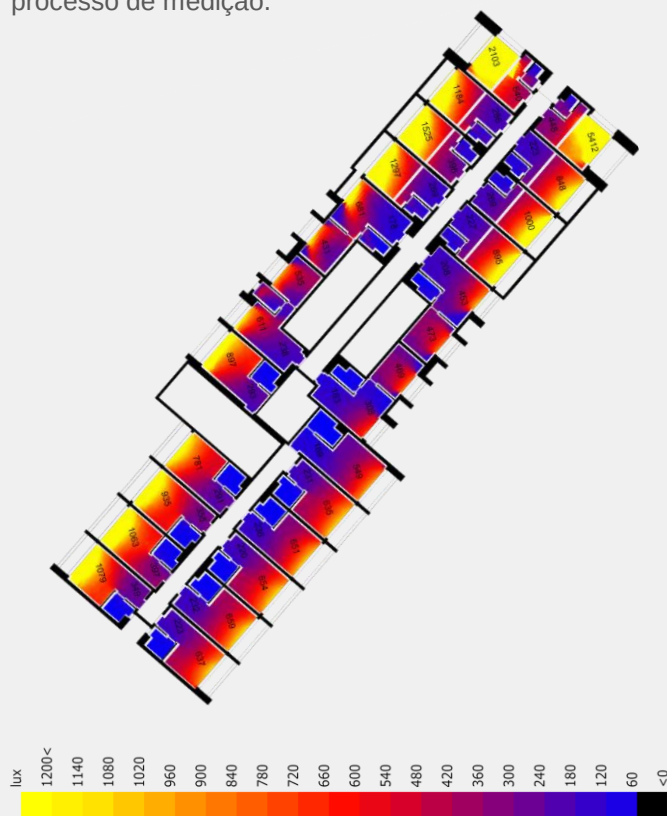


3.4. Afinal, podemos confiar nos resultados das medições?

Concluimos que **não podemos confiar nos resultados das medições através da métrica do FLD**, devido às seguintes constatações:

1. Os parâmetros de ensaio de ambos os métodos não são compatíveis. Enquanto as simulações adotam parâmetros climáticos padronizados e fixos, nas medições eles são muito abertos, deixando a livre escolha do consultor a definição de datas e horários para as aferições in loco;
2. Enquanto a iluminância externa nas simulações é também padronizada ao se utilizar de um céu normatizado pela ISO/CIE DIS 15469:2004, não há qualquer referência a um valor de iluminância externa no método das medições;
3. Enquanto nas simulações, o consultor é capaz de controlar precisamente a nebulosidade de céu, e garantir sua estabilidade, isso não é possível, nas medições;
4. É impossível replicar com precisão, as condições reais de céu durante as medições, sendo também

altamente improvável que essas condições se mantenham estáveis e inalteradas durante todo o processo de medição.



(ACIMA) Simulações do Oscar by You, da YouInc, por Ca2.

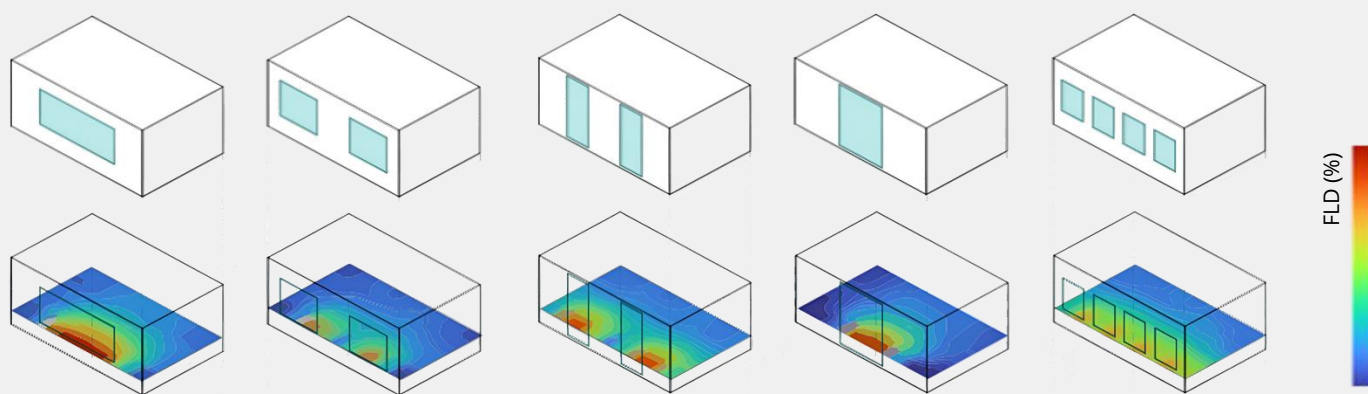
4. O que há de errado com o FLD?

