

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
*CAMPUS* LITORAL NORTE  
DEPARTAMENTO INTERDISCIPLINAR  
ENGENHARIA DE GESTÃO DE ENERGIA

**KAUÊ AUGUSTO HERMES DALLA ROSA**

**REQUALIFICAÇÃO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO NA  
EDIFICAÇÃO DO SETOR PÚBLICO DO MUNICÍPIO DE  
TRAMANDAÍ**

Tramandaí

2023

**KAUÊ AUGUSTO HERMES DALLA ROSA**

**REQUALIFICAÇÃO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO NA  
EDIFICAÇÃO DO SETOR PÚBLICO DO MUNICÍPIO DE  
TRAMANDAÍ**

Este trabalho foi julgado adequado para fazer jus aos créditos da atividade de ensino “Trabalho de Conclusão de Curso”, do Departamento Interdisciplinar e aprovado em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Orientador: Prof. Dr. Flavio Vanderlei Zancanaro Júnior.

Doutor pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre, Brasil.

Banca Examinadora:

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Juliana Klas, UFRGS.

Doutora pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre, Brasil.

Prof. Dr. Maurício Carvalho Ayres Torres, UFRGS.

Doutor pela Universitat Politècnica de Catalunya – Barcelona, Espanha.

**Coordenadora COMGRAD-EGE:** \_\_\_\_\_

**Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Gabriela Pereira da Silva Maciel**

# REQUALIFICAÇÃO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO NA EDIFICAÇÃO DO SETOR PÚBLICO DO MUNICÍPIO DE TRAMANDAÍ.

Kauê Augusto Hermes Dalla Rosa<sup>1</sup> – kaueahdallarosa@gmail.com

Flavio Vanderlei Zancanaro Júnior<sup>1</sup> – flavio.zancanaro@ufrgs.br

<sup>1</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento Interdisciplinar - Engenharia de Gestão de Energia.

**Resumo.** Nas edificações já construídas, a falta de atualização nos sistemas construtivos e tecnológicos implicam no consumo desnecessário de recursos naturais, assim como na falta de atendimento às normativas que são atualizadas frequentemente. A requalificação de uma edificação estabelecida pode reduzir o consumo de energia em até 30% e proporcionar um ambiente qualificado aos utilizadores. Este trabalho verifica o sistema de iluminação na prefeitura municipal de Tramandaí/RS através de simulações que considerem o sistema e suas dinâmicas internas e externas, demonstrando a importância que a simulação parametrizada tem na avaliação e dimensionamento de sistemas de iluminação, sendo item balizador, considerando o espaço e o indivíduo na construção do projeto de iluminação. O objetivo da pesquisa é analisar a condição atual da iluminação na edificação, propor um sistema que atenda os valores indicados em norma para cada tipologia de ambiente e, ao mesmo tempo, explorar a integração da iluminação natural com o sistema artificial. Foram conduzidas simulações para diferentes cenários e os valores avaliados por meio de indicadores de desempenho e boas práticas presentes na esfera pública. Os resultados indicaram que a edificação apresenta deficiências no sistema de iluminação artificial em 89,71% dos ambientes de trabalho, ao mesmo tempo em que é caracterizada por uma incidência significativa de iluminação natural. Com o novo sistema de iluminação proposto, 100% dos ambientes atendem aos níveis exigidos de iluminância e, integrados com a iluminação natural, propiciou a redução na necessidade de iluminação artificial, à medida que a grande maioria dos ambientes avaliados apresentaram percentual de autonomia da luz do dia superior a 65%, além de aprimorar o sistema de iluminação nas áreas de trabalho.

**Palavras-chave:** Indicadores, Simulação de iluminação, Retrofit.

**Abstract.** In existing buildings, the lack of updates in construction and technological systems results in unnecessary consumption of natural resources, as well as a failure to comply with frequently updated regulations. The requalification of an established building can reduce energy consumption by up to 30% and provide a qualified environment for users. This study examines the lighting system at the Municipal City Hall of Tramandaí/RS through simulations that take into account the system and its internal and external dynamics, demonstrating the importance of parametric simulation in the evaluation and design of lighting systems. It serves as a guiding element, considering both the space and the individual in the construction of the lighting project. The research's objective is to analyze the current lighting condition in the building, propose a system that complies with the standards for each type of environment, and simultaneously explore the integration of natural lighting with artificial systems. Simulations were conducted for different scenarios, and the values were evaluated using performance indicators and best practices in the public sphere. The results indicated deficiencies in the artificial lighting system in 89.71% of the specific environments, while also highlighting a significant presence of natural lighting. With the proposed new lighting system, 100% of the environments meet the required illuminance levels and, when integrated with natural lighting, it led to a reduction in the need for artificial lighting, as the vast majority of evaluated spaces showed a daylight autonomy percentage exceeding 65%. Additionally, it enhanced the lighting system in work areas.

**Keywords:** Indicators, Lighting simulation, Retrofit.

## 1. INTRODUÇÃO

O consumo de energia no Brasil é de diferentes fontes energéticas, porém ao investigar a demanda de eletricidade, as edificações consomem 51% do total utilizado no país. Para edifícios comerciais de serviço e público não é diferente, o consumo predominantemente é originário da energia elétrica, corresponde a 92% de participação (EPE, 2021). O relatório de avaliação da energia elétrica no Brasil (Procel, 2007) discrimina, para prédios públicos, porcentagem de utilização por usos, no qual a climatização representa 48% do consumo, iluminação 23%, equipamentos de escritório 15% e outras cargas 14%.

O Plano Nacional de Eficiência Energética apresenta diferentes ações para a redução do consumo de energia. Em um de seus capítulos, trata especificamente de prédios públicos, destacando o papel fundamental dessas iniciativas como modelo para o setor. Além disso, o documento ressalta que os edifícios públicos são responsáveis por 2,8% do consumo total de energia elétrica do país, em projetos de eficiência energética nos sistemas de climatização e iluminação, é possível alcançar redução de 2,4 TWh por ano. Uma das medidas recomendadas pelo próprio documento é a implementação dos requisitos técnicos para etiquetagem no escopo de projetos de reforma, para atingir esses objetivos (MME, 2023).

O anuário estatístico de energia elétrica de 2021, indica crescimento de 7,4% no consumo de energia, referente ao setor público brasileiro, comparado ao ano anterior. As edificações são ponto crucial quando se observa o cenário da eficiência energética no país, o Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) revela o potencial de eficiência energética no que se refere às edificações, já que a classe detém grande parcela no consumo de energia elétrica. Destaca-se o setor de serviços com perspectivas de crescimento em 6% nas ações que visam eficiência energética (EPE e MME, 2021).

Ao tratar do desempenho energético de uma edificação, existem diferentes aspectos que influenciam na sua performance, como: elementos construtivos, posição geográfica, padrão de utilização, condicionamento de ar, iluminação e equipamentos em geral. Quando aplicadas estratégias que objetivam a eficiência energética, o consumo pode reduzir em 50% para os projetos que estão em concepção e 30% em prédios construídos (Nascimento, 2019). Quando se trata de uma construção já estabelecida, a estratégia de *retrofit* torna-se uma ótima forma de requalificar tecnologicamente a construção.

O *retrofit* tem como finalidade, valorizar edifícios antigos, prolongando sua vida útil, seu conforto e funcionalidade, através da incorporação de avanços tecnológicos e da utilização de materiais de última geração (Vale, 2006). O processo do *retrofit* é compreendido como um conjunto de atitudes que concedem a edificação um desempenho superior, vida útil prolongada e eficiência energética, que sucede na valorização do imóvel. Como também implica na sustentabilidade das construções, já que almeja reduzir o consumo de recursos naturais e atender às normativas vigentes (Santos, 2019).

Ao discorrer sobre o uso significativo de energia de uma edificação, a iluminação representa uma parcela significativa do consumo de energia elétrica (Procel, 2007), assim, o *retrofit* luminotécnico surge como uma alternativa para revalidar o sistema de iluminação. O projeto lumínico não se limita apenas à redução do consumo de energia, com a substituição da tecnologia, contempla a preocupação com o usuário, o que influencia na qualificação das condições visuais do local de trabalho.

O projeto de iluminação é idealizado nas últimas décadas, ponderando a iluminação natural e o indivíduo, ganhando força à medida que resultam em economia de energia, ao mesmo tempo que qualifica visualmente o ambiente de trabalho e propicia conforto aos usuários (Chaves, 2020). A pluralidade do projeto reflete sobre, as tecnologias empregadas, os recursos naturais, o indivíduo, a envoltória, atividade desenvolvida, o espaço, obtendo soluções que abrangem diferentes contextos.

Nos projetos luminotécnicos estratégias passivas e ativas podem ser assumidas a fim de melhorar o desempenho do sistema. Atitudes passivas exploram os recursos naturais presentes no entorno da edificação, engloba a orientação da construção, sistema construtivo e iluminação natural. Por outro viés, a ativa utiliza ferramentas de controle para reduzir o consumo de energia, por intermédio de temporizadores, sensores de presença, *dimmer* (Soares *et al.*, 2021). Chaves (2020) destaca que os sistemas de controle adequados ao padrão de ocupação do edifício favorecem o uso eficiente da iluminação, minimizando gastos excessivos com energia elétrica.

Na execução do projeto de iluminação, os indicadores são utilizados como ferramenta qualitativa, que auxilia na concepção do projeto. Por se tratar de um processo dinâmico, que está sujeito à grande quantidade de informações, o indicador serve como um balizador na tomada de decisão. Os indicadores podem variar de acordo com as premissas do projeto, dependendo da atividade desenvolvida no ambiente, localidade, posição geográfica, entre outras, que reflete diretamente nos resultados obtidos.

Atualmente existem inúmeras organizações que possuem arquivos técnicos para auxiliar na execução de projetos, contendo orientação e métodos, como critérios e indicadores de análise. A Instrução Normativa Inmetro para edifícios comerciais, de serviços e públicas (INI-C), especifica os procedimentos para a classificação da eficiência energética em edifícios de maneira geral ou parcial (INI-C, 2022). Com outro viés, a certificação da Alta Qualidade Ambiental (AQUA), um processo de gestão de projetos que objetiva a qualidade do ambiente, através da gestão de projetos (AQUA, 2018).

A norma NBR 8995-1 de 2013, apresenta parâmetros típicos de Iluminância Mantida ( $E_m$ ) a serem atendidos para cada tipo de atividade. A norma ABNT NBR 12215-1 de 2005 apresenta o indicador Fator de Luz Diurna (FLD), razão entre a iluminação natural em um determinado ponto no plano horizontal interno é incidida diretamente ou indiretamente (NBR 15215-1, 2005), é uma variável que permite observar o desempenho do ambiente com olhar para a iluminação natural. No mundo diversas instituições possuem normativas com enfoque no desempenho lumínico, em levantamento executado por Moraes *et al.* (2018), demonstraram que na Austrália o código de obras (ABC – *Building Code of Australia*) dispõe de valores da densidade de potência de iluminação máxima ( $DPI_L$ ) típicos para construções comerciais, de serviço ou pública.

Para tanto, existem maneiras distintas de auxiliar o desenvolvimento do processo de *retrofit*, atualmente a Modelagem de Informações da Construção (BIM – *Building Information Modeling*) vem ganhando destaque nesse tipo de aplicação, por tratar de um processo que integra a representação 3D com as informações técnicas do projeto. BIM baseia-se na modelagem e transferência de informações, incorpora na representação 3D as informações técnicas necessárias, facilitando aos executores tomarem decisões que visam melhorias econômicas e sustentáveis, ponderando a concepção e utilização da edificação.

Projetos desenvolvidos utilizando do fluxo de trabalho BIM apresentam redução de erros, crescimento na produtividade, trabalho em equipe e ensaios de diferentes cenários (Kaewunruen *et al.*, 2020). São José (2015), complementa que o processo BIM possibilita a incorporação de informações multidisciplinares em um mesmo modelo, desenvolvendo projetos integrados. Reitera que o BIM auxilia na construção de uma solução sustentável, contribuindo nas decisões relacionadas à orientação do edifício, planejamento da envoltória, auxiliando na análise lumínica, reutilização da água pluvial, utilização de energias renováveis e o uso de materiais sustentáveis.

No universo BIM, diferentes ferramentas são utilizadas na execução de projetos, essas, carregam informações úteis necessárias para elaboração e execução do projeto. O Revit é um programa comercial de modelagem computacional, difundido principalmente para o desenvolvimento de modelos digitais de construções, além de possibilitar a troca de informação e colaboração entre as disciplinas. Já o DIALux 11.1 é um dos principais programas quando tange a análise lumínica de uma edificação, muito utilizado no desenvolvimento de projetos lumínicos, principalmente por se tratar de uma ferramenta gratuita, com uma interface intuitiva, além de contar com uma grande biblioteca de informações técnicas e de soluções tecnológicas, a nível mundial (Meshkova e Budak, 2013).

O presente estudo, detém o objetivo de examinar a iluminação natural e artificial presente atualmente na prefeitura de Tramandaí/RS, elaborar uma proposta para atualização tecnológica do sistema de iluminação artificial, junto com a integração da iluminação natural. Com esse propósito foi implementado o fluxo BIM como facilitador na análise e transmissão de informações, além de possibilitar a elaboração de um modelo parametrizado do objeto de estudo. Neste contexto foram utilizados os valores de  $E_m$ ,  $DPI_L$  e FLD como ferramenta de apoio à tomada de decisões durante a concepção do projeto luminotécnico. Além de consolidar diversos indicadores de análise em um único documento e demonstrar como os indicadores auxiliam na tomada de decisão.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No âmbito do desenvolvimento de projetos de iluminação, Alves e Schmid (2023) em sua pesquisa avaliaram as metodologias mais utilizadas desta aplicação, sendo dos trabalhos analisados, 62,8% utilizam de simulação computacional como proposta de intervenção na elaboração dos projetos. Sistemas computacionais CAD e BIM vêm sendo amplamente utilizados, nos quais são construídos sistemas complexos que integram diversas informações técnicas construtivas em um mesmo ambiente, as quais são executadas por profissionais de diferentes disciplinas, que trabalham em conjunto em um mesmo projeto (Chaves, 2020). O processo BIM é muito relevante na execução do projeto de *retrofit*, especialmente no tratamento das informações construtivas e de utilização. Nascimento (2019) em seu levantamento, ressalta que o BIM auxilia o projetista na construção de uma solução adequada aos padrões de utilização do local, graças ao fluxo de informações que a metodologia carrega.

No cenário atual inúmeras ferramentas são utilizadas na execução de projetos BIM, para a análise de iluminação, o DIALux sobressai aos demais. Por meio de uma pesquisa conduzida por Kaempf e Paule (2016), foram identificados os programas mais utilizados por profissionais em diversos países, abrangendo entrevistas com aproximadamente mil indivíduos. Nessa pesquisa, o DIALux ganhou destaque como uma das ferramentas mais adotadas, na etapa de simulação e visualização dos projetos desenvolvidos. Moraes *et al.* (2020) enfatizam o papel do DIALux como uma ferramenta que viabiliza a modelagem parametrizada, a análise dos efeitos luminotécnicos e a consideração de critérios estabelecidos por normas ou pelo projetista. Além disso, destacam que o programa oferece a possibilidade de analisar diversos parâmetros relacionados ao desempenho visual e à eficiência energética. Entretanto, ressaltam que a interface gráfica do programa prioriza a apresentação dos resultados de  $E_m$ .

Amorim *et al.* (2021), executaram estudo de caso em edifícios públicos na cidade de Brasília, onde foi avaliado a aplicação de *retrofit* na iluminação. Os resultados demonstraram que o *retrofit* foi positivo no que tange qualidade e controle da iluminação, propiciou o bem-estar coletivo e maior produtividade dos usuários. No estudo de Oliveira *et al.* (2021), diferentes métodos de análise da iluminação natural no contexto BIM são apresentados, sendo um deles a integração da modelagem arquitetônica no Revit com a posterior avaliação da iluminação dentro do DIALux. A verificação da iluminação natural foi conduzida utilizando FLD. O programa emprega simulação estática, os valores obtidos apresentam um elevado grau de precisão para o dia do projeto.

Pereira (2017), após avaliar o desempenho da iluminação natural em 87 modelos arquitetônicos, constatou que em ambientes com profundos, não atenderam os valores necessários de FDL ao longo do ano. Ainda concluiu que em ambientes que o controle das luminárias é de maneira manual não foram aprovados frente aos valores objetivados.

Didoné (2009) utilizou de ferramentas computacionais na análise do desempenho luminoso e termo energético de edificações, um dos métodos empregados foi a simulação integrada, avaliando a influência da iluminação natural no consumo de energia dos equipamentos presentes no ambiente. O estudo utilizou de modelos arquitetônicos extraídos de pesquisas anteriores, para a cidade de Florianópolis/SC. Na simulação dos modelos, mais de 288 interações foram executadas, os resultados evidenciaram que o consumo de energia nos ambientes estava correlacionado à profundidade da sala. Foi constatado empiricamente que quanto maior a distância da abertura até o final do ambiente, menor é a incidência de luz natural, assim maior será a necessidade do fluxo do sistema artificial. Ele também chegou à conclusão de que os ambientes com maior porcentagem de abertura a fachada, maior será a incidência de luz natural, implicando na redução do consumo de iluminação artificial.

