XVIII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
XIV ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
AMBIENTE CONSTRUÍDO E USUÁRIO: PERSPECTIVAS LATINO-AMERICANAS

Estudo da iluminação adaptativa: integração entre iluminação natural e elétrica por meio de simulação computacional

Estudio de la iluminación adaptativa: integración de la iluminación natural y eléctrica mediante simulación por ordenador

Study of adaptive lighting: integration of daylighting and electric lighting through computer simulation

Conforto Visual / *Confort visual / Visual Comfort*

Rocha, Sabrina Souza
Mestranda, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo e de Design, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, sabrina.rocha@usp.br

Matos, Jéssica Cristine da Silva Fonseca
Doutora, Professora Colaboradora da Universidade Estadual de Campinas - FECFAU, São Paulo, Brasil, jessica@jfm.arq.br

Scarazzato, Paulo Sergio
Doutor, Professor do Departamento de Tecnologia, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo e de Design, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, pasezato@usp.br

Resumo

A personalização da iluminação, para atender necessidades individuais, é essencial para o desempenho e o bem-estar humano. Segundo a *Commission International de L'éclairage* (CIE), a iluminação adaptativa responde às condições ambientais e às necessidades individuais. Neste estudo, iluminação adaptativa refere-se à integração entre iluminação natural, elétrica difusa e luz de tarefa, ajustando-se automaticamente para otimizar conforto visual e eficiência energética. A partir da simulação de oito cenários, os resultados demonstraram que a iluminação adaptativa melhora o conforto visual e garante níveis adequados de iluminância em diferentes condições. A integração dessas fontes reduziu significativamente o consumo energético, com destaque para o cenário 06 LD + LE (105 kWh/mês) em comparação ao 04 LE (369 kWh/mês). No entanto, a ausência de hierarquia luminosa adequada gerou contrastes excessivos, o que pode causar fadiga ocular. O estudo reforça a relevância da iluminação adaptativa e sugere futuras validações em ambientes reais.

Palavras-chave: Iluminação adaptativa. Luz de tarefa. Iluminação elétrica. Iluminação natural. Eficiência energética.

Resumen

La personalización de la iluminación, para atender a las necesidades individuales, es esencial para el rendimiento y el bienestar humano. Según la Commission Internationale de l'Éclairage (CIE), la iluminación adaptativa responde a las condiciones ambientales y a las necesidades individuales. En este estudio, la iluminación adaptativa se refiere a la integración entre la iluminación natural, la iluminación eléctrica difusa y la luz de tarea, ajustándose automáticamente para optimizar el confort visual y la eficiencia energética. A partir de la simulación de ocho escenarios, los resultados demostraron que la iluminación adaptativa mejora el confort visual y garantiza niveles adecuados de iluminancia en diferentes condiciones. La integración de estas fuentes redujo significativamente el consumo energético, destacándose el escenario 06 LD + LE (105 kWh/mes) en comparación con el 04 LE (369 kWh/mes). Sin embargo, la ausencia de una jerarquía luminosa adecuada generó contrastes excesivos, lo cual puede provocar fatiga ocular. El estudio refuerza la relevancia de la iluminación adaptativa y sugiere futuras validaciones en ambientes reales.

Palabras clave: Iluminación adaptativa. Luz de tarea. Iluminación eléctrica. Iluminación natural. Eficiencia energética.

Abstract

The personalisation of lighting, to meet individual needs, is essential for human performance and well-being. According to the Commission Internationale de l'Éclairage (CIE), adaptive lighting responds to environmental conditions and individual requirements. In this study, adaptive lighting refers to the integration of natural light, diffuse electric lighting, and task lighting, automatically adjusting to optimise visual comfort and energy efficiency. Based on simulations of eight scenarios, the results demonstrated that adaptive lighting enhances visual comfort and ensures adequate illuminance levels under varying conditions. The integration of these sources significantly reduced energy consumption, with scenario 06 LD + LE (105 kWh/month) standing out in comparison to scenario 04 LE (369 kWh/month). However, the absence of appropriate luminous hierarchy generated excessive contrast, which may lead to eye strain. The study reinforces the relevance of adaptive lighting and suggests further validation in real-world environments.

Keywords: Adaptive lighting. Task lighting. Electric lighting. Daylight. Energy efficiency.

Introdução

A *Commission International de L'éclairage* (CIE) define a iluminação adaptativa como aquela que responde automaticamente às circunstâncias ou à condições predefinidas do ambiente, assegurando que a qualidade da iluminação atenda aos requisitos estabelecidos para cada situação (CIE, 2020). Nesse sentido, os sistemas de iluminação adaptativa ajustam seus parâmetros para controlar aspectos como intensidade, temperatura de cor correlata (CCT) e distribuição. Diferente dos sistemas convencionais, que mantêm a iluminação estática e uniforme, a iluminação adaptativa oferece maior flexibilidade e personalização. Seus benefícios vão além da eficiência energética e impactam positivamente o conforto e o bem-estar humano. Nesse contexto, a integração de sistemas de controle, voltada para demandas específicas de atividades, tem se destacado na prática profissional (Caicedo; Pandharipande; Vissenberg, 2015).