Não há nada essencialmente errado com o FLD, como métrica de aferição do desempenho lumínico. **O erro está em tentar calculá-lo através dos resultados de medições in loco com um luxímetro**, já que essa métrica não foi criada para esse fim. **A Norma de Desempenho falha, portanto, ao utilizar uma métrica inadequada ao exercício das medições in loco.**

Quando podemos usar o FLD?

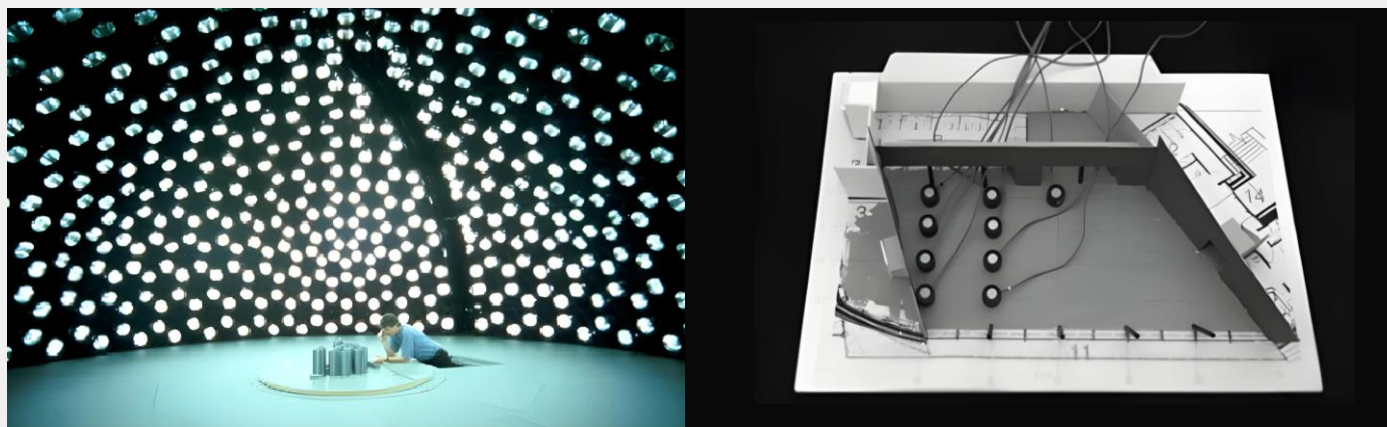
O FLD foi originalmente criado como uma ferramenta de projeto, para ser aplicado durante a concepção

arquitetônica, permitindo a aferição da luz natural de forma rápida e comparativa entre opções, e assim direcionando o desenvolvimento do projeto de fechadas. Por depender da padronização e estabilidade nas condições climáticas para entregar resultados coerentes, o FLD requer meios de aferição onde os parâmetros climáticos sejam 100% conhecidos e controláveis, o que automaticamente exclui as medições in loco. Tais parâmetro só podem ser obtidos através de simulações computacionais, ou em modelos físicos sob um “céu artificial”, comumente utilizado no ambiente acadêmico.