Horie (2018), realizou um estudo de caso em uma empresa de grande porte, onde observou o sistema atual e propôs a aplicação de um novo sistema com tecnologias LED (*Light Emitter Diode*). O estudo comprovou que apenas a

substituição por lâmpadas LED equivalentes às instaladas anteriormente, reduziu o consumo de energia em 50%. Posteriormente com a readequação do sistema, com base em simulações executadas no DIALux, para atendimento dos valores de  $E_m$ , a redução atingiu 9,54%.

Melo (2015) utilizou o DIALux para a execução de análises do sistema de iluminação, destacando a importância que o programa desempenha na avaliação dos sistemas atuais e propostos. Ele ressalta a possibilidade de testar várias opções de equipamentos, uma vez que a própria ferramenta disponibiliza um repositório digital repleto de alternativas. Além disso, destaca a capacidade de obter valores precisos de  $E_m$  no plano de trabalho, contribuindo para embasar a proposta de intervenção.

O sistema de automação das luminárias combina sensores fotométricos com *dimmers*. A estratégia de automatizar a iluminação de um ambiente qualifica a distribuição de luz pela área, redução do consumo de energia e do sistema, reduzindo a necessidade de reposição dos equipamentos (Pereira, 2017). Os fotossensores funcionam ao detectar radiação da luz natural, no ponto onde ela foi instalada e, controla as luminárias dimerizáveis, mantendo os valores de iluminância previamente configurados. Os sistemas dimerizáveis, que conseguem controlar a intensidade do equipamento de iluminação, resultam nas maiores reduções no consumo de energia com iluminação artificial, podendo atingir uma economia de até 70%. Estudos mostraram que em prédios comerciais, o sistema de controle pode melhorar de 30 a 40% no uso de iluminação artificial (Rocha e Pereira, 2011).

A execução de projetos de iluminação está intrinsecamente relacionada à utilização de indicadores para analisar o desempenho luminoso local. Moraes *et al.* (2018) destacam a importância de os projetistas utilizarem indicadores para a realização de projetos luminotécnicos, ressaltando também a relevância de as instituições normativas, especialmente em âmbito nacional, desenvolverem indicadores de eficiência que considerem a natureza das atividades desenvolvidas nos ambientes.

### 3. METODOLOGIA

Nesta seção, especifica-se a abordagem metodológica adotada para a realização deste estudo e o detalhadamente sobre as características da edificação, as etapas do processo, a seleção dos dados relevantes para análise, bem como a abordagem utilizada para o tratamento e verificação.

Para viabilizar a proposta desta pesquisa, inicialmente ocorreu a coleta e centralização de informações pertinentes ao objeto de estudo. Os dados essenciais foram extraídos da pesquisa previamente conduzida por Bouchahine e Zancanaro Júnior (2022) na mesma edificação e, também, informações sobre ambientes que não são mais utilizados ou que modificaram seu padrão de utilização, como dados complementares sobre a construção, foram solicitadas à prefeitura. Com os dados compilados, realizou-se a modelagem arquitetônica com auxílio do programa comercial Revit 2021. Esse processo envolveu a criação dos elementos construtivos e a parametrização do modelo.

Subsequentemente, o modelo arquitetônico foi importado para o programa DIALux 11.1, onde as informações cruciais para a análise luminotécnica foram incorporadas. Após essa etapa, foram conduzidas simulações de cenários de iluminação. O procedimento teve início com a avaliação do sistema de iluminação natural atual, a fim de mensurar o verdadeiro potencial do fluxo luminoso nos ambientes, sem nenhuma interferência de equipamentos lumínicos auxiliares. Valores estabelecidos na literatura foram empregados como métricas para avaliar os resultados.

O próximo passo foi realizar a simulação do sistema de iluminação artificial atualmente instalado. A avaliação se deu mediante a referência dos valores recomendados para iluminância estipulados para cada tipo de ambiente. Após essa análise, para os ambientes que não atenderam os valores necessários, foi proposto um novo sistema de iluminação artificial. O intuito foi atender aos critérios apresentados pela norma NBR 8995-1 (2013), envolvendo a implementação de novas luminárias e a exploração de sistemas de controle luminotécnico.

Por fim, uma avaliação das vantagens decorrentes da integração entre iluminação natural e o sistema de iluminação proposto foi com base em indicadores de eficiência energética. O fluxograma apresentado na Fig. 1 demonstra os caminhos adotados na metodologia.

#### 3.1 Objeto de estudo

A edificação da Prefeitura Municipal de Tramandaí situa-se na avenida da Igreja, número 346, no centro do município de Tramandaí/RS, com dimensões de 46 m de comprimento e 24 m de largura, constituída por cinco pavimentos que totalizam uma altura aproximada de 17,5 m e orientação Norte-Sul inclinada 57° a leste. A Fig. 2 apresenta a localização e o entorno da edificação.

A construção analisada é destinada ao poder executivo do município de Tramandaí, reunindo diversas secretarias e setores destinados à gestão da cidade, possuindo um quadro extenso de colaboradores fixos, ao mesmo tempo que ocorre trânsito intenso de pessoas. O prédio, construído na década de 80, não passou por atualizações estruturais e tecnológicas significativas. Atualmente, dos cinco pavimentos, apenas quatro estão em uso devido à proibição de utilização do último andar e do auditório, em decorrência de restrições impostas pelos órgãos responsáveis e problemas na infraestrutura. A edificação possui um horário de atendimento ao público das 13:00h às 19:00h de segunda a sexta-feira, período em que há grande circulação de pessoas. O consumo de energia elétrica da instituição varia significativamente no período de um ano, principalmente pela influência do clima da região onde está localizada, com estações bem definidas que variam de climas amenos a temperaturas mais frias.

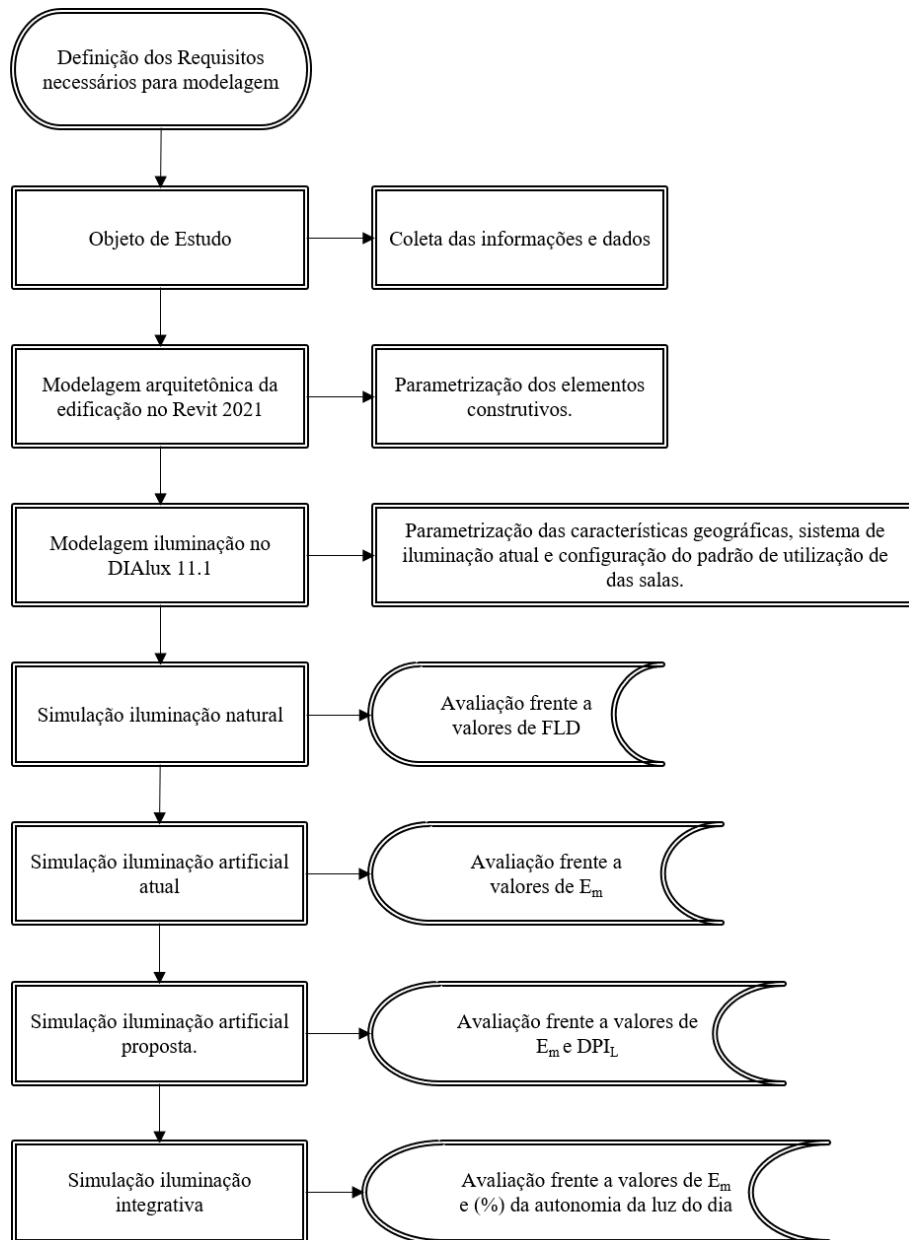


Figura 1 - Fluxograma dos processos envolvidos na modelagem (Autores, 2023).

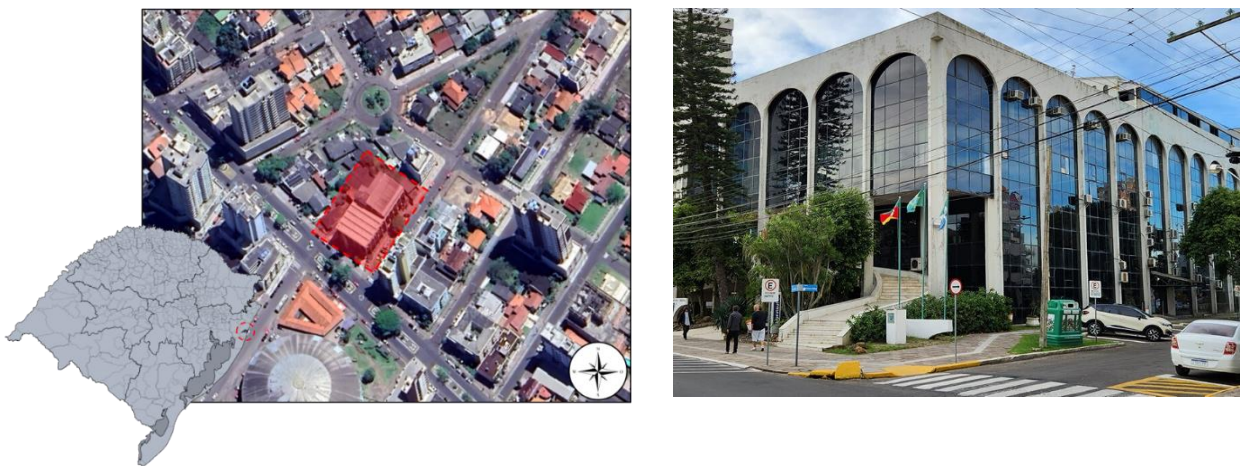


Figura 2 – (a) Localização Prefeitura de Tramandaí (Google Earth, 2023); (b) Fachada da Prefeitura (Litoral na Rede, 2023).

### 3.2 Modelagem arquitetônica

Inicialmente, na modelagem da edificação foi primordial configurar os elementos construtivos de acordo com os utilizados. O programa Revit 2021 é organizado por famílias, dentro da própria interface do programa é possível fazer a criação de novas famílias. Dessa maneira, foi modelado, junto das famílias de elementos construtivos, novos blocos de parede, fundação, laje, telhado e janelas. Para cada um dos itens configurados, foi necessário compor com as respectivas camadas de componentes e atribuir os parâmetros termo físicos, para possuir um elemento parametrizado. As propriedades termo físicas dos componentes construtivos foram extraídas de Bouchahine e Zancanaro Júnior (2022). Os elementos verticais e laje foram considerados com pintura na cor branca e, para o piso de ambos os pavimentos tons terrosos claros.

A edificação traz em sua fachada leste, oeste e sul janelas de vidro, ambas modeladas como montantes verticais constituídos por folhas de vidro, representadas por um modelo externo. Já internamente algumas divisórias de espaços são de vidro e foram implementadas por um modelo interno. Os modelos se diferenciam em relação ao vidro externo que possui película fumê, em oposição ao interno que é translúcido. Os parâmetros dos vidros foram: transmitância solar ( $T_s$ ), transmitância visível ( $T_v$ ), transmitância infravermelho ( $T_{in}$ ), refletividade solar frontal e posterior ( $p_s$ ), emissividade infravermelho frontal e posterior ( $\epsilon_{in}$ ) e coeficiente de ganho de calor (SHGC - *Solar Heat Gain Coefficient*). Na Tab. 1 os valores para ambos os modelos são apresentados.

Tabela 1 – Informações dos vidros (Bouchahine e Zancanaro Júnior, 2022).

Vidro	$T_s$	$T_v$	$T_{in}$	$p_s$	$\epsilon_{in}$	SHGC
Externo	0,460	0,460	0	0,050	0,840	0,590
Interno	0,775	0,881	0	0,071	0,840	0,810

Com os elementos construtivos parametrizados, a modelagem arquitetônica foi realizada utilizando como guia as plantas baixas e informações atualizadas da situação do prédio. A construção apresenta cinco pavimentos, dos quais os quatro estão sendo utilizados para as atividades do município, cada pavimento apresenta uma distribuição de espaços distintos. Após essas etapas iniciais, foi preciso modelar as estruturas no entorno da prefeitura, a NBR 15575-1 (2021) ressalta a importância de considerar os elementos no entorno próximo, uma vez que elas influenciam na incidência de iluminação natural. Apenas as estruturas que possuíam uma influência significativa foram consideradas.

Foi utilizado a extensão IFC (*Industry Foundation Classes*), para exportar a modelagem arquitetônica e todos os valores parametrizados, do programa Revit 2021 para o DIALux 11.1. O IFC possibilita a troca de informações sem perda ou alteração de dados, é um arquivo aberto criado para facilitar a interoperabilidade entre diferentes ferramentas.

### 3.3 Modelagem da iluminação

Iniciou-se com a criação de um projeto novo a partir de um modelo IFC, uma opção presente na ferramenta DIALux 11.1. Nessa etapa é feita pela personalização das informações a serem importadas do arquivo, como elementos construtivos, níveis, nomenclatura de ambientes e mobiliário. Todos os itens que compunham o arquivo foram considerados na importação. Com a modelagem criada, representada na Fig.3, à próxima etapa foi a configuração e ajuste dos elementos gráficos como as coordenadas do local em estudo, bem como sua orientação geográfica real.

Uma definição importante foi a conferência dos valores de reflexão das paredes, piso, teto e vidro. Esses foram definidos utilizando como guia os materiais presentes atualmente na edificação. Os valores assumidos de reflexão de 30% para o piso, 50% para as paredes e 80% para o teto, foram extraídos NBR 8995-1 (2013), de acordo com a cor branca das paredes e forros e tons claros do piso. Atribui-se aos vidros os valores de transmissão, reflexão e refração, dados não parametrizados no modelo arquitetônico. Para os vidros externos foi considerado reflexão de 5%, transmissão de 36% e refração de 1,5%, os internos foi de 9%, 87% e 1,5%, respectivamente (Paschoal e Vanderlei, 2017).



(a)



(b)

Figura 3 – Modelagem no DIALux 11.1 (a) entorno; (b) representação da fachada (Autores, 2023).



Atualmente a edificação possui 159 ambientes, desses apenas 136 ambientes possuem sistema de iluminação e foram considerados na modelagem do sistema de iluminação artificial. Do total dos ambientes utilizados, 104 possuem fachadas para o exterior com incidência direta de iluminação natural e somente esses foram considerados relevantes na simulação da iluminação natural. Para cada ambiente foi necessário inserir a área, o nome da sala, o perfil de utilização, altura do plano de uso e o perfil de manutenção. Isso permite que cada espaço possua seus próprios parâmetros de análise, pois esse valor é definido de acordo com a atividade desenvolvida. Foram considerados sete perfis de utilização, todos extraídos da NBR 8995-1 (2013), são eles: áreas de circulação/corredores (A), arquivos (B), banheiros/toaletes/vestiários (C), recepção (D), sala de espera (E), salas de reunião/conferência (F) e refeitório/cantinas (G). Na Fig. 4 é apresentado a quantidade de ambientes por classe e no APÊNDICE 1 a descrição de cada espaço classificado.