Avanços tecnológicos, como sensores de iluminação natural, automação e programação circadiana, amplificam os efeitos da iluminação adaptativa sobre o comportamento humano, a saúde e a produtividade. Pesquisas recentes (Basurto *et al.*, 2022; Manolis *et al.*, 2019; Papinutto *et al.*, 2021) evidenciam que tais sistemas podem modular funções cognitivas e fisiológicas, promovendo maior concentração e reduzindo a fadiga. Contudo, sua aplicação prática ainda enfrenta obstáculos, como a escassa conscientização sobre o uso eficiente da iluminação elétrica e a carência de validações experimentais em ambientes simulados.

Sendo assim, a simulação e personalização da iluminação de ambientes, são essenciais para criar condições adequadas para o desempenho de tarefas, tornando a iluminação adaptativa crucial para atender às necessidades visuais e circadianas (Aries, 2025). Para uma aplicação eficaz, é necessário considerar a exposição à luz de maneira integrada, abrangendo seus efeitos e as características do ambiente onde é empregada.

A literatura registra progressos notáveis no projeto de iluminação adaptativa e na implementação da luz de tarefa (Hansen *et al.*, 2022). No entanto, alguns estudos se concentram na distribuição das luzes de tarefa sem considerar adequadamente a hierarquia luminosa ou a iluminação de fundo, o que pode resultar em fadiga ocular. Neste artigo, adotamos o termo "iluminação de fundo" para descrever uma camada luminosa que complementa a hierarquia luminosa, garantindo equilíbrio sem comprometer a flexibilidade do sistema (Hansen *et al.*, 2022).

Diferentemente da iluminação tradicional, geralmente associada a sistemas fixos e uniformes de luz predominante, o método proposto neste artigo refere-se à aplicação do conceito de iluminação adaptativa. A escolha dessa estratégia, ajustada às necessidades dos usuários do espaço e baseada em fatores como a tarefa desempenhada e a quantidade de usuários presentes, visa enfatizar a importância da hierarquia luminosa em ambientes dinâmicos. No entanto, profissionais ainda enfrentam desafios relacionados à complexidade técnica, custos iniciais, falta de formação específica e dificuldades na integração entre aspectos técnicos e impactos humanos. Tais entraves evidenciam a necessidade de abordagens mais integradas, que harmonizem aspectos técnicos e impactos humanos (Demetrio; Faranda; Fumagalli, 2021; Ru *et al.*, 2023).

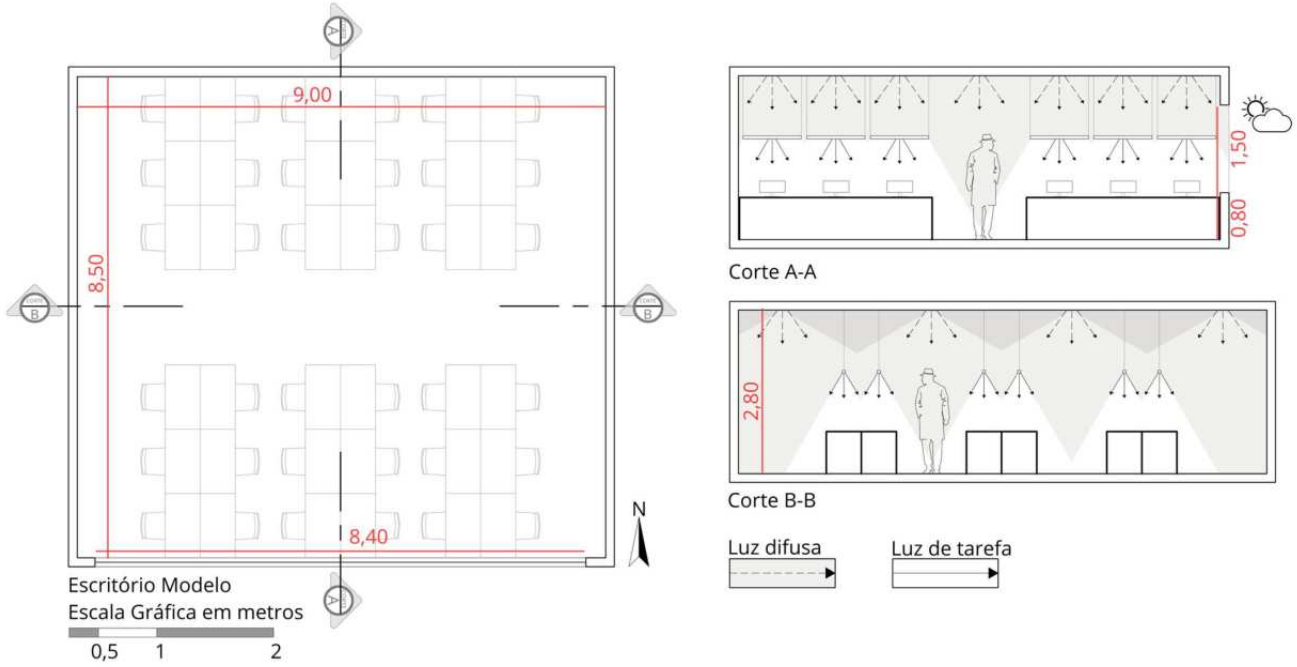
Este artigo se propõe a ir além da análise convencional de iluminância ao investigar estratégias de projeto que integrem sistemas de iluminação adaptativa e luz de tarefa, com atenção à hierarquia luminosa e à iluminação de fundo. Por meio de simulações computacionais como ferramenta, seu objetivo é analisar o papel da iluminação adaptativa como estratégia projetual no ambiente de trabalho, contribuindo para o avanço das pesquisas sobre controle da iluminação e seu impacto nos usuários.