(ACIMA): Exemplo de aplicação do FLD em simulações computacionais De luz natural, como ferramenta para comparar cenários de projeto durante a concepção. Neste exemplo, a área de vidro é a mesma em todos os cenários, variando-se apenas a configuração das janelas. Percebe-se diferentes padrões de distribuição da luz, através da demonstração gráfica do FLD. Assim, o FLD calculado por simulações computacionais, é uma boa ferramenta comparativa, mas que não reflete o real desempenho lumínico dos ambientes.

(Fonte: Project Stasio, [International Building Performance Simulation Association \(IBPSA\)](https://projectstasio.com/). Disponível em: <https://projectstasio.com/>



(ESQ): Teste de FLD com o uso de céu artificial controlado em maquete arquitetônica (Welsh School of Architecture, Cardiff University).
(DIR) Exemplo de maquete física com sensores fotoelétricos para medições em céu artificial.

5. Para onde o mercado caminha?

5.1. Descontinuidade das medições em FLD

Por muitos anos, o FLD foi amplamente adotado em normas internacionais e sistemas de certificação devido à sua simplicidade e facilidade de aplicação. No entanto, com o avanço das ferramentas de simulação e uma compreensão mais sofisticada da iluminação natural, sua efetividade passou a ser questionada por especialistas ao redor do mundo. Diversas publicações científicas destacam suas limitações, em especial, estes 3 pontos:

1. O FLD não traduz o desempenho real

Trata-se de uma métrica comparativa, que expressa a relação entre a iluminância interna e externa, mas não indica, de fato, a qualidade e a quantidade da iluminação em um espaço. Enquanto o valor em lux permite compreender numericamente a quantidade de luz presente em um ambiente, a porcentagem do FLD depende de um referencial de céu, cuja variação pode distorcer sua interpretação, como comumente ocorre em nosso mercado.

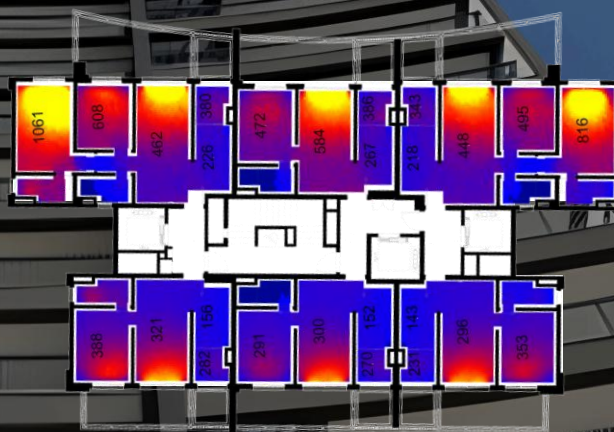
2. O FLD não é adequado a todos os climas

Para ser calculado em simulações computacionais, o FLD exige um céu majoritariamente encoberto, sem incidência direta do Sol. Esse critério faz sentido para cidades com alta predominância de nebulosidade, como Londres ou Dublin. No entanto, em regiões onde os céus claros são mais frequentes — como a maior parte do território brasileiro — essa abordagem se torna limitada e pouco representativa da realidade.

3. O FLD não considera o comportamento climático ao longo do ano

Os resultados do FLD refletem apenas um instante específico no tempo, sem levar em conta as variações sazonais e diárias da iluminação natural. No Brasil, por exemplo, situações de céu totalmente encoberto são esporádicas, o que torna o FLD uma métrica pouco confiável para orientar o design de edifícios de maneira eficaz ao longo do ano.

Diante dessas limitações, a comunidade científica desenvolveu métricas mais avançadas, que consideram a variabilidade climática e o impacto real da luz natural nos edifícios. Normas internacionais e sistemas de certificação modernos já substituíram o FLD por essas abordagens, que apresentamos a seguir.



Expand Pinheiros, da Fraiha. Simulações de desempenho lumínico por Ca2.

5.2. Novas métricas baseadas no clima

Em contraponto as métricas estáticas, como o FLD, e suas limitações, surgiram as métricas dinâmicas, que oferecem uma análise mais realista e útil para o projeto arquitetônico.