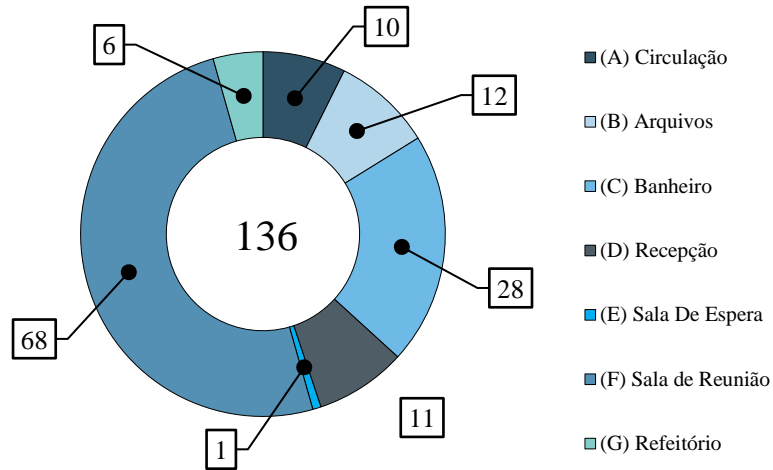


Figura 4 – Quantidade de ambientes por tipo (Autores, 2023).

Para todos os ambientes foi considerado que o perfil de utilização está 0,75 m de altura e zona marginal (distância da parede a ser desconsiderada no cálculo) igual a zero. Este último valor foi atribuído devido à falta de informações sobre a disposição das estações de trabalho, logo, recomenda-se não considerar espaçamento entre a parede e a zona marginal (NBR 8995-1, 2013). A representação para um ambiente pode ser vista na Fig. 5(a).

Nos ambientes perimetrais com incidência da iluminação natural direta foi necessário delimitar as zonas de primeira e segunda linha. A zona de primeira linha é a mais próxima à abertura para o exterior, enquanto a de segunda inicia no final da anterior, mostrado na Fig. 5(b). O limite entre as zonas é duas vezes a diferença de altura do plano de trabalho e o teto. A altura do plano, extraída do próprio guia para atividades de escritório e demais espaços, é igual a 0,75 m, que resultou na zona de primeira linha com profundidade de 5,22 m. Ao inserir o plano de cálculo nas salas, foi respeitado algumas restrições, *offset* de 30 cm das estruturas verticais e para a malha de cálculo, onde são aferidos os valores de FLD, foi considerado pontos a cada 0,5 m, em ambas as direções. A simulação foi realizada para o dia 21 de junho, no horário das 15:30h, com condições de céu médio, possibilitando identificar o potencial de aproveitamento da luz do dia.

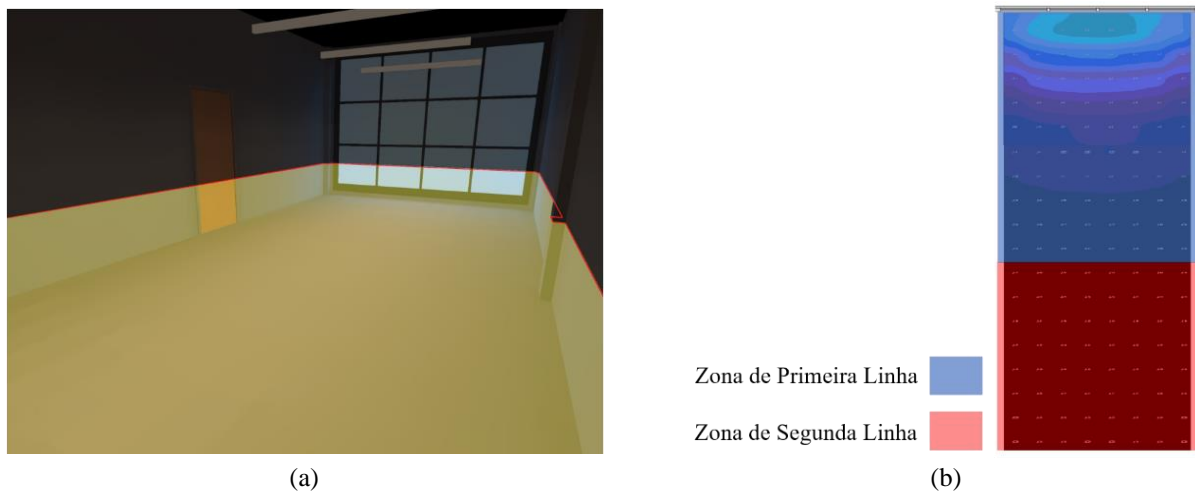


Figura 5 – Representações (a) do perfil de utilização; (b) zonas de primeira e segunda linha; (Autores, 2023).

### Avaliação da iluminação natural atual

A iluminação natural incidente é avaliada pela metodologia de verificação apresentada na certificação AQUA, podendo ser aplicado a novas construções como em *retrofit* (AQUA, 2018). A proposta apresentada no Guia Prático do Referencial de Avaliação da Qualidade Ambiental do Edifício é analisar o parâmetro do Fator de Luz do Dia (FLD) nos ambientes da edificação. Optou-se por esta abordagem pelo fato de ser um processo que abrange edificações do setor público, sendo fator limitante em outras normativas que não possuem estratégias para esse ramo. Outro fator determinante, o DIALux 11.1 avalia a iluminação natural através do FLD e a certificação AQUA é um dos poucos que apresentam métodos de análise com essa variável.

Após realizar o procedimento para toda a edificação, analisou-se os ambientes que atenderam os requisitos mínimos de desempenho apresentados no guia do processo de certificação AQUA. O valor do FLD típico para a classe (F) é superior ou igual a 1,2% para 80% da superfície de piso, para ambientes dos grupos (B), (C), (D), (E) e (G) é necessário garantir acesso ao FLD em 40% da superfície e, para classe (A) o FLD médio tem que ser superior a 0,5% (AQUA, 2018).

A Fig. 6 elucida os resultados obtidos a partir da simulação no programa DIALux 11.1 em relação à incidência de luz natural e auxilia a refletir sobre a influência da orientação da edificação, o entorno, como seus elementos construtivos. Os ambientes que possuem fachada para o noroeste apresentam maior penetração de iluminação natural no seu interior, o mesmo ocorre para a fachada sudoeste e nordeste. Influenciado diretamente pelo entorno da prefeitura, na fachada sudeste existe uma edificação horizontal (Fig. 3(a)) que compromete a incidência da iluminação nos ambientes que possuem abertura na fachada para essa orientação. Outro motivo que influencia é a disposição arquitetônica da construção, a cobertura da área externa do primeiro pavimento, como o piso do terceiro pavimento influenciam na incidência da iluminação natural nos ambientes do primeiro e segundo pavimentos. Os arcos presentes na fachada (Fig. 3(b)) com interferência no quarto pavimento, também são elementos arquitetônicos que bloqueiam o fluxo de iluminação natural, implicando diretamente no fluxo apresentado pelos ambientes.

Verificando por tipologia a porcentagem de ambientes que atenderam os valores indicados, a classe (C), (D), (E) e (G) atenderam para todos os ambientes os valores recomendados, seguido pelo grupo (B) com 75%, (A) com 50% e, (F) com 30,6%. Para fim de comparação dos 104 ambientes que foram considerados na simulação, 53% atingiram os parâmetros recomendados no guia de certificação AQUA. O desempenho não foi superior, principalmente para os ambientes do tipo (F), devido à necessidade de obter um FLD padrão para 80% da superfície de primeira linha. Porém, se considerar o valor médio dos ambientes, junto com a distribuição na região imediata, grande parcela dos ambientes são aptos para exploração da iluminação natural.

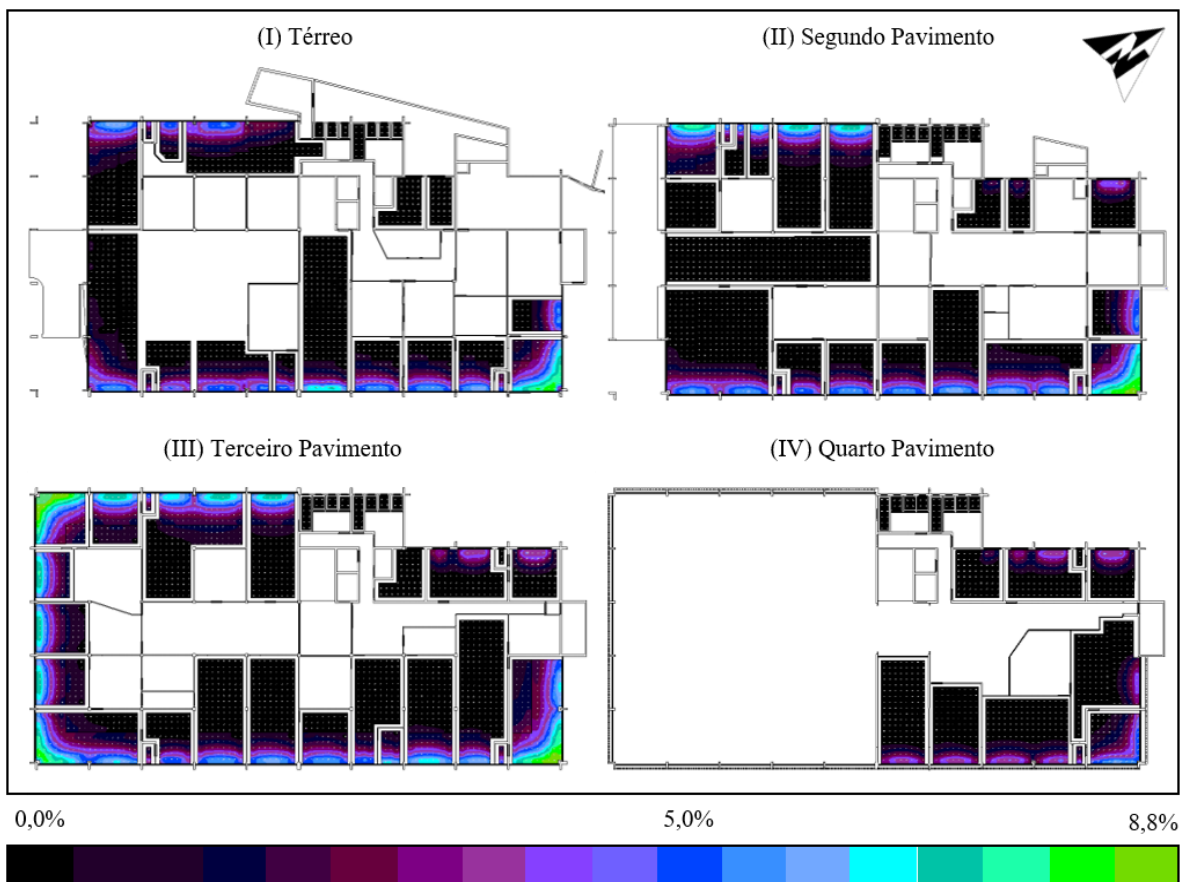


Figura 6 – Valores de FLD obtidos pela simulação da iluminação natural (Autores, 2023).

### Avaliação do sistema de iluminação artificial atual

Para avaliar o desempenho da iluminação artificial presente na prefeitura foram utilizados dados levantados por Bouchahine e Zancanaro Júnior (2022) e por solicitação via e-mail, referente ao sistema de iluminação artificial da edificação e implementados no programa DIALux 11.1. A prefeitura dispõe de quatro modelos de equipamentos de iluminação: luminárias com duas lâmpadas fluorescentes T8, luminárias com quatro lâmpadas fluorescentes T8, lâmpadas de bulbo fluorescente e LED. O DIALux 11.1 oferece uma biblioteca com diversos equipamentos de iluminação de diferentes fornecedores, tecnologias, fluxo luminoso, potência e outras características, todos em formato IES (*Illuminating Engineering Society*), que é uma extensão de arquivo que carrega as informações sobre o comportamento da emissão de luz de uma luminária. A partir dessa biblioteca, foram selecionadas as luminárias semelhantes às presentes no local, levando em consideração parâmetros como potência, fluxo luminoso, tecnologia e temperatura. Com os modelos definidos, as luminárias foram atribuídas a cada ambiente, sendo considerada a instalação de forma sobreposta.

A iluminância mantida para cada ambiente, é equivalente ao valor médio da incidência no plano de utilização. Os valores obtidos foram comparados aos valores de iluminância mantida, extraídos da NBR 8995-1 (2013), para cada tipo de atividade e apresentados na Tab. 2. Nesta abordagem apenas se considerou o comportamento da iluminação artificial, isto é, desconsiderando a iluminação natural. Este cenário pode representar uma situação extrema ou de uso noturno da edificação. A Fig. 7 apresenta as curvas de iluminância (*isolux*) nos ambientes em ambos os pavimentos, que elucida o baixo desempenho do sistema presente atualmente. Observa-se que apenas 10,29% dos ambientes presentes atingiram os valores de  $E_m$  sugeridos pela NBR 8995-1 (2013). Dentre as sete classes apenas a (A) atingiu o valor indicado em norma para 70% dos ambientes, seguido por (B) com 25%, (G) com 16,7%, (C) com 10,7% e as salas do tipo (D), (E) e (F) não atingiram os níveis mínimos de  $E_m$ . Os valores de  $E_m$  de cada ambiente é apresentado no APÊNDICE 1.

Os resultados indicam a não conformidade das soluções de iluminação presente, ocasionando na falta dos requisitos mínimos, para a execução da atividade dos colaboradores, podendo acarretar danos à saúde e, influenciar no serviço realizado, possibilitando a necessidade de uma proposta de intervenção, que qualifica o sistema de acordo com as necessidades indicadas pela NBR 8995-1 (2013). Para tal demanda é proposto um novo sistema de iluminação artificial nos ambientes utilizados através de luminárias com qualidade de iluminação superior à atual.

Tabela 2 - Valores de iluminância mantida (NBR 8995-1, 2013).

Atividade	$E_m$ (lux)	Atividade	$E_m$ (lux)	Atividade	$E_m$ (lux)	Atividade	$E_m$ (lux)
(A)	100	(C)	200	(E)	200	(G)	200
(B)	200	(D)	300	(F)	500		

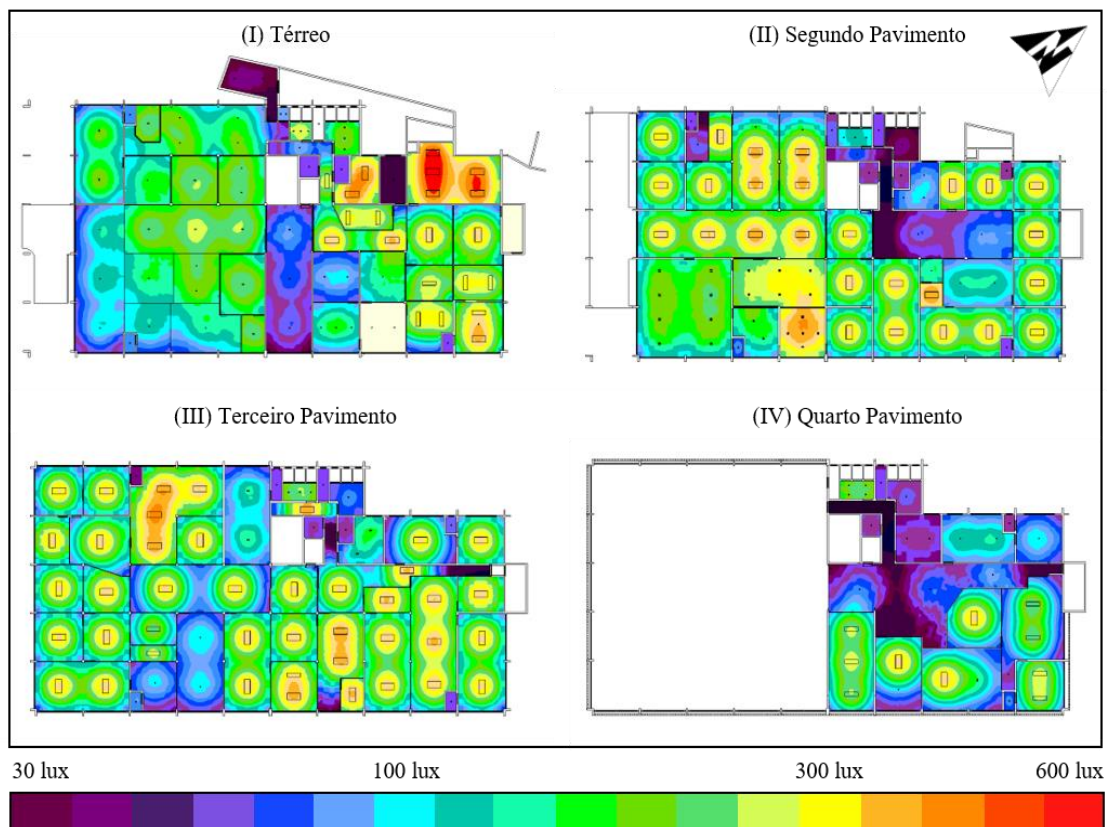




Figura 7 – Iluminância incidente nos ambientes da prefeitura – iluminação atual (Autores, 2023).