Materiais e Métodos

O estudo foi conduzido em um ambiente de escritório simulado localizado em São Paulo, no mês de dezembro, com face sul e céu encoberto às 14 h, com dimensões de 8,5 m x 9,00 m, pé-direito de 2,80 m e uma abertura de janela de 8,40 x 1,50 m, com peitoril de 0,80 m (Figura 1). Como o foco da pesquisa estava na avaliação de luminárias de luz elétrica, considerou-se apenas uma configuração de iluminação natural para as simulações, desconsiderando suas variações ao longo do dia.

O *software* DIALux evo 13.0, foi utilizado para gerar as simulações, o que permitiu uma análise detalhada das condições de iluminância, do impacto das diferentes combinações de iluminação no ambiente de trabalho, bem como dos cálculos de gasto de energia elétrica com base no consumo das luminárias propostas.

Figura 1: Planta e Cortes do Escritório Modelo.



Fonte: Elaboração própria, 2024.

Para o estudo, foram utilizados dois tipos de luminárias, ambas com luz difusa, sendo uma luz linear de teto e outra luz pendente sobre a bancada de trabalho, configurada como luz de tarefa. A iluminância melanópica de baixa intensidade direcionada é especialmente eficaz para ativação do ciclo circadiano (Fostervold; Eilertsen, 2022). Todas as luminárias utilizadas foram de luz LED com CCT a 3000 K, reguláveis e ajustáveis, conforme especificado no Quaro 01.

Quadro 1: Especificação das luminárias.

Luminária	Un.	Descrição	Potência (P)	Fluxo Luminoso (Φ)	Temp. de cor (CCT)	IRC
Linear Difusa (LD) 1 m	28	Perfil de embutir recuado	23.8 W	960 lm/m	3000 K	>95
Tarefa Difusa (TD) 1 m	36	Pendente Plano	27.8 W	1000 lm/m	3000 K	>95

Fonte: Elaboração própria, 2024.

Os critérios de iluminância para os ambientes simulados seguem os parâmetros das norma NBR 8995 (ABNT, 2013): Iluminância mínima de 500 lx na área de trabalho; Iluminância mínima de 300 lx nas áreas

de entorno imediato; Iluminância mínima de 200 lx de luz de fundo, áreas de circulação e em áreas onde não há atividade de tarefa. A luz de fundo foi considerada para proporcionar um ambiente visualmente confortável, com um nível de iluminância inferior ao das mesas de tarefa, mas ainda suficiente para evitar contrastes excessivos.

Oito cenários com a interação entre luz do dia e luz elétrica foram analisados, a fim de compreender como diferentes combinações influenciam o conforto visual, a eficiência energética e o desempenho das atividades. O estudo investiga a distribuição da luz em ambientes de trabalho, considerando a necessidade de equilibrar iluminância de tarefa e luz de fundo para evitar fadiga ocular e promover bem-estar. A pesquisa também avalia o papel da iluminação adaptativa na personalização dos sistemas de luz conforme a necessidade, destacando o impacto dessa flexibilidade na redução do consumo energético. Além disso, a hierarquia entre diferentes fontes de luz é analisada para identificar configurações que proporcionem ambientes visualmente aprazíveis e funcionais, contribuindo para um design de iluminação mais eficiente e sustentável.

A avaliação dos cenários foi realizada com base nos seguintes critérios – (I) fluxo de luz: A luz de tarefa foi projetada para fornecer fluxo direto sobre a área de trabalho, enquanto a luz difusa do teto complementa a entrada de luz do dia, criando um ambiente iluminado de forma homogênea – (II) proporção de iluminação: A hierarquia de luz foi ajustada para atender à norma de iluminância de interiores, de modo a garantir níveis adequados de luz, prevenir ofuscamentos e criar uma atmosfera visualmente confortável, favorecendo a modelagem da luz – (III) níveis de iluminância: Os cenários foram projetados para analisar os níveis de iluminância sendo o ideal ao mínimo de 500 lx na área de trabalho, 300 lx no entorno imediato e 200 lx de luz de fundo, áreas de circulação e áreas sem tarefa específica.