As métricas baseadas no clima, ou *Climate-Based Daylight Metrics*, como ficaram conhecidas, foram desenvolvidas nos anos 2000, através das pesquisas lideradas por John Mardaljevic, da Loughborough University do Reino Unido, um dos mais notáveis

pesquisadores em iluminação natural do mundo.

Esse avanço possibilitou uma abordagem mais precisa, considerando a variabilidade da luz natural em diferentes contextos geográficos e arquitetônicos.

Detalhamos a seguir uma das principais e mais aceitas métricas baseadas no clima que vem substituindo o FLD em importantes normas internacionais e sistemas de certificação de sustentabilidade.

Spatial Daylight Autonomy (sDA)

O sDA relaciona 3 fatores: Espaço, tempo e iluminância mínima. Ele mede a porcentagem de área de um ambiente que recebe pelo menos 300 lux de luz natural durante pelo menos 50% das horas de ocupação anual ao longo de um ano.

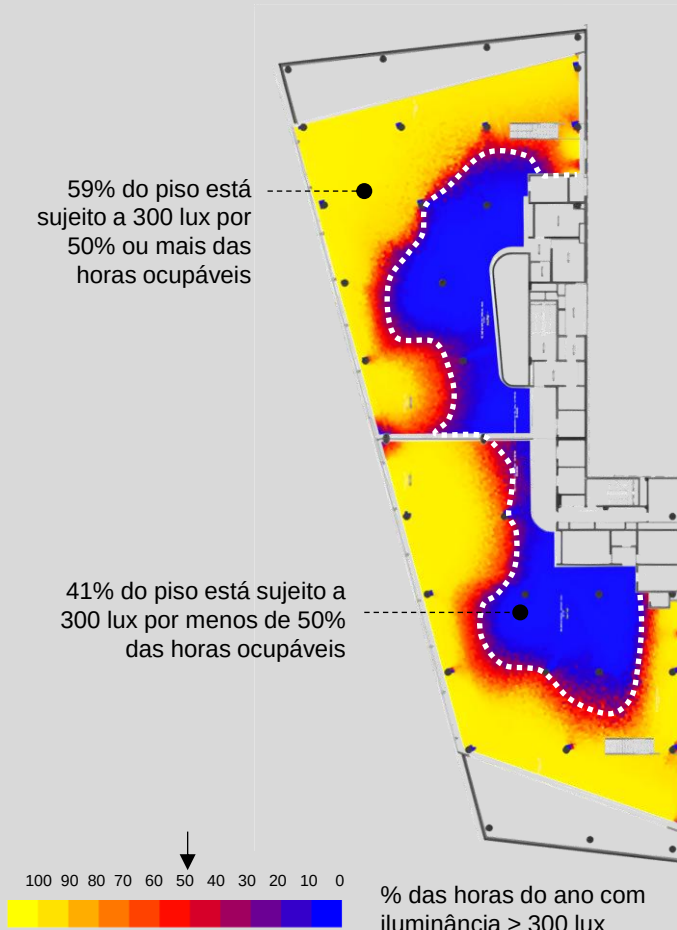
Essa métrica indica, portanto, se um espaço pode ser considerado iluminado de forma autônoma, ou seja, sem a necessidade de iluminação artificial durante grande parte do tempo.

O valor de 300 lux foi estabelecido com base em pesquisas sobre necessidades visuais e conforto dos ocupantes em ambientes residenciais e comerciais, de acordo com a *Illuminating Engineering Society (IES)*.

O sDA é amplamente adotado em certificações como o LEED, por exemplo, que estabelece que os projetos devem receber pelo menos 300 lux em no mínimo 40% do piso ocupável, por 50% ou mais das horas ocupadas ao longo do ano. O exemplo ao lado apresenta uma simulação computacional realizada pela Ca2 para um empreendimento corporativo que buscava certificação LEED.

Neste exemplo, calculamos que 59% do piso ocupável

recebe pelo menos 300 lux durante 50% ou mais das horas de uso anual. Assim, o sDA será 59%, indicando um excelente nível de autonomia da luz do dia.