### 3.4 Proposta de um novo sistema de iluminação artificial

Com o desempenho abaixo do exigido em 89,71% dos ambientes analisados, uma nova solução para o sistema de iluminação artificial foi estimada. Para o dimensionamento dos novos equipamentos de iluminação, foi utilizado o método dos lumens, ele auxilia na definição da quantidade de luminárias necessárias para cada ambiente. Por esse processo é possível definir a quantidade de equipamentos de iluminação, com base no valor de iluminância mantida necessária. Para tal é necessário definir a luminária a ser empregada e suas características.

Como os valores de  $E_m$  necessários simulados na seção 3.3, foi definido as novas luminárias. Os modelos definidos são constituídos por lâmpadas LED, à estrutura é composta por aletas parabólicas e refletores de alumínio em alto brilho, que auxilia no Controle do Ofuscamento (UGR – *Unified Glare Rating*) das luminárias. Ambos os modelos são indicados para ambientes de reunião, recepção e escritórios. As luminárias são da marca Lumicenter, pois disponibilizam informações técnicas sobre os produtos, como o arquivo IES das luminárias, item essencial para a simulação. Dois modelos foram utilizados e são apresentados na Tab. 3. Para os ambientes (A), (B) e (C) foi utilizado o modelo 2, o modelo 1 foi usado nos demais ambientes.

Tabela 3 - Parâmetros das luminárias utilizadas (Adaptado de Lumicenter *Lighting* (2023)).

Modelo	Nome	Fluxo Luminoso (lm)	Potência (W)	Eficácia (lm/W)	Temperatura (K)
1		6880	70	98	4000
2		4200	40	105	-

Subsequentemente, a definição da Razão de Cavidade do Ambiente (*RCR – Room cavity ratio*) para cada sala foi determinada, parâmetro disponibilizado na ficha técnica das luminárias. O RCR é um coeficiente global de utilização de uma luminária no ambiente, que se baseia na transferência de fluxo nas superfícies que compõem o local em análise, é definida para determinar os fatores de utilização. Ele é definido dependendo da configuração da sala, se o ambiente é retangular se utiliza a Eq. (1), para geometria quadrada a Eq. (2) e se for irregular a Eq. (3) (Solano, 2017),

$$RCR = \frac{5 \cdot h \cdot (C + L)}{A} \quad (1)$$

$$RCR = \frac{10 \cdot h}{L} \quad (2)$$

$$RCR = \frac{2,5 \cdot h \cdot P}{A} \quad (3)$$

onde,  $h$  é altura entre a superfície de trabalho e o plano das luminárias (m),  $C$  o comprimento do ambiente (m),  $L$  a largura do ambiente (m),  $A$  área do ambiente ( $m^2$ ) e  $P$  o perímetro da sala (m). Para os ambientes, (D), (E), (F) e (G) foi considerado que às luminárias estão dispostas a 0,62 m do forro, já que o modelo definido para essas salas é instalado de forma pendente. Com o RCR determinado, foi possível definir o Fator de Utilização ( $F_u$ ) para cada luminária. As informações foram extraídas da ficha técnica das luminárias e apresentadas na Tab. 4.

Após definir as características das luminárias para cada ambiente, apresentadas no APÊNDICE 2, foi utilizado a Eq. (4), extraída de Solano (2017), para definir a quantidade de luminárias necessárias por ambiente.  $E_m$  todos os casos o valor final de luminárias foi arredondado para o número inteiro superior.

$$N = \frac{E_m \cdot A}{\varphi \cdot F_u \cdot F_m} \quad (4)$$

onde  $\varphi$  o fluxo luminoso da luminária (lm) e  $F_m$  o fator de manutenção. Com a quantidade de luminárias definidas, foi atribuído ao modelo da edificação as novas luminárias para realização das simulações, seguindo as mesmas considerações utilizadas na avaliação do sistema atual.

Tabela 4 - Fator de utilização para as luminárias escolhidas (Adaptado de Lumicenter *Lighting* (2023)).

Modelo 1		Modelo 2	
<b>Teto (%)</b>	70	<b>Teto (%)</b>	70
<b>Parede (%)</b>	50	<b>Parede (%)</b>	50
<b>Piso (%)</b>	20	<b>Piso (%)</b>	20
<b>RCR</b>	<b>Fu (%)</b>	<b>RCR</b>	<b>Fu (%)</b>
0	117	0	87
1	106	1	79
2	95	2	72
3	86	3	65
4	78	4	59
5	71	5	53
6	64	6	49
7	59	7	45
8	54	8	41
9	50	9	38
10	47	10	35

### 3.5 Proposta da análise integrativa entre a iluminação natural e artificial

Iluminação integrativa proporciona vantagens, tanto na qualidade de iluminação do ambiente, como constrói dinâmicas eficientes no que tange a utilização. Desta maneira foi realizada uma nova modelagem, utilizando o sistema artificial dimensionado na seção 3.4 considerando um sistema automatizado que controla a potência das luminárias de acordo com a incidência da iluminação natural. Para isso, o DIALux 11.1 possui uma função que permite a adição de sensores. O equipamento mede o valor de iluminância obtido através da incidência da luz natural, no plano de utilização que ele foi atribuído e, controla o fluxo luminoso das luminárias para atingir o valor de  $E_m$  necessária. O sensor controla apenas as luminárias instaladas no ambiente o qual foi atribuído.

Nesta modelagem foi atribuído o sensor somente aos ambientes que possuíssem incidência direta de iluminação natural, que totalizou 71 ambientes. Para cada equipamento foi inserida informações de utilização do espaço e o valor de  $E_m$  necessário para cada tipologia, extraída da Tab. 2. Adicionou-se a quantidade de dias que o espaço está em uso, que para a prefeitura são cinco.

### 3.6 Avaliação do sistema proposto

Nesta etapa foi utilizado indicadores de eficiência para avaliar o desempenho do sistema de iluminação, empregando como referência boas práticas, no que rege edificações de serviço público. O primeiro deles extraído da INI-C (2022), que dispõe do indicador de densidade de potência de iluminação limite ( $DPI_L$ ), para diferentes atividades da edificação, apresentados na Tab. 5. Outra referência de  $DPI_L$  para edificações que dispõem de atividades de serviço público é proposta pelo ABCB, mostrado na Tab. 6. Estes últimos limites foram utilizados com a proposta de comparar aos indicadores da INI-C (2022).

Tabela 5 - Classificação da classe de eficiência de acordo com a  $DPI_L$  (Adaptado de INI-C (2022)).

Atividade	$DPI_L$ Classif. A ( $W/m^2$ )	$DPI_L$ Classif. D ( $W/m^2$ )	Atividade	$DPI_L$ Classif. A ( $W/m^2$ )	$DPI_L$ Classif. D ( $W/m^2$ )
(A)	7,10	11,36	(E)	7,55	9,60
(B)	4,95	8,00	(F)	11,50	19,04
(C)	9,15	13,73	(G)	10,00	14,08
(D)	11,50	19,04			

Tabela 6 - Densidade de potência de iluminação limite para valores de iluminância (Adaptado de ABCB (2016)).

$E_m$ (lux)	$DPI_L$ ( $W/m^2$ )	$E_m$ (lux)	$DPI_L$ ( $W/m^2$ )
$80 < E_m \leq 160$	9	$240 < E_m \leq 320$	11
$160 < E_m \leq 240$	10	$480 < E_m \leq 540$	14

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das simulações obtidos a partir da implementação da metodologia, demonstram por meio do atendimento dos indicadores de  $E_m$ , o potencial da edificação na utilização da iluminação natural e artificial. Nesta seção será apresentado os resultados numéricos do dimensionamento do sistema de iluminação artificial, a integração da iluminação natural com o novo cenário da iluminação artificial integrados a controles de iluminação e os indicadores de desempenho determinados a partir das propostas de melhoria.

### 4.1 Novo sistema de iluminação artificial

A análise do desempenho do sistema de iluminação dimensionado na seção 3.4 utilizou dos valores indicados na Tab. 2. Para validar a proposta do novo sistema de iluminação foi necessário que os ambientes atendessem os valores de  $E_m$  indicado para cada tipologia. Dos 136 espaços avaliados, todos atingiram os valores recomendados por meio da nova proposta. A Fig. 8 reflete visualmente o resultado obtido, destacando o crescimento na uniformidade da iluminação no ambiente. Além disso, é notável que o dimensionamento sucedeu de maneira equilibrada, já que os valores de  $E_m$  não ultrapassaram de forma exacerbada o valor objetivado de  $E_m$ .

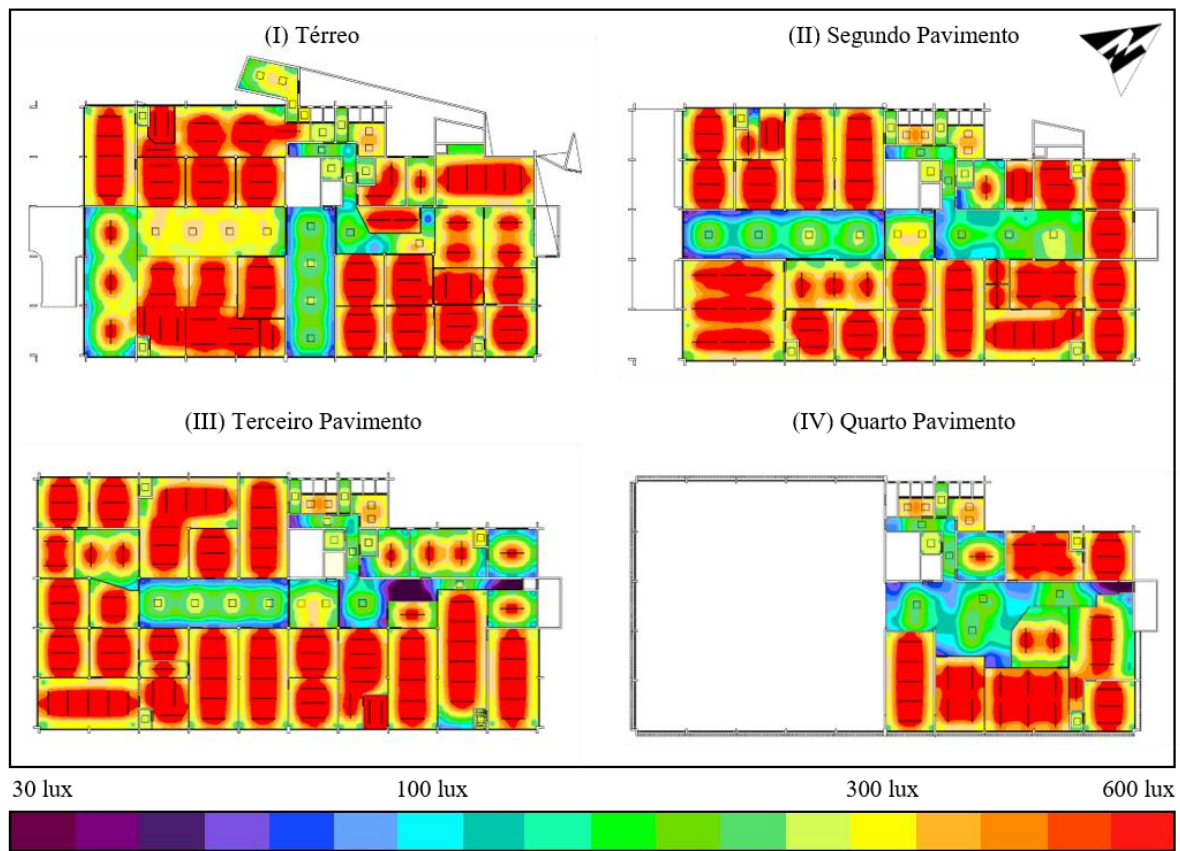


Figura 8 – Iluminância obtida pela simulação – iluminação proposta (Autores, 2023).

A Fig. 9 apresenta a comparação entre o sistema de iluminação atual e o sistema proposto para o pavimento térreo. Observa-se que alguns ambientes apresentam visualmente maior iluminância, são eles: salas 1 (Acesso 1), 2 (ADM Saúde 01), 14 (Cadastro), 19 (Copa) e 22 (Depósito). A disposição de cada ambiente pode ser vista no APÊNDICE 3. Também, é possível avaliar pela perspectiva do parâmetro de  $E_m$ , onde os ambientes citados apresentam no sistema atual de iluminação, 50,3 lux, 159 lux, 131 lux, 21 lux, 11,7 lux, respectivamente. Já para o sistema dimensionado, nota-se valores superiores de  $E_m$  para o pavimento térreo, são eles: 172 lux, 771 lux, 748 lux, 383 lux, 292 lux, respectivamente. Atribui-se esse aumento ao acréscimo de luminárias aos ambientes, que conseqüentemente elevou a quantidade de fluxo luminoso. Para os ambientes citados, o dimensionamento apresentou o crescimento de 55%, 19%, 14% e 14%, respectivamente.

O segundo pavimento é composto, na sua maioria, por ambientes com padrão de utilização (F), como avaliado na seção 3.3, espaços que não atenderam os valores recomendados em nenhum ambiente. Observa-se na Fig. 10 a comparação entre os valores de  $E_m$  para o atual e novo dimensionamento, obtendo visualmente homogeneidade na distribuição de iluminação nos ambiente. Os ambientes 59 (Circulação 02) e 83 (Seplan), destacam-se na diferença que ocorreu após a modificação das luminárias. O valor de  $E_m$  nos ambientes passaram de 50,9 lux para 183 lux e 119 lux para 693 lux, respectivamente. Isto representa um aumento do fluxo luminoso de 15% para o ambiente 59 e de 34 % para o ambiente 83.

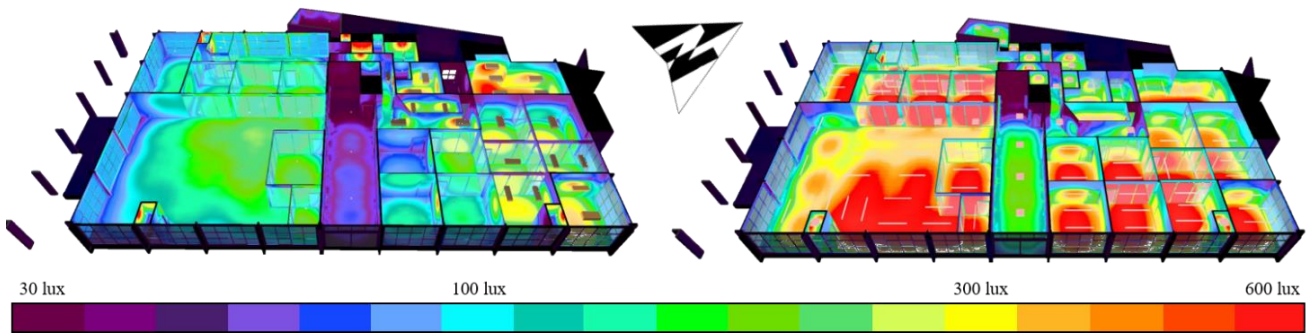


Figura 9 – Iluminância mantida no pavimento térreo - atual x proposta (Autores, 2023).

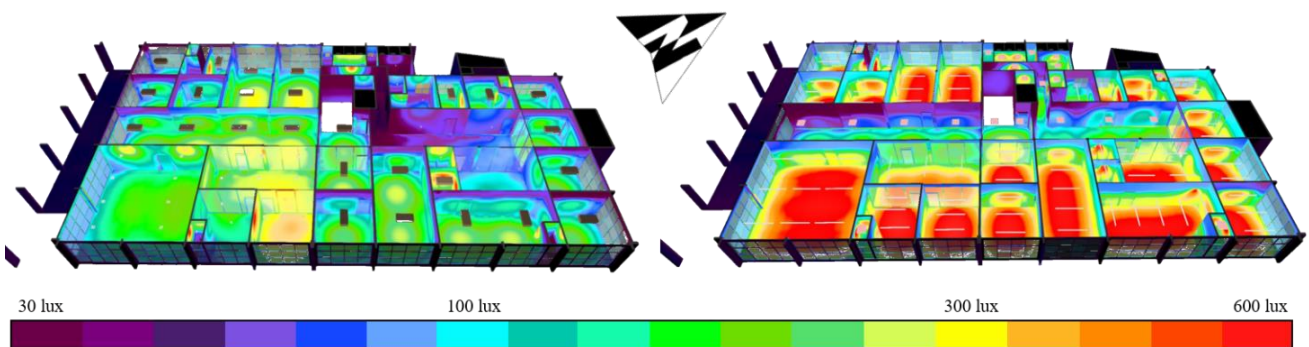


Figura 10 – Iluminância mantida no segundo pavimento - atual x proposta (Autores, 2023).