Resultados

Foram simuladas oito configurações de iluminação com dois tipos de luminárias, baseadas em diferentes parâmetros de fluxo da luz elétrica, medido pela intensidade da luz do dia no plano de trabalho. A simulação de luz difusa de teto foi ajustada para complementar a luz de tarefa, em conformidade com as especificações de cada cenário.

A lógica do ordenamento desses gráficos segue uma progressão de complexidade, partindo dos cenários mais simples, com menor iluminação, para os mais dinâmicos e elaborados. Começando pelo Cenário

01, que utiliza apenas a luz do dia (LD), que oferece a iluminação mais básica e menos intrusiva. Em seguida, os cenários introduzem diferentes combinações de luz elétrica (LE) e tipos de luminárias, desde a luz de fundo (Cenário 02) até a adição de luz de tarefa (Cenários 03, 06, 07, e 08), que mostram uma progressão em direção a instalações mais complexas e adaptáveis, com um controle mais refinado sobre as fontes de luz. Os Cenário 04 e 05, representam a instalação mais simples com luz elétrica, com o uso de todas as luminárias e luminárias de tarefa respectivamente, enquanto os cenários seguintes introduzem maior flexibilidade e opções de personalização, com diferentes combinações de luz de fundo e luminárias de tarefa, de modo a evidenciar uma transição de sistemas mais estáticos para os mais adaptáveis e eficientes.

A iluminação do ambiente foi projetada considerando a interação entre luz do dia, luz elétrica linear difusa de fundo e luz de tarefa, o que garante a personalização da luz no ambiente. A luz do dia foi aproveitada sempre que possível, o que reduz a necessidade de iluminação elétrica. A luz elétrica geral de fundo não assume o papel de iluminação principal, mas complementa a luz de tarefa, o que viabiliza a hierarquia de iluminância e promove conforto visual, evita fadiga ocular e promove a eficiência energética. Em algumas simulações, luminárias de tarefa foram selecionadas, no qual pode-se inferir que o ambiente é versátil e todas as luminárias não precisam estar acionadas para garantir os níveis ideais de iluminância na bancada de trabalho. Isso permite adaptar o espaço às diferentes condições de uso.

De acordo com a ASHRAE 90.1 (2022), o valor máximo de densidade de potência de iluminação para escritórios é de 6,67 W/m². Para estimar o consumo de energia das luminárias, adotou-se como base uma utilização diária de 8 horas, considerando um mês composto por 30 dias. A Equação 1 estima o consumo (kWh) com base na potência (W), quantidade de luminárias e tempo diário de uso (h).

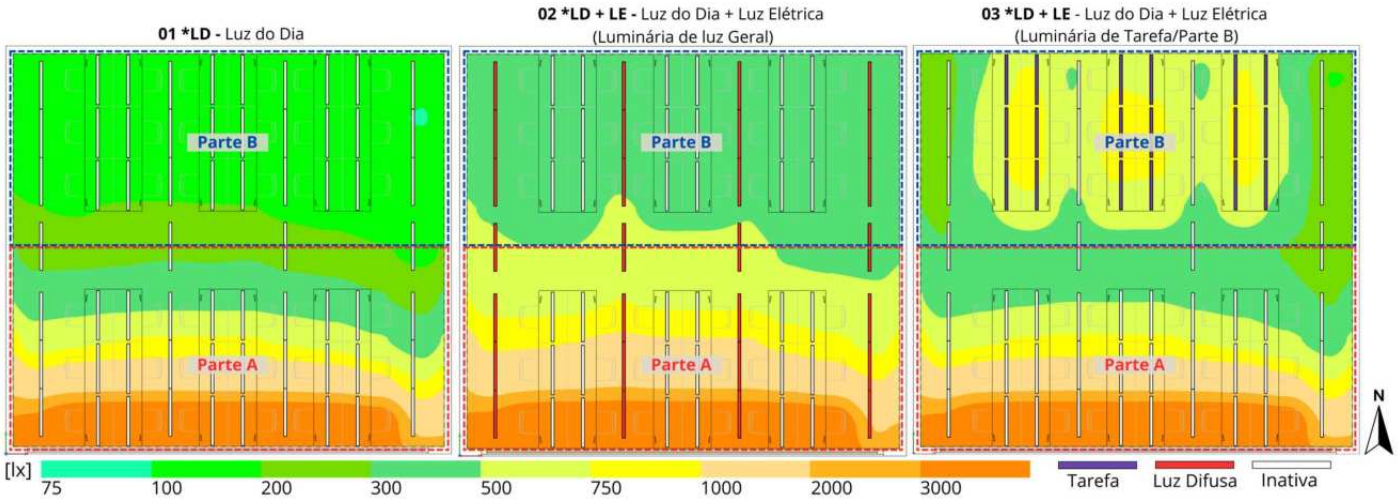
Equação 1: Valor estimado para o consumo de energia das luminárias

$$Consumo = \left(\frac{Potência}{1000}\right) \times Quantidade \times Tempo\ de\ uso$$

Fonte: Elaboração própria, 2024.