6. Conclusão

Concluimos que os resultados das simulações computacionais e das medições FLD não são comparáveis, pois cada método possui métricas e variáveis distintas. Isso explica por que projetos podem ser aprovados nas simulações, mas falham nas medições in loco. A incompatibilidade decorre tanto das diferenças métricas quanto da impossibilidade de replicar as mesmas condições climáticas das simulações no momento das medições.

Vimos também que a Norma não define parâmetros climáticos padronizados para as medições, deixando à critério do consultor, uma ampla gama de nebulosidades de céu, horários e dias do ano e quantidade de luz disponível. Isso não só impede a comparação de resultados, como também causa discrepância entre empreendimentos diferentes submetidos às medições.

O FLD pode ser útil ao comparar de forma rápida, diversas opções de projeto, direcionando a concepção arquitetônica, mas por depender de condições climáticas controladas, só deve ser aplicado por meio de simulações computacionais, e nunca em medições.

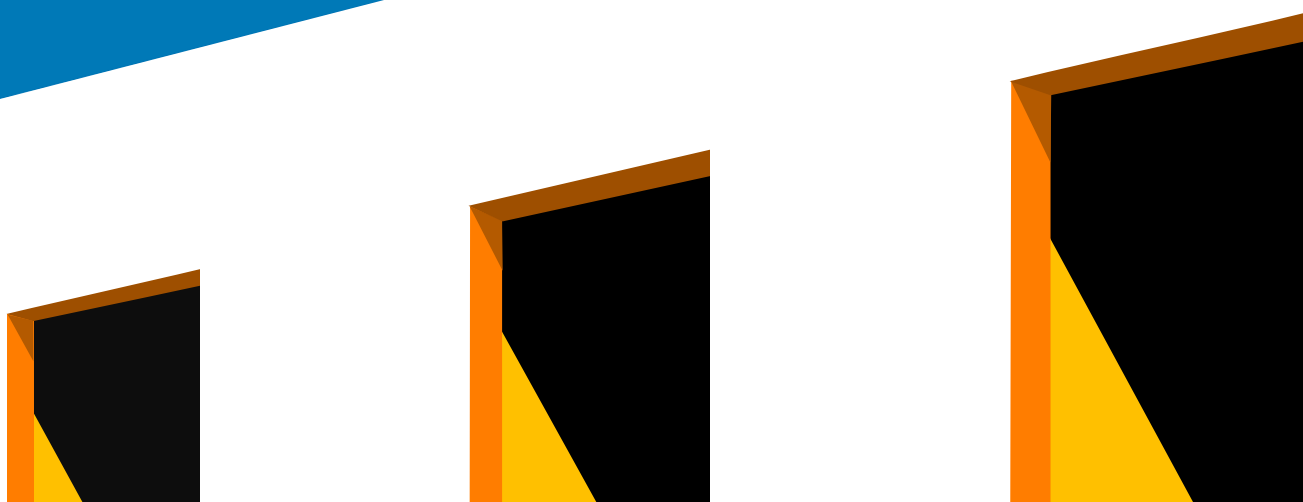
Normas internacionais e certificações modernas já adotaram métricas mais avançadas, considerando a variabilidade climática e o impacto real da luz natural. Para corrigir suas falhas e recuperar a confiança do setor, a Norma de Desempenho provavelmente seguirá essa tendência, substituindo a métrica das medições, ou provavelmente abolindo por completo este método de seu texto.

Esperamos com esse artigo, ter contribuído com uma reflexão crítica sobre este tema, necessária a consolidação da confiança do mercado na NBR 15.575.

O que esperar da nova versão da NBR 15.575

Um trabalho de atualização dos requisitos de desempenho lumínico tem ocorrido através de um comitê técnico de especialistas do mercado, incluindo profissionais da Ca2. Para a nova versão, ainda sem previsão de lançamento, discute-se abolir as medições in loco, e a adoção de métricas de simulação baseadas em climas reais, que consideram a variação da luz natural ao longo do ano, como o sDA (Spatial Daylight Autonomy) e outras.