O terceiro pavimento, também, possui na sua maioria ambientes com padrão de utilização (F) e a comparação entre a  $E_m$  é apresentada na Fig. 11. Dentro do terceiro andar os ambientes 114 (Engenharia) e 120 (Pedagógico) se destacam negativamente quando avaliado o valor de sistema atual, devido ao valor de  $E_m$  abaixo do recomendado para a classe de atividade desenvolvida nesses ambientes. A sala 114 apresentou no sistema atual 227 lux no plano de trabalho, com a proposta de intervenção o valor passou para 608 lux. Para o ambiente 120, o valor passou de 87,5 lux para 602 lux. Este aumento considerável na sala 120 é atribuído a quantidade de luminárias instaladas, na instalação atual apenas uma luminária está presente, já no novo sistema considerou cinco luminárias, ocorrendo acréscimo de 23% no fluxo luminoso.

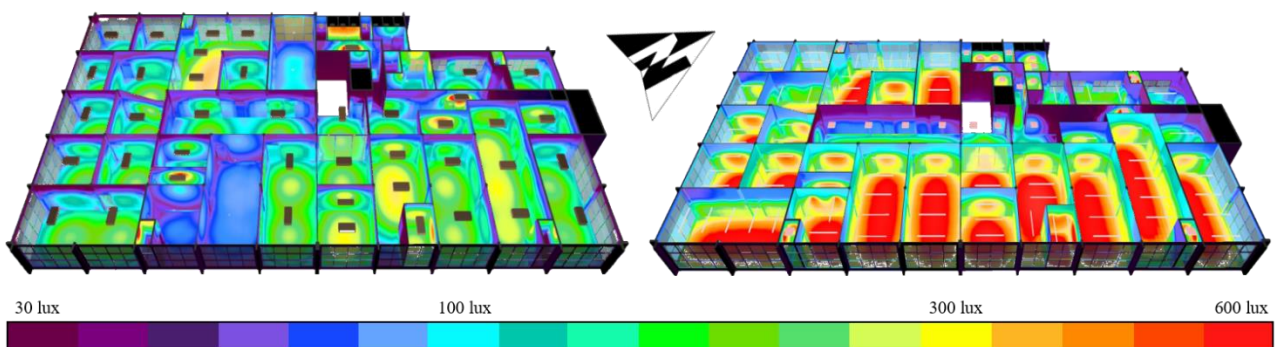


Figura 11 – Iluminância mantida no terceiro pavimento - atual x proposta (Autores, 2023).

No quarto pavimento, mostrado na Fig. 12, as melhorias no fluxo incidente nas áreas são evidentes, porém no ambiente 145 (Circulação 04) a diferença entre os dois cenários é perceptível. Por se tratar de um ambiente com layout não linear, como mostra a Fig. 13, é necessário que a quantidade de luminárias seja superior para abranger todas as áreas do ambiente. Atualmente o ambiente possui três luminárias, no novo sistema foi considerado a necessidade de seis luminárias, o percentual de crescimento do fluxo luminoso instalado foi igual a 32%. Com a nova disposição o valor de  $E_m$  passou de 45,2 lux para 150 lux.

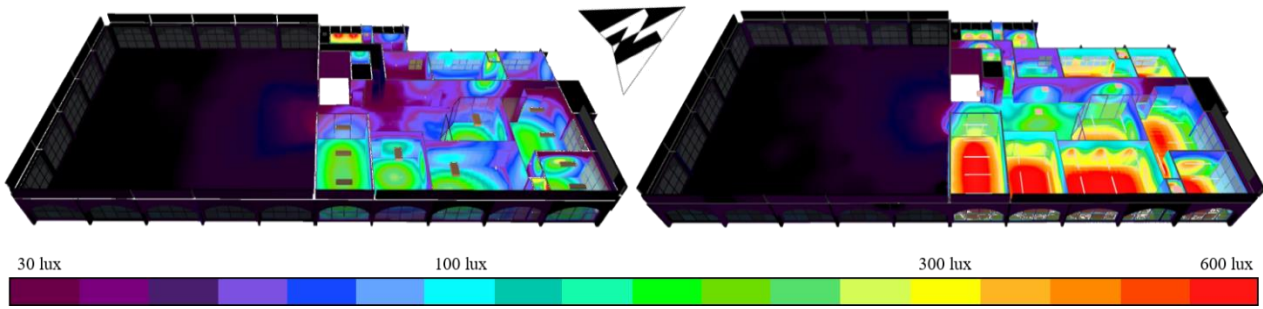


Figura 12 – Iluminância mantida no quarto pavimento - atual x proposta (Autores, 2023).

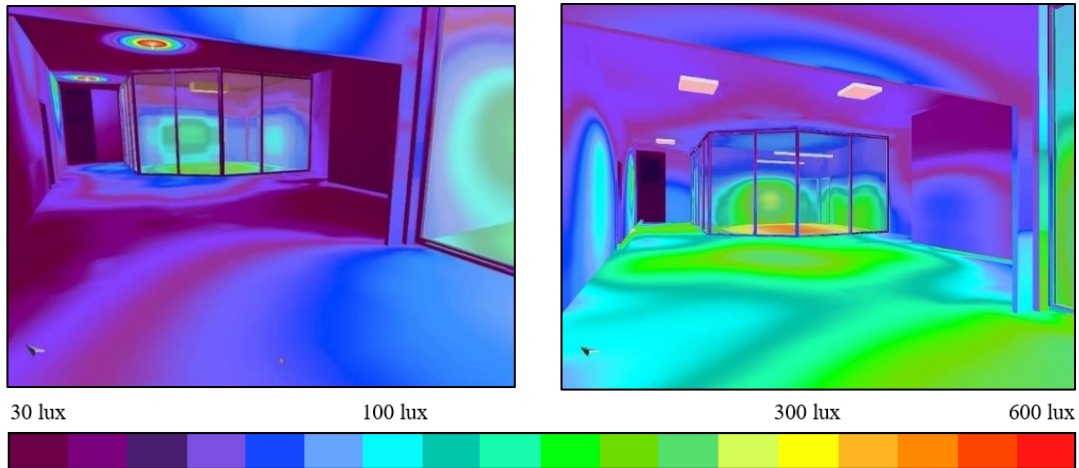


Figura 13 – Representação do cenário atual x proposta – circulação 04 (Autores, 2023).

Assim, ao avaliar ambos os casos citados, é evidente a inadequação do sistema de iluminação atual, em razão de dois motivos principais. O primeiro deles é a quantidade inadequada de luminárias instaladas por ambiente, a edificação apresenta uma disposição variada, que influencia na necessidade de equipamentos em locais que, mesmo próximos a outros equipamentos de iluminação, o fluxo de iluminação não incide na região. O segundo ponto é em relação ao fluxo luminoso por ambiente, que é inferior ao necessário na maioria dos espaços, agravado pela utilização de tecnologias ineficientes. Ao confrontar os sistemas atual e o proposto é visível à melhoria em relação ao cenário atual. Por meio da Fig. 14 é possível observar que os ambientes da classe (F), que não atende os valores de  $E_m$  para o sistema atual, está correlacionado a ineficiência na distribuição das luminárias sem considerar as características de utilização da classe.

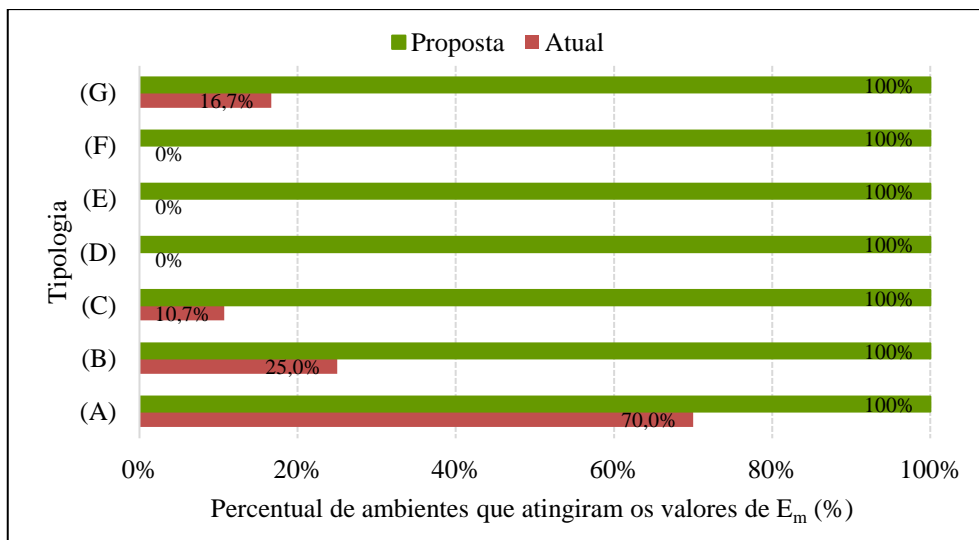


Figura 14 – Percentual dos ambientes que atingiram os valores de  $E_m$  por tipologia . atual x proposto (Autores, 2023).



## 4.2 Integração entre a iluminação artificial e natural

Os resultados obtidos por meio de simulação, que consideram a contribuição da iluminação artificial e natural são apresentados na Fig. 15. Observa-se que nos ambientes onde ocorre incidência direta de iluminação natural, o valor de iluminância mantida é acrescido.

Ao equiparar a simulação que considera a iluminação natural mais a contribuição iluminação artificial dimensionada, torna-se evidente a elevação nos níveis de iluminação principalmente nos espaços que recebem iluminação natural direta. Outro aspecto a destacar é o crescimento da homogeneidade do fluxo luminoso nas áreas imediatas às aberturas, que se estende até o interior dos ambientes.

Na Tab. 7 é disposto a comparação para os 71 ambientes considerados na análise. Todos os locais apresentaram crescimento na  $E_m$ , em relação ao sistema de iluminação proposto. Porém os ambientes 18, 19, 57, 58, 63, 64, 65, 70, 72, 75, 93, 94, 104, 109, 114, 119, 122, 129, 146, 150, 151 apresentam valor superior a 100% do obtido para o cenário anterior. Estes detêm uma característica em comum, apresentam abertura para a coordenada noroeste da edificação e sem presença de construções altas, possibilitando obter uma boa incidência luminosa nos ambientes.

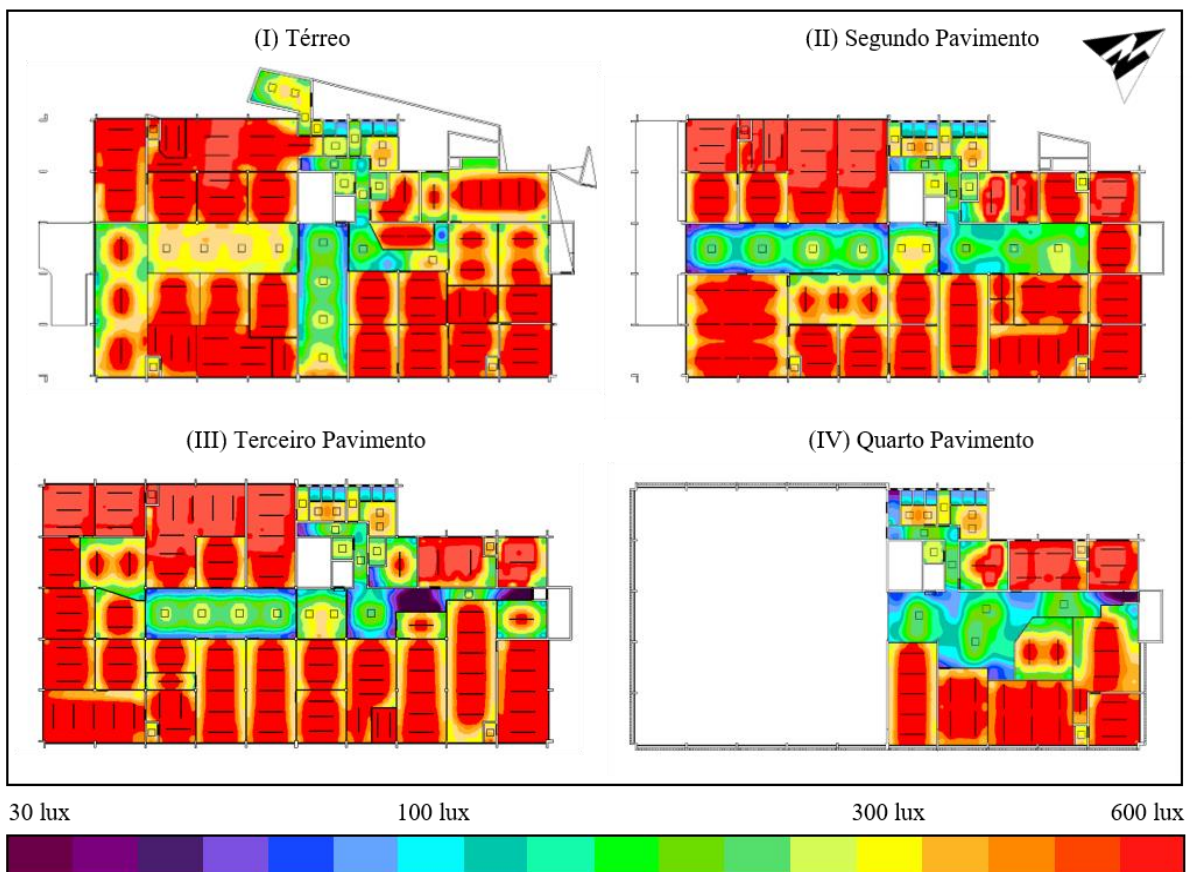


Figura 15 – Iluminância obtida por meio de simulação – iluminação artificial e natural (Autores, 2023).

Os ambientes 57, 94, 104 e 119 apresentaram os maiores valores de acréscimo no valor da  $E_m$ . Esse foi respectivamente de 671%, 446%, 730% e 347%. As salas 57 e 104 são da classe (C), o que influencia diretamente no resultado, já que suas dimensões são reduzidas, praticamente toda sua área se encontra nas regiões próximas à abertura. Para avaliar de maneira visual os ambientes 94 e 119, será comparado os resultados obtidos constando apenas com o sistema de iluminação artificial, o segundo considerando a contribuição da iluminação natural junto com a artificial, as Fig. 16 e Fig. 17 apresentam a conferência. Observa-se que é possível destacar à influência que a quantidade de janelas presente no ambiente influencia no valor de iluminação natural, ambos os ambientes apresentam maior quantidade de abertura para o exterior que os demais locais.

Para poder compreender a diferença dos dois cenários, foi somatizado os valores de iluminância por classe é o total foi dividido pelo número de ambientes correspondentes. Comparando os valores obtidos para os dois cenários propostos e, a recomendados na NBR 8995-1 (2013), a Fig. 18 apresenta os valores ficando evidente o atendimento em ambos os casos, porém se destaca o potencial que a luz natural detém. É possível identificar que as classes (F) e (G) apresentam valores superiores aos demais, em virtude do percentual elevado de ambientes da categoria que recebem iluminação natural. Considerando que a classe (F) possui 68 ambientes, 71,1% desse total apresenta abertura para o exterior, já para o tipo (G) o percentual aumenta para 83%.

Tabela 7 – Valores de  $E_m$  para: Iluminação artificial x iluminação artificial + natural (Autores, 2023).