Nas Figuras 2, 3 e 4 juntamente com seus respectivos Quadros 2, 3 e 4, é possível analisar as iluminâncias (E) na parte A e B – essa separação foi feita devido à incidência mais proeminente da luz do dia na parte A, o que influencia a distribuição luminosa e a necessidade de complementação elétrica na parte B.

Figura 2: Simulação no *DIALux evo 13.0* dos ambientes 01, 02 e 03.



Fonte: Elaboração própria, 2024.

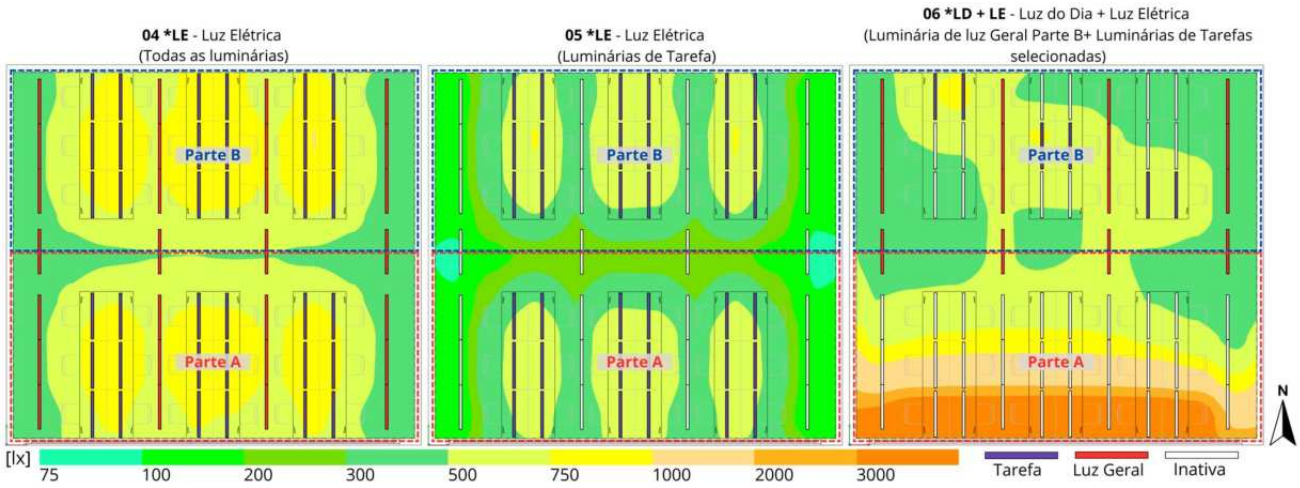
Quadro 2: Análise das simulações da Figura 2

Cenário	Descrição	Luminárias	Consumo
01 *LD	Neste cenário, considerou-se apenas a luz do dia, com 3000 lx na parte A e apenas 100 lx na parte B. Esse nível de iluminação na parte B não atende às recomendações da norma NBR 8995 (ABNT, 2013), que exige um nível mínimo de 500 lx na bancada de trabalho. Portanto, a quantidade de luz disponível na parte B não é adequada para execução de tarefas em escritório o que compromete o conforto visual e a produtividade.	****LTD=0** ****LLD=0**	0,0000 kW 0,00 kWh/dia 0,0 kWh/mês
02 *LD+LE Luminária de Luz Geral	Neste cenário, apenas as luzes de teto difusas foram acionadas. Na parte B com 300 lx na bancada de trabalho, a iluminação estava abaixo dos níveis recomendados. Na parte A, a bancada com 3000 lx pode causar desconforto visual ou ofuscamento. Esse resultado mostra que os níveis da parte A excederam os índices de iluminância pela luz do dia e que para atender aos requisitos de conforto visual na parte B, seriam necessárias mais luminárias, o que prejudicaria a eficiência energética.	****LLD=28**	0,66 kW 5,33 kWh/dia 160 kWh/mês
03 *LD + LE Luminária de Tarefa / Parte B	Neste cenário, as luzes de tarefa foram acionadas na parte B onde a iluminância foi de 700 lx nas mesas, 500 lx no entorno imediato e 200 lx de luz de fundo, enquanto na parte A, foi de 3000 lx nas mesas, 700 lx no entorno imediato e 500 lx de luz de fundo, proporcionando conforto visual na parte B. Apesar o excesso de iluminação natural na parte A que pode ser controlado sem consumo de energia, o cenário demonstrou um bom equilíbrio, além de contribuir para a eficiência energética, uma vez que apenas as luminárias de tarefa do fundo foram acionadas.	**** LTD=18**	0,50 kW 4,00 kWh/dia 120 kWh/mês

***Cenários: LD** – Luz do Dia; **LE** – Luz Elétrica ****Luminárias: LTD** Luminária de Tarefa Difusa – **LLD** Luminária Linear Difusa.

Fonte: Elaboração própria, 2024.