Essas ações corrigirão finalmente, as imprecisões presentes na versão atual da Norma de Desempenho, possibilitando uma adequada aferição de luz natural em empreendimentos residenciais, e eliminando as incertezas do mercado quanto a confiabilidade da NBR 15.575.



Referencias bibliográficas

HENSEN, Jan L. M.; LAMBERTS, Roberto (Eds.). Building Performance Simulation for Design and Operation. 2nd ed. Abingdon: Routledge, 2021.

INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION (CIE). CIE 110-1994: *Spatial Distribution of Daylight - Luminance Distributions of Various Reference Skies*. Vienna, 1994.

INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION (CIE). *Spatial Distribution of Daylight—Luminance Distributions of Various Reference Skies*. CIE Standard General Sky Guide, CIE S 011/E:2003, 2003.

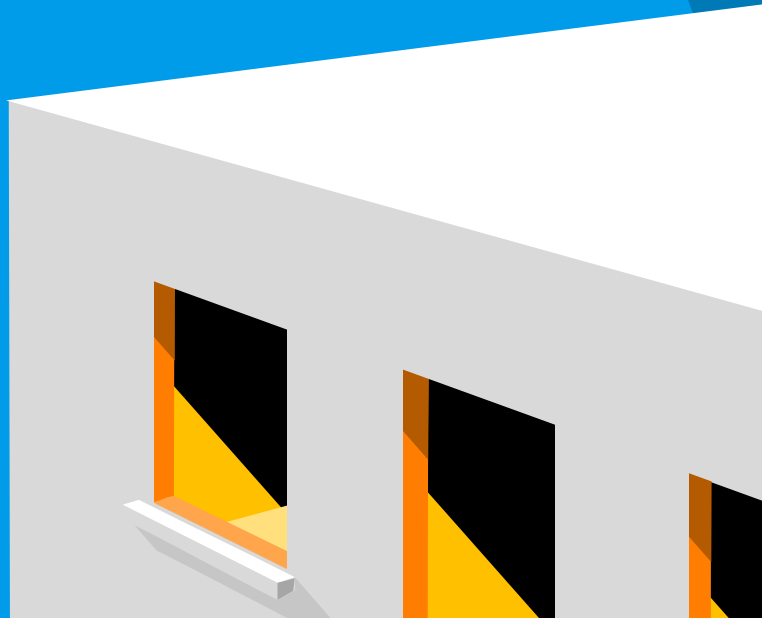
MARDALJEVIC, John; NABIL, Belghanem . *Useful daylight illuminance: A new paradigm for assessing daylight in buildings*. Lighting Research and Technology, 37(1):41-59, 2005. Disponível [aqui](#).

MARDALJEVIC, John; NABIL, Belghanem . *Useful daylight illuminance: A replacement for Daylight factors*. Energy and Buildings, v. 38, Issue 7, páginas 905-913, 2006. Disponível [aqui](#).

MARSH, Andrew. *Sky Distribution*. AndrewMarsh.com Articles, 2019. Disponível [aqui](#).

RODRIGUES, Eduardo; GHISI, Enedir. *Iluminação natural: indicações de profundidade-limite de ambientes para iluminação natural no Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais - RTQ-R. Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 12, n. 2, p. 7-25, abr./jun. 2012. Disponível [aqui](#).

RODRIGUEZ, Ana Garcia; RODRIGUEZ, Sol Garcia; MEDIAVILLA, Montserrat Diez; Tristán, Cristina Alonso. *Photosynthetic Active Radiation, Solar Irradiance and the CIE Standard Sky Classification*. Applied Sciences, v. 10, n. 22, p. 8007, 2020. Disponível [aqui](#).





A CIÊNCIA APLICADA À ARQUITETURA E CONSTRUÇÃO CIVIL

SUSTENTABILIDADE | CONFORTO AMBIENTAL | ACÚSTICA | LUMINOTÉCNICA



Ca2 Consultores

Av. Queiroz Filho, 1560
Torre Rouxinol – sala 13, Vila Hamburguesa
São Paulo, SP – Brasil 05319-000
Tel. +55 (11) 2309 6720
projetos@ca-2.com
www.ca-2.com