<b>Nº do Ambiente</b>	<b>Classe</b>	<b><math>E_m</math> (lux) Proposto</b>	<b><math>E_m</math> (lux) Proposto + Iluminação Natural</b>	<b>Nº do Ambiente</b>	<b>Classe</b>	<b><math>E_m</math> (lux) Proposto</b>	<b><math>E_m</math> (lux) Proposto + Iluminação Natural</b>
1	(A)	172	215	82	(F)	611	969
3	(F)	745	841	91	(F)	643	903
4	(B)	605	717	92	(F)	901	1033
9	(C)	284	389	93	(B)	352	1279
12	(C)	285	570	94	(B)	257	1402
13	(C)	285	438	97	(C)	327	433
14	(F)	748	870	100	(C)	285	440
18	(F)	606	1219	103	(C)	289	398
19	(G)	383	1121	104	(C)	296	2456
23	(E)	312	419	107	(F)	606	679
24	(F)	703	819	108	(F)	710	749
27	(F)	768	872	109	(G)	304	860
28	(F)	925	1276	114	(F)	608	1883
30	(F)	551	710	115	(F)	539	859
34	(F)	610	798	117	(F)	578	617
35	(F)	574	812	118	(F)	645	903
36	(F)	634	977	119	(F)	607	2711
40	(F)	647	761	120	(F)	602	658
47	(F)	652	751	121	(F)	603	664
54	(C)	304	407	122	(F)	607	2126
56	(C)	292	433	126	(F)	573	923
57	(C)	306	2360	127	(F)	690	763
58	(F)	704	1438	128	(F)	568	796
61	(F)	615	664	129	(F)	646	2648
62	(G)	304	850	131	(F)	660	776
63	(G)	438	1372	138	(F)	646	714
64	(F)	602	1781	139	(D)	414	482
65	(F)	604	1768	143	(C)	319	418
68	(F)	607	715	144	(C)	282	364
69	(F)	579	635	146	(G)	259	697
70	(F)	608	2680	148	(F)	622	671
72	(F)	683	1664	150	(F)	637	1843
75	(F)	707	2261	151	(F)	683	1701
77	(F)	650	859	152	(F)	611	839
78	(F)	689	780	153	(F)	611	648
79	(F)	728	784				

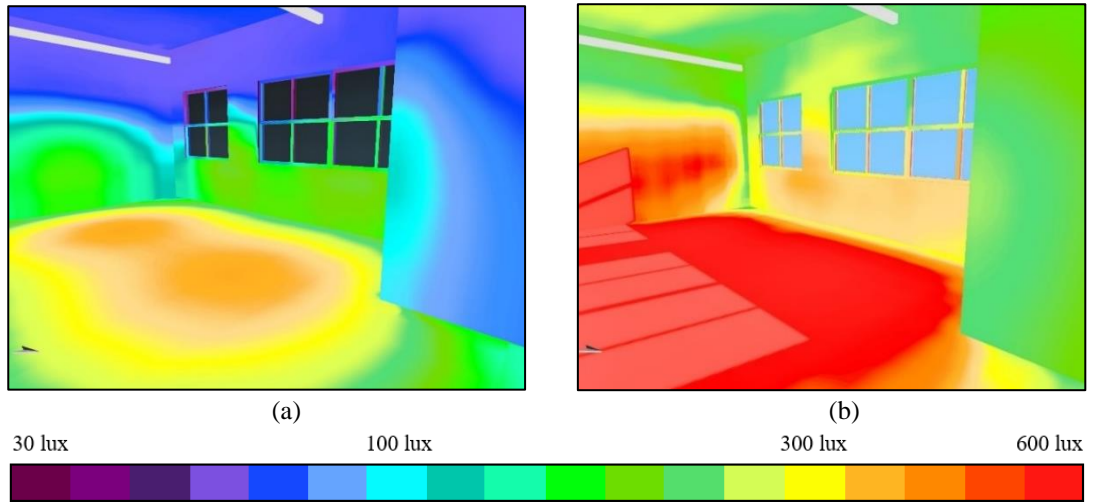


Figura 16 –  $E_m$  no ambiente 94 (a) sem iluminação natural; (b) com iluminação natural (Autores, 2023).

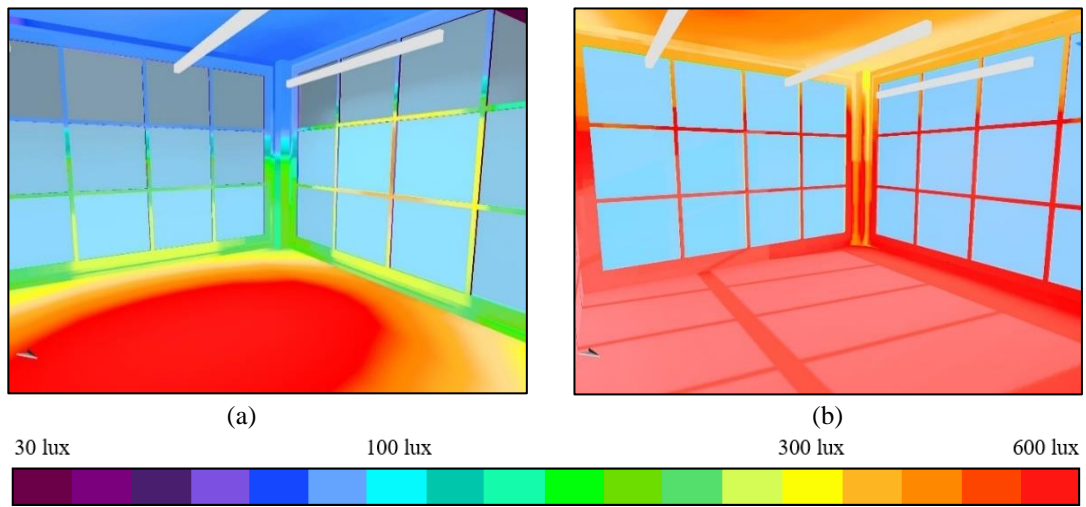


Figura 17 –  $E_m$  no ambiente 119 (Obras) - (a) Proposta sem iluminação natural; (b) proposta com iluminação natural; (Autores, 2023).

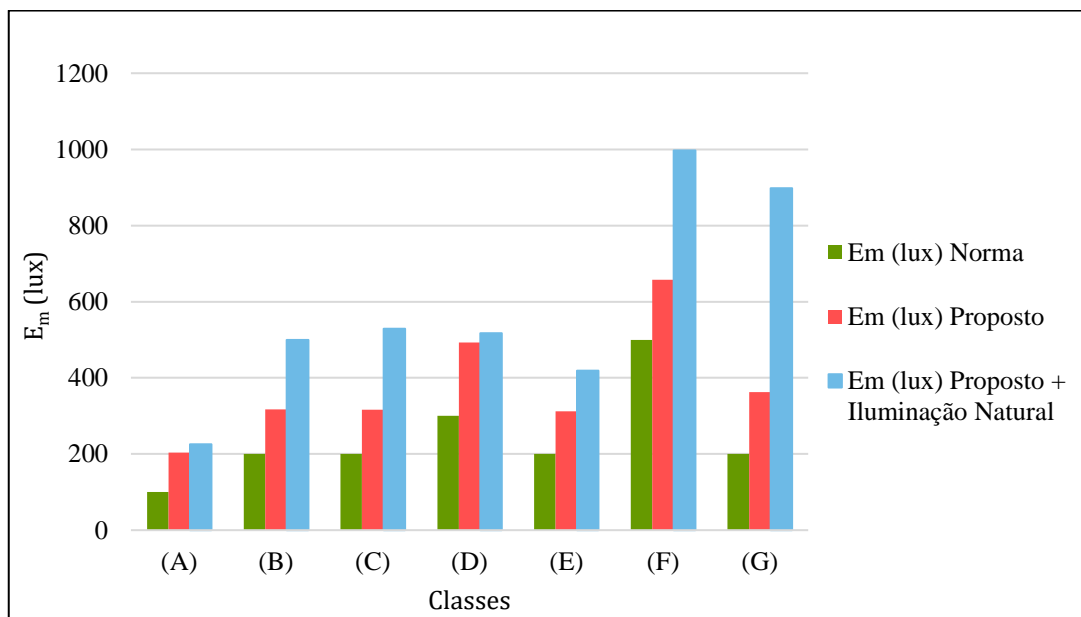


Figura 18 – Comparação da iluminância por categoria (Autores, 2023).

No total 71 ambientes englobam iluminação natural direta e a iluminação artificial. Exclusivamente nesses foi avaliado a utilização de sensores para controlar os equipamentos de iluminação. Entre os ambientes 67,60% são do tipo (F), seguido por 16,9% (C), 7,04% (G), 4,22% (B) e 1,40% as classes (A), (D) e (E). Na Fig. 19 são mostrados os resultados expressos em percentual de autonomia da luz natural, sendo que cada ambiente obteve um valor específico para atender às necessidades do tipo de atividade desenvolvida.

Os ambientes 19, 58, 69, 97 e 143, obtiveram a menor porcentagem de aproveitamento. As salas 19 (Copa 01) e 58 (Central Telefônica) estão localizadas em posições desprivilegiadas, na qual sofrem sombreamento da própria disposição arquitetônica. O ambiente 69 (Gabinete do Prefeito) possui uma extensão superior aos demais, que impede a penetração da iluminação natural no ambiente, em conjunto com uma das suas fachadas que é encoberta pela marquise do nível superior. Os banheiros (97 e 143), possuem apenas uma basculante, que não permite a entrada de iluminação natural significativa.

Para os demais ambientes a autonomia da luz natural foi superior a 65%, assim resultaria na redução do uso de iluminação artificial, além de se tratar de uma fonte de iluminação de alto índice de reprodução de cor, que resulta em uma qualidade na reprodução das cores, item primordial nos ambientes que são desempenhadas atividades visuais.

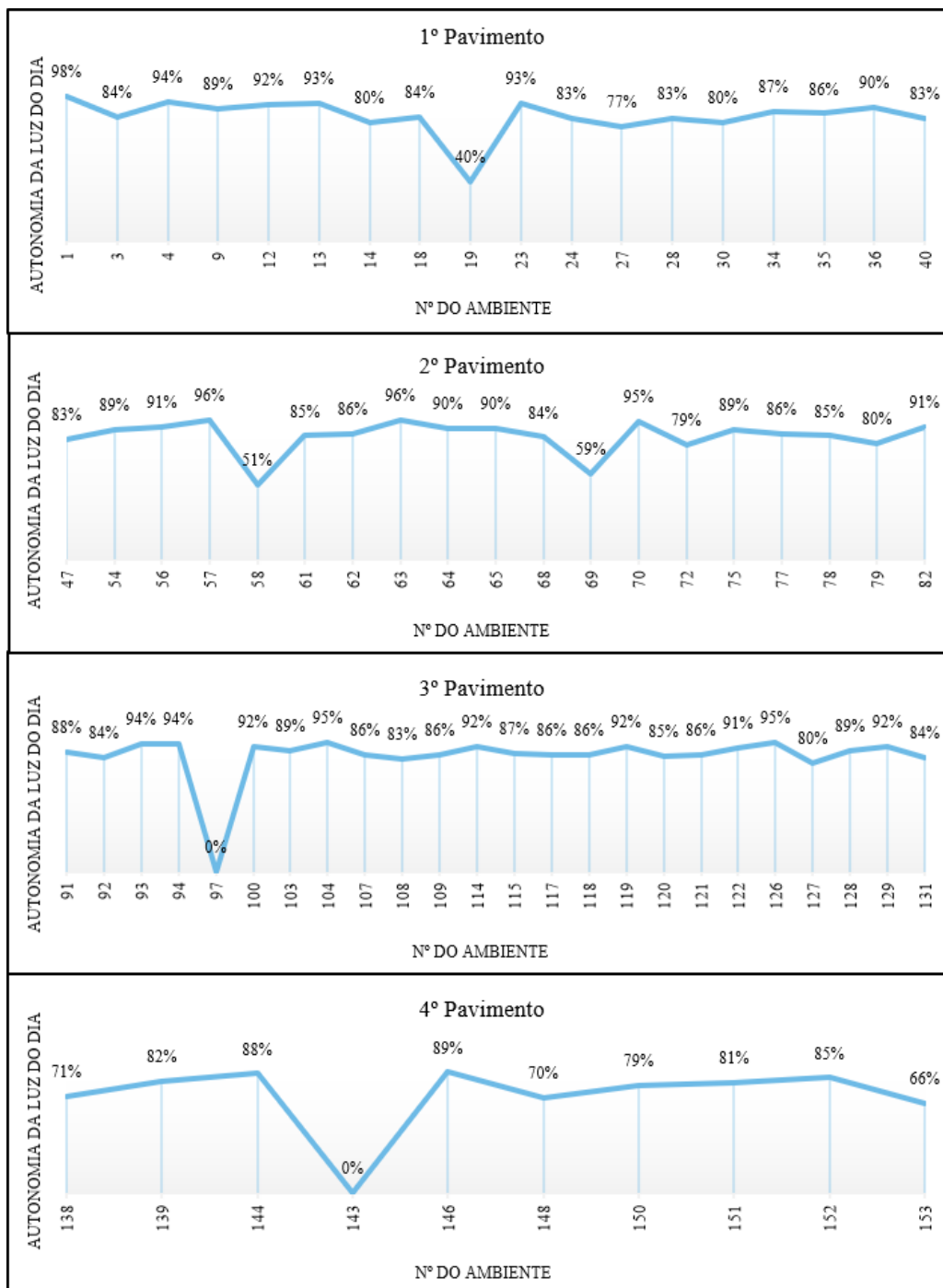


Figura 19 – Percentual de Autonomia da Luz do Dia – Iluminação Artificial e Natural (Autores, 2023).

### 4.3 Avaliação dos indicadores de desempenho

Por meio da solução assumida para o sistema de iluminação artificial, é possível estudar o desempenho frente às boas práticas presentes no mercado atualmente. Utilizando os valores da Tab. 5, 68% dos 136 ambientes são classificados com nível de eficiência A, 15% com nível D e 17% não atingiram nenhum tipo de classificação. A Fig. 20 apresenta o desempenho obtido por cada classe, os valores discriminados por ambientes podem ser vistos no APÊNDICE 4. As classes (B) e (C) obtiveram as piores classificações, principalmente pela altura da instalação da luminária, em ambas as classes foi considerado que as luminárias são instaladas junto ao forro, resultando na necessidade de instalação de uma luminária com maior potência para atender o fluxo luminoso definido. Sob outra perspectiva, ao comparar com os valores extraídos da Tab. 6, 81,62% dos ambientes atenderam os valores recomendados para a faixa de iluminância necessária. Já os 18,38% dos ambientes que não atingiram valores também são de grande maioria do tipo (C), demonstrando uma tendência de não conformidade a essa classe.

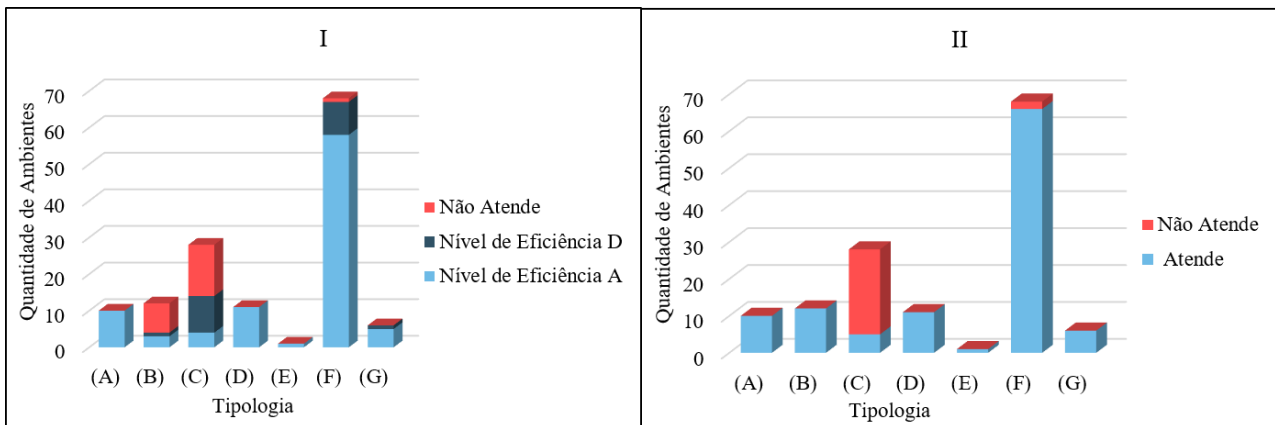


Figura 20 – Desempenho dos tipos em relação ao DPI<sub>L</sub> -  
(I) Valores extraídos da INI-C (2022) e (II) Valores extraídos da ABCB (2016) (Autores, 2023).

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio da aplicação da metodologia, conclui-se que foi possível obter êxito na avaliação do desempenho do sistema de iluminação artificial e natural considerando os fatores construtivos, geográficos e de operação que influenciam na idealização de um projeto lumínico integrativo. Os resultados obtidos demonstram que para a execução de um sistema de iluminação a informação é primordial, associar a envoltória, suas dinâmicas internas e os indicadores de desempenho auxiliam na construção de soluções eficientes e personalizadas.

No que tange a iluminação natural incidente na edificação, a avaliação demonstrou que a prefeitura possui um grande potencial de aproveitamento da iluminação natural, principalmente por grande parcela da fachada ser constituída por de vidro. Outro fator determinante é devido o entorno dispor de edificações com poucos pavimentos. Os valores de FLD obtidos evidenciam que as regiões imediatas as aberturas apresentaram percentuais elevados. No entanto, utilizando os requisitos de avaliação extraídos da certificação AQUA, os ambientes da classe (F) não atingiram em sua grande maioria os valores indicados, já às demais tipologias apresentaram grande percentual de atendimento dos requisitos.

Com a simulação do sistema de iluminação artificial em uso na prefeitura, foi identificado que os níveis exigidos de iluminância mantida, não são cumpridas em 89,71% dos ambientes analisados. Isso é em grande parte atribuível à baixa quantidade de fluxo luminoso instalado nos ambientes e à disposição de luminárias de forma inapropriada.

Mediante à nova proposta do sistema de iluminação artificial, os valores obtidos após a simulação foram positivos, à medida que todos os ambientes atenderam os valores de iluminância mantida indicados. O percentual de atendimento para a edificação, que antes era de 10,29% passou para 100%. Também, destaca-se a homogeneidade da iluminação nos ambientes devido à disposição mais adequada das luminárias, obtidos com o dimensionamento dos equipamentos de iluminação.