Figura 3: Simulação no *DIALux evo 13.0* dos ambientes 04, 05 e 06.



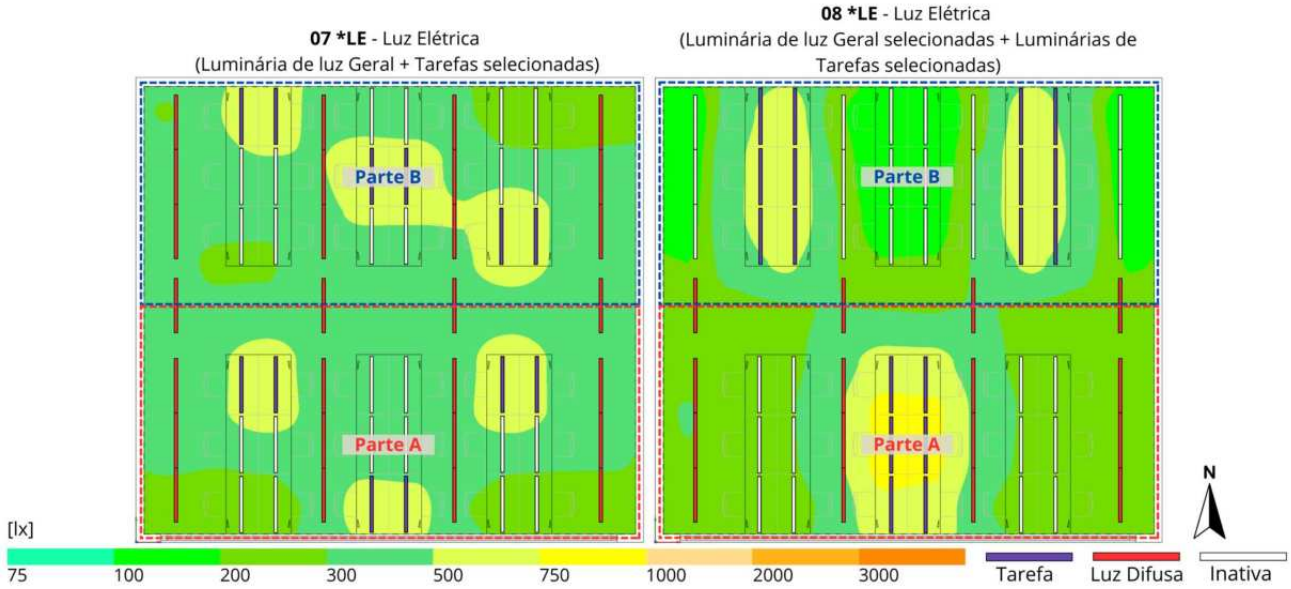
Fonte: Elaboração própria, 2024.

Quadro 3: Análise das simulações da Figura 3

Cenário	Descrição	Luminárias	Consumo
04 *LE Todas as Luminárias	Considerando um cenário noturno, onde não há luz do dia, todas as luminárias foram acionadas. Padronizou-se a iluminação nas partes A e B, com 750 lx na bancada de tarefa, 500 lx no entorno imediato e 300 lx de luz de fundo. Essa configuração gerou um ambiente visualmente agradável, com uma boa distribuição de luz, adequada para a realização de tarefas, porém com o consumo de energia superior a três vezes maior do que os recomendados pela ASHRAE (2022) de 122 kWh/mês.	****LTD=36** ****LLD=28**	1,54 kW 12 kWh/dia 369 kWh/mês
05 *LE Luminárias de Tarefa	Neste cenário, apenas as luminárias de tarefa foram acionadas, sem iluminação natural. Houve uma padronização nas partes A e B, com 500 lx na bancada, 200 lx no entorno imediato e 100 lx de luz de fundo. Embora a bancada tenha sido adequadamente iluminada, pouca incidência de luz no entorno imediato e de fundo resultaram em um desequilíbrio na hierarquia da luz, o que pode causar fadiga ocular.	****LTD=36**	1,00 kW 8,01 kWh/dia 240 kWh/mês
06 *LD + LE Luminária de Luz Geral Parte B + Luminárias de Tarefas Selecionadas	A simulação com luz do dia e a ativação de algumas luminárias de teto e de tarefa, mostrou a eficiência do sistema de iluminação adaptativa. Na parte B, as mesas ocupadas atingiram uma iluminação de 500 lx na bancada, 300 lx no entorno imediato e 300 lx de luz de fundo. Na parte A, a luz do dia foi suficiente e a luz elétrica foi desligada, resultando em eficiência energética e boa adaptabilidade ao ambiente.	****LTD=6** ****LLD=16**	0,43 kW 3,50 kWh/dia 105 kWh/mês
***Cenários: LD** – Luz do Dia; **LE** – Luz Elétrica ****Luminárias: LTD** Luminária de Tarefa Difusa – **LLD** Luminária Linear Difusa.			

Fonte: Elaboração própria, 2024.

Figura 4: Simulação no *DIALux evo 13.0* dos ambientes 07 e 08.



Fonte: Elaboração própria, 2024.

Quadro 4: Análise das simulações da Figura 4

Cenário	Descrição	Luminárias	Consumo
07 *LE Luminária de Luz Geral + Tarefas Selecionadas	Considerando um cenário noturno, a simulação com luzes de teto e algumas luminárias de tarefa mostrou a eficiência do sistema de iluminação adaptativa mesmo sem luz do dia. As mesas ocupadas nas partes A e B atingiram 500 lx na bancada, 300 lx no entorno imediato e 200lx de luz de fundo, proporcionando um ambiente adequado e eficiente em termos de consumo de energia e adequação à atividade, quando comparado ao cenário 04 *LE onde todas as luminárias são acionadas.	****LTD=12** ****LLD=28**	1,02 kW 8,17 kWh/dia 245 kWh/mês
08 *LE Luminária de Luz Geral Selecionadas + Luminárias de Tarefas Selecionadas	Neste cenário noturno, algumas luminárias de teto e de tarefa foram acionadas, as bancadas nas partes A e B atingiram a iluminação necessária, com 750 lx e 500 lx respectivamente. Contudo, o entorno imediato com 200 lx e a luz de fundo com 100 lx geraram uma hierarquia de luz inadequada, o que pode causar fadiga ocular. A distribuição equilibrada de luz no ambiente de trabalho é crucial para evitar desconfortos e problemas de saúde.	****LTD=9** ****LLD=16**	0,62 kW 4,96 kWh/dia 148 kWh/mês

***Cenários: LD** – Luz do Dia; **LE** – Luz Elétrica ****Luminárias: LTD** Luminária de Tarefa Difusa – **LLD** Luminária Linear Difusa.
Considera-se ideal em verde de acordo com a Tabela 9.5.1 (ASHRAE; IES, 2022) valores até: 0,51 kW; 4,08 kWh/dia e 122 kWh/mês.

Fonte: Elaboração própria, 2024.

Considerações finais

A análise dos resultados revelou o impacto significativo da iluminação adaptativa no conforto visual, na funcionalidade e na eficiência energética dos ambientes simulados. A combinação entre luz do dia e luz elétrica, ajustada automaticamente de acordo com a necessidade, favoreceu a criação de espaços visualmente confortáveis e sustentáveis. Em cenários com insuficiência de luz do dia, como na parte B das simulações, a ativação da iluminação elétrica mostrou-se indispensável para atingir os níveis de iluminância recomendados pelas normas técnicas (ABNT, 2013), o que garante o conforto visual e a adequação às atividades desempenhadas. A iluminação adaptativa mostrou-se eficiente ao complementar a luz do dia e ajustando-se de maneira eficaz em cenários noturnos, a fim de garantir que as áreas de trabalho fossem adequadamente iluminadas sem desperdício de energia e de acordo com a atividade.

Vale ressaltar que a iluminação natural, embora essencial para a qualidade ambiental dos espaços, quando excessiva pode ocasionar ofuscamento e desconforto visual aos usuários, comprometendo o desempenho e o bem-estar. Esse tipo de desconforto pode ser mitigado por meio de estratégias passivas que não demandam consumo de energia elétrica, como o uso de brises, elementos de sombreamento, venezianas, cortinas e películas de controle solar. Tais dispositivos permitem filtrar, redirecionar ou bloquear a entrada direta da luz solar, promover maior uniformidade na distribuição da iluminação natural e favorecer o conforto visual ao longo do dia.

Atualmente, o ambiente mais utilizado pelos usuários em ambientes de escritórios é o **04 *LE**, no qual todas as luminárias se mantêm ligadas durante todo o tempo de permanência. Nesse contexto, a iluminação adaptativa contribuiu diretamente para a redução do consumo energético, especialmente nos cenários em que a luz do dia foi suficiente para iluminar os ambientes, permitindo o desligamento ou a redução da luz elétrica, como no cenário **03 *LD** com 120 kWh/mês em comparação com o cenário **04 *LE** com 369 kWh/mês. A iluminação adaptativa garantiu que a luz elétrica fosse utilizada apenas quando necessário. A relevância da iluminação adaptativa no projeto luminotécnico foi evidenciada, uma vez que ela possibilitou controles mais precisos e assegurou um equilíbrio eficaz entre a iluminação natural e a iluminação elétrica, sem comprometer a qualidade ambiental.

Por outro lado, a ausência de uma hierarquia luminosa adequada resultou em contrastes excessivos de iluminância, gerando ambientes visualmente opressivos e aumentando o risco de cansaço ocular e

fadiga. Esses fatores comprometem não apenas o desempenho, mas também a satisfação dos usuários em ambientes de trabalho. A partir das simulações, infere-se que a ausência de uma hierarquia bem definida na iluminação compromete o conforto visual, especialmente quando a luz de tarefa é usada isoladamente (Hansen *et al.*, 2022). Nos cenários em que apenas as luminárias de tarefa estavam acionadas (**03 *LD + LE e 05 *LE**), constatou-se que, embora a bancada de trabalho recebesse uma quantidade adequada de luz, o entorno imediato apresentava baixos níveis de iluminância. Esse resultado ressalta a importância de um planejamento criterioso ao considerar esse tipo de solução.