A integração do sistema artificial à iluminação natural incidente nos ambientes foi apresentada, os resultados demonstraram que a iluminação natural possui grande potencial de aproveitamento, principalmente quando integrado a um sistema automatizado. Todos os ambientes com iluminação direta, tiveram acréscimo na valor de  $E_m$  na área de trabalho, que resultou na redução da necessidade de iluminação artificial.

Comparando os valores de DPI<sub>L</sub> para o sistema proposto com valores indicados em norma para o setor público, mostra que as soluções assumidas atendem os valores recomendados em grande parcela dos ambientes, mostrando que o dimensionamento foi idealizado de forma coerente.

Por fim, uma das limitações do estudo foi a representação dos mobiliários dentro dos espaços, que possibilitaria a análise mais precisa dos planos de uso de cada ambiente, permitindo soluções mais específicas e otimizadas, junto com a medição *in loco* para validar o potencial da luz natural, para diferentes períodos do ano. Para futuras pesquisas, sugere-se compreender a influência da iluminação natural com a presença de móveis e da construção da luminária no grau de

ofuscamento ao usuário, preenchendo uma lacuna não ponderada no estudo. Outra possibilidade seria desenvolver uma rotina de simulação dentro de alguma ferramenta BIM, que auxilie na definição luminária, por meio de parametrizações para diversos modelos, de acordo com as informações do ambiente.

## AGRADECIMENTOS

Minha família e amigos merecem meu profundo agradecimento, por seu apoio e encorajamento durante a construção da pesquisa.

Gostaria de expressar minha gratidão ao meu orientador Flavio, por seu apoio constante, seus apontamentos, que foram cruciais na concepção do trabalho.

E agradeço a UFRGS e seu corpo docente por ter me propiciado um ambiente acadêmico enriquecedor durante os anos do curso.

## REFERÊNCIAS

- ABCB - AUSTRALIAN BUILDING CODES BOARD. NCC 2016 Building Code of Australia. Volume One. Australia: ABCB.
- ABNT NBR ISO/CIE 8995-1: iluminação de ambientes de trabalho: parte 1: interior. Rio de Janeiro, 2013.
- ABNT NBR 15215-1: Iluminação natural: Parte 1: Conceitos básicos e definições. Rio de Janeiro, 2005.
- ABNT NBR 15575-1: Edificações habitacionais – Desempenho: Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2021.
- Alves, A. B. M., Schmid, A. L. Iluminação natural em edifícios: categorização das pesquisas brasileiras. PARC, Campinas - SP, v. 14, 2023.
- Amorim, C. N. D., Souto, B. K. S., Medeiros, A. D. Qualidade da Iluminação e Eficiência Energética em Edifícios Públicos: Análise Comparativa de Soluções de Retrofit. Revista Paranoá, n.29, p.1-17, 2021.
- AQUA. Guia Prático do Referencial de Avaliação da Qualidade Ambiental do Edifício. Brasil, Processo AQUA, p.430, 2018.
- Bouchahine, G. L. B., Zancanaro Júnior, F. V., 2022. Simulação Energética de uma Edificação Pública em Tramandaí-RS. Paranaguá – PR, Revista Mundi Engenharia, Tecnologia e Gestão, v.7, pp.01-25.
- Chaves, N. P. Novos Processos de Projeto: Explorando a Iluminação Integrativa. Dissertação de Mestrado, UFRGS, Porto Alegre – RS, 338 p, 2020.
- Didoné, E. L. A Influência da Luz Natural na Análise da Eficiência Energética de Edifícios contemporâneos de Escritórios em Florianópolis /SC, 2009.
- EPE. Atlas da Eficiência Energética Brasil – 2021 / Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro, 2021.
- EPE. Balanço Energético Nacional 2017: Ano base 2016 / Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro, 2017.
- EPE. Balanço Energético Nacional 2021: Ano base 2020 / Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro, 2021.
- EPE; MME. Plano Decenal de Expansão de Energia 2030. Brasília, 2021.
- Horie, F. T. *Retrofit* do Sistema de Iluminação Artificial para Economia de Energia Elétrica - Estudo de Caso em Uma Empresa Comercial de Grande Porte. UTFPR, Curitiba, p.118, 2018.
- INI-C. Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas. INMETRO, pp. 1-295, 2022.
- Kaempf, J., Paule, B. Lighting Retrofit in Current Practice Evaluation of an International Survey Switzerland: IEA Solar Heating and Cooling Programme, 2016.
- Kaewunruen, S., Sresakoolchai, J., Zhou, Z. Sustainability-Based Lifecycle Management for Bridge Infrastructure Using 6D BIM. Sustainability (Basel, Switzerland), 2020.
- Lumicenter Lighting. Catálogo técnico CAA01-S4 e WAY – LLA04-P6400840. São José dos Pinhais. Disponível em: <http://www.lumicenter.com>. Acesso em: 10 jul. 2023.
- Melo, Y. R. D. C. Utilização de Software Avançado para Projetos de Iluminação. UFS, São Cristóvão – RS, pp. 126, 2015.
- Meshkova, T. V., Budak, V. P. DIALux 4.10 and DIALux evo - Main Differences. Light & Engineering, n. 4, v. 21, p. 58–63, 2013.
- MME, 2023. Plano Nacional de Eficiência Energética: Premissas e Diretrizes Básicas. v. 18-10-11, pp. 1-156.
- Moraes, J. S. D., Alcojor, A. M., Bittencourt, L. S. Análise de Indicadores de Desempenho da Iluminação Artificial em Ambientes Residenciais. PARC, Campinas - SP, v. 9, n. 1, pp. 35-46, 2018.
- Nascimento, F. D. V. Gestão da Eficiência da Iluminação Artificial Integrada à Iluminação Natural em Ambientes Internos: Estudo do Retrofit Luminotécnica. Monografia, EPUSP, São Paulo - SP, p. 78, 2019.
- Oliveira, G. B. D., Siel, E., Crippa, J. Simulação Computacional para Análise de Iluminação Natural em Projetos de Edifícios Sustentáveis Desenvolvidos em BIM. PAIC, Curitiba - PR, pp. 753-786, 2021.
- Paschoal, G. M. A.; Vanderlei, P. S. S. Estudo da Influência da Luz Natural Sobre o Ambiente Interno das Construções, com Ênfase em Vidros. Inova Civil, Maringá - PR, pp. 1-11, 2017.
- Pereira, D. C. L. Iluminação Natural em Edifícios de Escritório: metodologia para a avaliação do desempenho luminoso. FAUUSP, São Paulo – SP, p. 263, 2017.

- Procel, Eletrobras. Avaliação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil, Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso - Ano Base 2005. Brasil, pp. 1-186, 2007.
- Rocha, A. P. D. A., Pereira, F. O. R. Avaliação do Consumo de Energia de Edificações Considerando a Luz Natural e Sistemas de Controle Através de Simulação Computacional Integrada. Búzios - RJ, XI Encontro Nacional De Conforto No Ambiente Construído, vol. 11, pp. 1-10, 2011.
- Santos, L. D. S. Retrofit de Edificações: Uma Visão da Gestão da Qualidade, dos Prazos e dos Custos. Escola Politécnica/ UFRJ, Rio de Janeiro – RJ, p.91, 2019.
- São José, J. A. D. Estudo de Desempenho de Ferramenta Computacional no Cálculo da Luz Natural em Edificações para a Cidade de Juiz de Fora. Dissertação de Mestrado, UFJF, Juiz de Fora - MG, p. 144, 2015.
- Soares, M. P. S.P., Peixoto, L. G., Rodrigues, R. G., Moreira, M. A. C., Junior, L. P. Q., Oliveira, V. P. S. Uma Revisão Bibliográfica de Medidas de Eficiência Energética em Edifícios. Boletim do Observatório Ambiental, IFF, Campos de Goytacazes – RJ, v. 15, pp. 32-47, 2021.
- Solano, N. Parte 6: Cálculo Luminotécnico. AEA, p. 1-39, 2017.
- Vale, M. S. D. Diretrizes Para Racionalização e Atualização das Edificações: Segundo o Conceito da Qualidade e Sobre a Ótica do Retrofit. Fau, Rio de Janeiro – RJ, 2006.

APÊNDICE 1 - Ambientes Analisados e E<sub>m</sub> atual e proposto.

Nº do Ambí.	Pav.	Classe	Espaço	Em (lux) Recomendado	Em (lux) Instalado	Em (lux) Proposto
1	1	(A)	Acesso 01	100	59,5	172
2	1	(F)	Adm. Saúde 01	500	159	771
3	1	(F)	Adm. Saúde 02	500	235	745
4	1	(B)	Arquivo	200	216	605
5	1	(D)	Atendimento 01	300	152	576
6	1	(D)	Atendimento 02	300	203	591
7	1	(C)	Banheiro Contabilidade	200	93,8	327
8	1	(C)	Banheiro Feminino 01	200	274	295
9	1	(C)	Banheiro Itbi	200	85,7	284
10	1	(C)	Banheiro Masculino 01	200	191	376
11	1	(C)	Banheiro PCD 01	200	83	260
12	1	(C)	Banheiro Sec. Da fazenda	200	82,9	285
13	1	(C)	Banheiro Sec. Da saúde	200	45,6	285
14	1	(F)	Cadastro	500	131	748
15	1	(F)	Chefe de gabinete	500	233	718
16	1	(A)	Circulação 01	100	209	204
17	1	(A)	Circulação Pública 01	100	221	335
18	1	(F)	Contabilidade 01	500	159	606
19	1	(G)	Copa 01	200	21	383
20	1	(B)	Depósito 01	200	45,7	291
21	1	(B)	Depósito 02	200	44,5	272
22	1	(B)	Depósito Contabilidade	200	11,7	292
23	1	(E)	Espera Atendimento	200	103	312
24	1	(F)	Faturamento	500	130	703
25	1	(F)	Gercom	500	465	592
26	1	(F)	Itbi	500	196	657
27	1	(F)	Itbi Corretores	500	115	768
28	1	(F)	Libres	500	225	925
29	1	(F)	Protocolo	500	275	641
30	1	(F)	Psicologia	500	409	551
31	1	(D)	Recepção Sec. da Fazenda	300	152	786
32	1	(D)	Recepção Sec. da Saúde e Transporte	300	211	456
33	1	(D)	Recepção Sec. Saúde	300	214	478
34	1	(F)	RH Saúde	500	259	610
35	1	(F)	Secretaria da Fazenda	500	146	574
36	1	(F)	Secretaria da Saúde	500	290	634
37	1	(F)	Tesouraria 01	500	223	773
38	1	(F)	Tesouraria 02	500	212	732
39	1	(F)	Transporte	500	84,5	673
40	1	(F)	Vigilância Sanitária	500	133	647
41	1	(C)	Banheiro 01	200	0	0
42	1	(C)	Banheiro 02	200	0	0
43	1	(C)	Banheiro 03	200	0	0
44	1	(C)	Banheiro 04	200	0	0
45	1	(C)	Banheiro 05	200	0	0
46	2	(A)	Acesso 02	100	201	266
47	2	(F)	Assessoria de Comunicação	500	197	652
48	2	(F)	Assessoria Vice	500	196	652
49	2	(F)	Assistente Social	500	433	600
50	2	(C)	Banheiro Dep. Jur.	200	57,8	259
51	2	(C)	Banheiro Feminino 02	200	124	434



Continuação apêndice 1

52	2	(C)	Banheiro Masculino 02	200	32,7	374
53	2	(C)	Banheiro PCD 02	200	44,5	259
54	2	(C)	Banheiro Prefeito	200	77,3	304
55	2	(C)	Banheiro Sec. de Adm.	200	52,4	314
56	2	(C)	Banheiro Sec. de Planejamento	200	47	292
57	2	(C)	Banheiro Vice	200	41,4	306
58	2	(F)	Central Telefônica	500	285	704
59	2	(A)	Circulação 02	100	50,9	183
60	2	(A)	Circulação Pública 02	100	265	153
61	2	(F)	Controle Interno	500	224	615
62	2	(G)	Copa 02	200	89,4	304
63	2	(G)	Copa Vice	200	47,7	438
64	2	(F)	Dep. Jurídico 01	500	246	602
65	2	(F)	Dep. Jurídico 02	500	248	604
66	2	(B)	Depósito 03	200	49,6	302
67	2	(B)	Depósito 04	200	48,7	274
68	2	(F)	Escritório Seplan	500	222	607
69	2	(F)	Gabinete do Prefeito	500	183	579
70	2	(F)	Gabinete Vice	500	180	608
71	2	(F)	Ouvidoria	500	212	692
72	2	(F)	Pesca 01	500	207	683
73	2	(F)	Pesca 02	500	214	695
74	2	(F)	Procon	500	221	736
75	2	(F)	Procurador	500	280	707
76	2	(D)	Recepção Gabinete	300	302	444
77	2	(F)	Reunião Planejamento	500	197	650
78	2	(F)	Sala 01 Gabinete	500	402	689
79	2	(F)	Sala 02 Gabinete	500	158	728
80	2	(F)	Secretaria Esp. de Governo	500	154	615
81	2	(F)	Secretaria Geral de Governo	500	231	688
82	2	(F)	Secretário Planejamento	500	181	611
83	2	(F)	Seplan	500	119	639
84	2	(C)	Banheiro 06	200	0	0
85	2	(C)	Banheiro 07	200	0	0
86	2	(C)	Banheiro 08	200	0	0
87	2	(C)	Banheiro 09	200	0	0
88	2	(C)	Banheiro 10	200	0	0
89	2	(C)	Banheiro 11	200	0	0
90	3	(A)	Acesso 03	100	206	271
91	3	(F)	Adm. Educação	500	192	643
92	3	(F)	Anexo Conselho Municipal	500	347	901
93	3	(B)	Arquivo Aposentadoria e RH 01	200	206	352
94	3	(B)	Arquivo Aposentadoria e RH 02	200	153	257
95	3	(B)	Arquivo Licitações	200	251	313
96	3	(F)	Assessoria Educação	500	211	691
97	3	(C)	Banheiro Aposentadoria	200	57,6	327
98	3	(C)	Banheiro Engenharia	200	44,3	252
99	3	(C)	Banheiro Feminino 03	200	239	432
100	3	(C)	Banheiro Licitações	200	45,3	285
101	3	(C)	Banheiro Masculino 03	200	71,5	386
102	3	(C)	Banheiro PCD 03	200	44,6	256
103	3	(C)	Banheiro RH Educação	200	88,2	289
104	3	(C)	Banheiro Sec. de Obras	200	40,5	296
105	3	(A)	Circulação 03	100	178	120

Continuação apêndice 1

106	3	(A)	Circulação Pública 03	100	161	180
107	3	(F)	Compras	500	224	606
108	3	(F)	Conselho Municipal	500	263	710
109	3	(G)	Copa 03	200	136	304
110	3	(G)	Copa Educação	200	202	487
111	3	(B)	Depósito 05	200	48,1	284
112	3	(B)	Depósito 06	200	48,7	277
113	3	(F)	Educação Infantil	500	157	624
114	3	(F)	Engenharia	500	227	608
115	3	(F)	Expediente	500	227	539
116	3	(F)	Fiscalização	500	209	690
117	3	(F)	Licitações	500	262	578
118	3	(F)	Nutrição	500	195	645
119	3	(F)	Obras	500	182	607
120	3	(F)	Pedagógico	500	87,5	602
121	3	(F)	Procuradoria Tributária	500	219	603
122	3	(F)	Projetos de Engenharia	500	316	607
123	3	(D)	Recepção Educação	300	228	527
124	3	(D)	Recepção Obras	300	190	379
125	3	(D)	Recepção RH	300	293	391
126	3	(F)	Reunião Licitações	500	203	573
127	3	(F)	RH Educação	500	77,6	690
128	3	(F)	Secretaria da Educação	500	205	568
129	3	(F)	Secretaria Obras	500	195	646
130	3	(F)	Sindicância	500	221	683
131	3	(F)	Tributária	500	288	660
132	3	(C)	Banheiro 12	200	0	0
133	3	(C)	Banheiro 13	200	0	0
134	3	(C)	Banheiro 14	200	0	0
135	3	(C)	Banheiro 15	200	0	0
136	3	(C)	Banheiro 16	200	0	0
137	3	(C)	Banheiro 17	200	0	0
138	4	(F)	Adm. Turismo	500	155	646
139	4	(D)	Atendimento Turismo	300	131	414
140	4	(C)	Banheiro Feminino 04	200	224	434
141	4	(C)	Banheiro Masculino 04	200	52,7	386
142	4	(C)	Banheiro PCD 04	200	43,8	252
143	4	(C)	Banheiro Transporte	200	50,1	319
144	4	(C)	Banheiro Turismo	200	76,5	282
145	4	(A)	Circulação 04	100	45,2	150
146	4	(G)	Copa 04	200	45,4	259
147	4	(B)	Depósito 07	200	50,3	289
148	4	(F)	Desporto	500	163	622
149	4	(D)	Recepção Turismo	300	177	379
150	4	(F)	Secretaria Transporte 01	500	177	637
151	4	(F)	Secretaria Transporte 02	500	84,5	683
152	4	(F)	Secretaria Turismo	500	198	611
153	4	(F)	SMIC	500	196	611
154	4	(C)	Banheiro 18	200	0	0
155	4	(C)	Banheiro 19	200	0	0
156	4	(C)	Banheiro 20	200	0	0
157	4	(C)	Banheiro 21	200	0	0
158	4	(C)	Banheiro 22	200	0	0
159	4	(C)	Banheiro 23	200	0	0