O estudo apresentou algumas limitações, como a utilização de um único cenário de luz do dia para facilitar a simulação da iluminação elétrica sem interferências da variabilidade da luz do dia. Além disso, o modelo computacional empregado não capturou todas as variáveis que influenciam o conforto visual em situações reais, tais como a percepção subjetiva da luz por diferentes usuários ou a dinâmica de ocupação dos espaços. Para uma avaliação mais precisa, seria necessário combinar simulações computacionais com validações práticas em ambientes reais, o que permitiria uma compreensão mais completa dos impactos da iluminação adaptativa no desempenho humano, na saúde ocular e na produtividade dos ocupantes.

Pesquisas futuras devem explorar a aplicação da iluminação adaptativa em diversos tipos de ambientes, como espaços comerciais, educacionais e de saúde, a fim de compreender como a iluminação adaptativa pode ser ajustada para maximizar benefícios em contextos variados. O aprimoramento das tecnologias de iluminação, incluindo sistemas de controle mais avançados e sensores de luz mais precisos, também pode viabilizar uma maior personalização e eficiência nos ambientes, ao considerar as preferências individuais e as condições de luminosidade externas. Além disso, a divisão de zonas de iluminação representa uma solução simples, acessível e de baixo custo, o que permite maior flexibilidade no acionamento das luminárias conforme a necessidade de cada espaço. Esses avanços contribuem para a criação de espaços mais sustentáveis, confortáveis e adaptados às necessidades humanas.

Referências

ABNT, A. B. de N. **NBR 8995: Iluminação de ambientes de trabalho: parte 1: interior**. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2013.

Aries, M. Editorial: Towards effective integrative lighting design: Understanding human light exposure and its impact on health and well-being. **Lighting Research & Technology**, New York City, v. 57, n. 1, p. 3–4, 2025. Disponível em: https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/14771535241305458.

ASHRAE, A. S. of H., Refrigerating and Air-Conditioning Engineers; IES, I. E. S. **ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2022 Energy Standard for Sites and Buildings Except Low-Rise Residential Buildings (I-P Edition)**. Atlanta, GA: ASHRAE, 2022.

Basurto, C. *et al.* Integrating daylight with general and task lighting: A longitudinal in-the-wild study in individual and open space working areas. **Solar Energy Advances**, Amsterdã, v. 2, p. 100027, 2022. Disponível em: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2667113122000158.

Caicedo, D.; Pandharipande, A.; Vissenberg, M. Smart modular lighting control system with dual-beam luminaires. **Lighting Research & Technology**, Reino Unido, v. 47, n. 4, p. 389–404, 2015. Disponível em: https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1477153514530982.

CIE, C. I. de l'Eclairage. International Lighting Vocabulary, 2nd edition; 17-29-027 _ CIE - adaptive lighting. 2020. Disponível em: https://cie.co.at/eilvterm/17-29-027. (CIE).

Demetrio, A.; FAranda, R.; Fumagalli, K. Dynamic lighting system model for optimizing lamps management. 7 set. 2021., Europe. **2021 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2021 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe)**. Bari, Italy: IEEE, 2021. p. 1–5. Disponível em: https://ieeexplore.ieee.org/document/9584515/.

Fostervold, K.; EILERTSEN, D. Implementing integrative lighting in conventional office luminaires: Effects on melatonin secretion and sleepiness. **Lighting Research & Technology**, v. 54, n. 8, p. 778–797, 2022. Disponível em: http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/14771535221123237.

Hansen, E. K. *et al.* An experiment of double dynamic lighting in an office responding to sky and daylight: Perceived effects on comfort, atmosphere and work engagement. **Indoor and Built Environment**, Reino Unido, v. 31, n. 2, p. 355–374, 2022. Disponível em: https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1420326X21991198.

Manolis, E. *et al.* The impact of energy efficiency indicators on the office lighting planning and its implications for office lighting market. jun. 2019., Europe. **2019 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2019 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe)**. Genova, Italy: IEEE, 2019. p. 1–6. Disponível em: https://ieeexplore.ieee.org/document/8783856/.

Papinutto, M. *et al.* Towards the integration of personal task-lighting in an optimised balance between electric lighting and daylighting: A user-centred study of emotion, visual comfort, interaction and form-factor of task lights. **Journal of Physics: Conference Series**, Canadá, v. 2042, n. 1, p. 012115, 2021. Disponível em: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2042/1/012115.

Ru, T. *et al.* Temporal tuning of illuminance and spectrum: Effect of a full-day dynamic lighting pattern on well-being, performance and sleep in simulated office environment. **Building and Environment**, Amsterdã, v. 228, p. 109842, 2023. Disponível em: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132322010721.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 88887.975628/2024-00.