## APÊNDICE 2 – Dados utilizados no dimensionamento das luminárias.

Nº do Amb.	RCR (Ambiente Irregular)	RCR (Ambiente Retangular)	Fluxo luminoso da luminária	Fator de utilização	Fator de manutenção	Quantidade de luminárias calculadas
1	-	3,83	4200	0,60	0,80	3,13
2	-	4,36	6880	0,75	0,80	2,54
3	4,71	-	6880	0,73	0,80	2,49
4	-	7,27	6880	0,58	0,80	0,50
5	-	4,23	6880	0,76	0,80	1,58
6	-	4,26	6880	0,76	0,80	1,58
7	-	30,73	4200	0,35	0,80	0,17
8	-	12,81	4200	0,35	0,80	0,68
9	-	18,70	4200	0,35	0,80	0,34
10	-	9,36	4200	0,37	0,80	1,45
11	-	18,35	4200	0,35	0,80	0,51
12	-	18,70	4200	0,35	0,80	0,34
13	-	18,70	4200	0,35	0,80	0,34
14	3,91	-	6880	0,79	0,80	3,45
15	-	4,98	6880	0,71	0,80	2,05
16	8,71	-	4200	0,39	0,80	3,05
17	-	3,79	4200	0,60	0,80	3,17
18	3,88	-	6880	0,79	0,80	6,78
19	-	6,35	6880	0,62	0,80	0,64
20	-	12,58	4200	0,35	0,80	0,68
21	-	13,08	4200	0,35	0,80	0,68
22	7,93	-	4200	0,41	0,80	2,47
23	-	2,80	6880	0,88	0,80	2,77
24	-	4,37	6880	0,75	0,80	2,54
25	3,24	-	6880	0,84	0,80	4,97
26	-	4,04	6880	0,78	0,80	2,91
27	4,89	-	6880	0,72	0,80	2,40
28	7,08	-	6880	0,59	0,80	1,23
29	5,99	-	6880	0,64	0,80	1,85
30	5,58	-	6880	0,67	0,80	2,17
31	-	2,06	6880	0,95	0,80	2,52
32	-	3,95	6880	0,78	0,80	1,82
33	-	3,89	6880	0,79	0,80	1,79
34	5,10	-	6880	0,70	0,80	2,08
35	-	3,18	6880	0,85	0,80	4,70
36	-	4,30	6880	0,76	0,80	2,63
37	-	4,35	6880	0,76	0,80	2,51
38	-	4,36	6880	0,75	0,80	2,54
39	-	4,21	6880	0,77	0,80	2,60
40	-	4,38	6880	0,75	0,80	2,54
41	-	22,51	4200	0,35	0,80	0,23
42	-	22,51	4200	0,35	0,80	0,23
43	-	22,51	4200	0,35	0,80	0,23
44	-	22,51	4200	0,35	0,80	0,23
45	-	22,51	4200	0,35	0,80	0,23

Continuação apêndice 2

46	-	5,83	4200	0,50	0,80	1,25
47	-	4,36	6880	0,75	0,80	2,54
48	-	4,39	6880	0,75	0,80	2,54
49	-	9,02	6880	0,50	0,80	0,91
50	-	18,35	4200	0,35	0,80	0,51
51	-	11,05	4200	0,35	0,80	1,02
52	-	9,36	4200	0,37	0,80	1,45
53	-	18,35	4200	0,35	0,80	0,51
54	-	18,70	4200	0,35	0,80	0,34
55	-	17,46	4200	0,35	0,80	0,34
56	-	18,70	4200	0,35	0,80	0,34
57	-	18,70	4200	0,35	0,80	0,34
58	-	6,35	6880	0,62	0,80	1,61
59	5,08	-	4200	0,53	0,80	4,32
60	-	3,57	4200	0,62	0,80	4,08
61	-	3,30	6880	0,84	0,80	4,54
62	5,58	-	6880	0,67	0,80	0,87
63	8,68	-	6880	0,51	0,80	0,57
64	-	3,24	6880	0,84	0,80	4,65
65	-	3,31	6880	0,84	0,80	4,54
66	-	12,58	4200	0,35	0,80	0,68
67	-	13,08	4200	0,35	0,80	0,68
68	3,41	-	6880	0,83	0,80	4,49
69	-	2,14	6880	0,94	0,80	8,41
70	-	4,31	6880	0,76	0,80	2,63
71	-	4,34	6880	0,76	0,80	2,51
72	-	4,49	6880	0,75	0,80	2,42
73	-	4,51	6880	0,74	0,80	2,46
74	5,01	-	6880	0,71	0,80	2,30
75	-	6,35	6880	0,62	0,80	1,61
76	-	3,24	6880	0,84	0,80	2,73
77	-	4,37	6880	0,75	0,80	2,54
78	-	4,39	6880	0,75	0,80	2,54
79	4,82	-	6880	0,72	0,80	2,40
80	-	8,94	6880	0,50	0,80	0,91
81	-	4,48	6880	0,75	0,80	2,42
82	-	4,25	6880	0,76	0,80	2,63
83	-	3,66	6880	0,81	0,80	3,48
84	-	22,51	4200	0,35	0,80	0,23
85	-	22,51	4200	0,35	0,80	0,23
86	-	22,51	4200	0,35	0,80	0,23
87	-	22,51	4200	0,35	0,80	0,23
88	-	22,51	4200	0,35	0,80	0,23
89	-	22,51	4200	0,35	0,80	0,23
90	-	5,74	4200	0,50	0,80	1,25
91	-	4,23	6880	0,76	0,80	2,63
92	-	7,72	6880	0,55	0,80	1,16
93	-	3,00	6880	0,86	0,80	1,27
94	4,49	-	6880	0,75	0,80	0,97

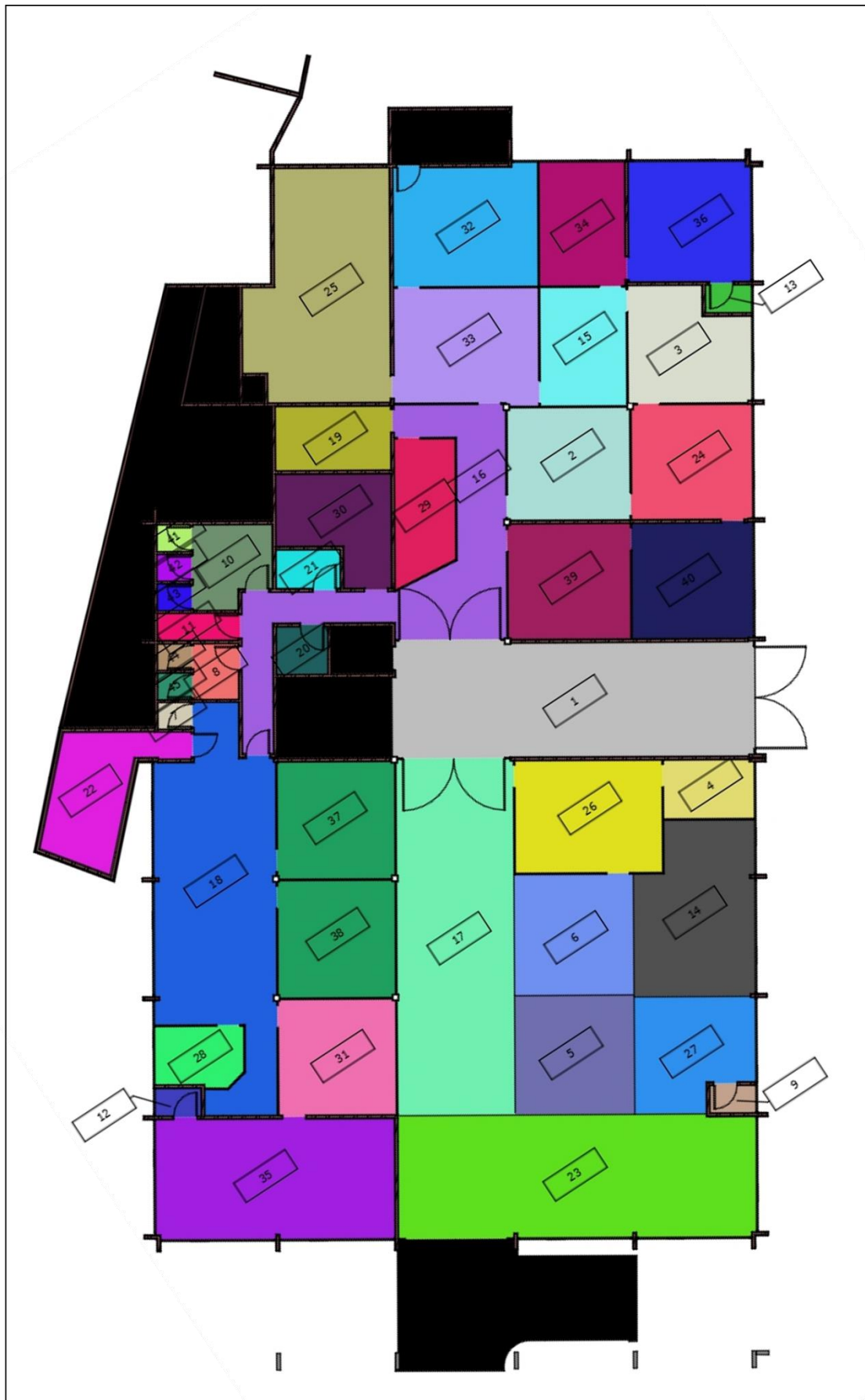
Continuação apêndice 2

95	-	4,95	6880	0,72	0,80	0,81
96	-	4,36	6880	0,75	0,80	2,54
97	-	17,46	4200	0,35	0,80	0,34
98	-	18,35	4200	0,35	0,80	0,51
99	-	11,05	4200	0,35	0,80	1,02
100	-	18,70	4200	0,35	0,80	0,34
101	-	9,36	4200	0,37	0,80	1,45
102	-	18,35	4200	0,35	0,80	0,51
103	-	18,70	4200	0,35	0,80	0,34
104	-	60,41	4200	0,35	0,80	0,34
105	8,43	-	4200	0,40	0,80	3,79
106	-	3,78	4200	0,60	0,80	3,17
107	-	3,23	6880	0,84	0,80	4,65
108	3,93	-	6880	0,79	0,80	4,14
109	5,61	-	6880	0,67	0,80	0,87
110	-	8,68	6880	0,51	0,80	0,50
111	-	12,58	4200	0,35	0,80	0,68
112	-	13,08	4200	0,35	0,80	0,68
113	-	5,44	6880	0,68	0,80	1,87
114	-	3,29	6880	0,84	0,80	4,54
115	-	5,27	6880	0,69	0,80	1,97
116	-	4,34	6880	0,76	0,80	2,51
117	3,10	-	6880	0,85	0,80	6,09
118	-	4,23	6880	0,76	0,80	2,63
119	-	4,28	6880	0,76	0,80	2,63
120	-	3,25	6880	0,84	0,80	4,65
121	-	3,24	6880	0,84	0,80	4,65
122	3,04	-	6880	0,86	0,80	6,55
123	4,82	-	6880	0,72	0,80	1,36
124	3,79	-	6880	0,80	0,80	2,04
125	-	6,36	6880	0,62	0,80	0,97
126	-	3,18	6880	0,85	0,80	4,70
127	4,87	-	6880	0,72	0,80	2,40
128	-	3,19	6880	0,84	0,80	4,76
129	-	4,39	6880	0,75	0,80	2,54
130	-	4,34	6880	0,76	0,80	2,51
131	-	4,22	6880	0,76	0,80	2,63
132	-	22,51	4200	0,35	0,80	0,23
133	-	22,51	4200	0,35	0,80	0,23
134	-	22,51	4200	0,35	0,80	0,23
135	-	22,51	4200	0,35	0,80	0,23
136	-	22,51	4200	0,35	0,80	0,23
137	-	22,51	4200	0,35	0,80	0,23
138	-	2,99	6880	0,86	0,80	4,86
139	3,47	-	6880	0,82	0,80	3,26
140	-	11,05	4200	0,35	0,80	1,02
141	-	9,36	4200	0,37	0,80	1,45
142	-	18,35	4200	0,35	0,80	0,51
143	-	17,46	4200	0,35	0,80	0,34

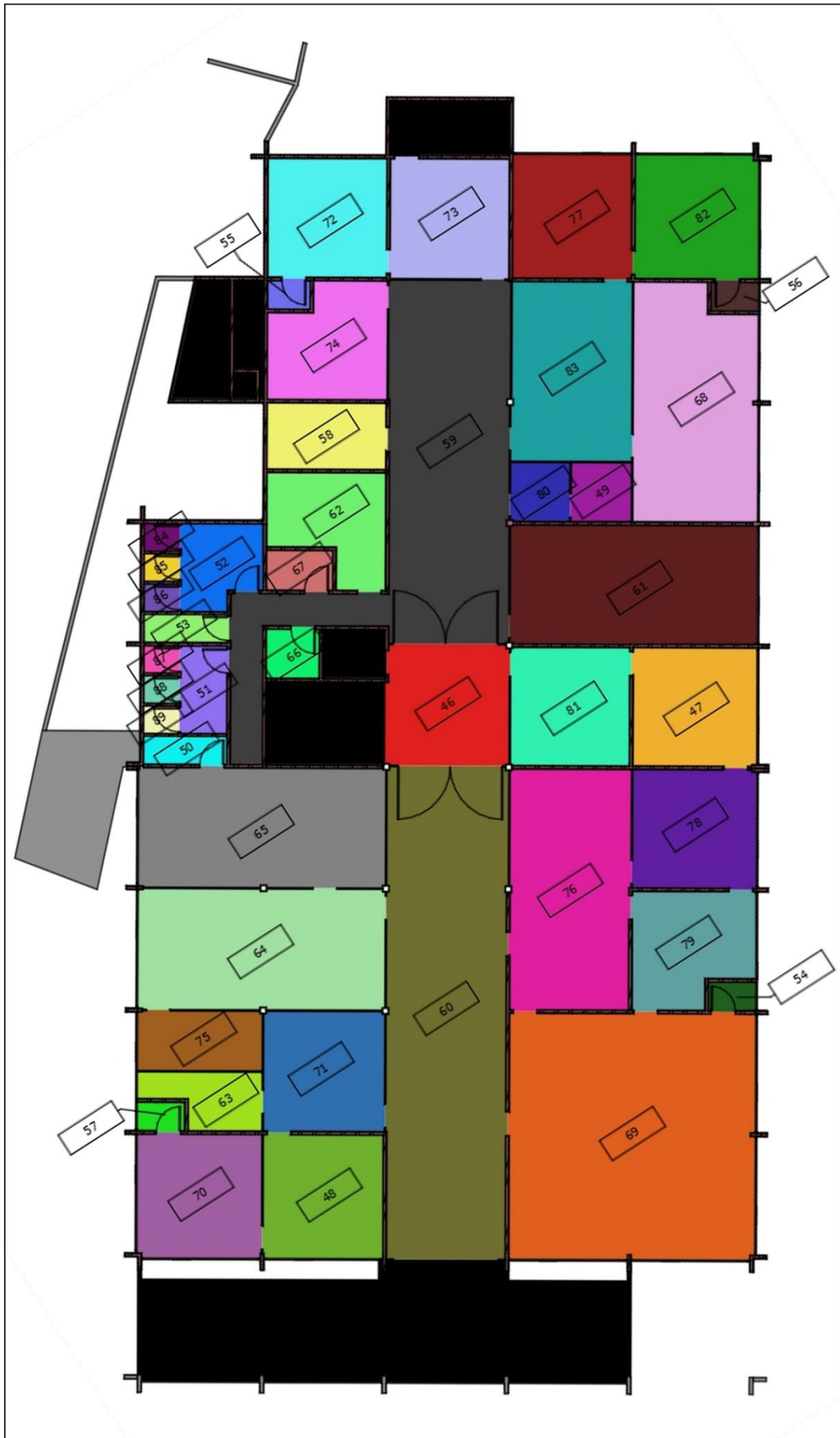
Continuação apêndice 2

144	-	18,70	4200	0,35	0,80	0,34
145	5,46	-	4200	0,51	0,80	5,19
146	-	4,46	6880	0,75	0,80	0,97
147	-	12,58	4200	0,35	0,80	0,68
148	-	3,60	6880	0,81	0,80	3,59
149	3,73	-	6880	0,80	0,80	1,91
150	3,87	-	6880	0,79	0,80	3,45
151	-	4,49	6880	0,75	0,80	2,42
152	-	4,25	6880	0,76	0,80	2,63
153	-	3,28	6880	0,84	0,80	4,54
154	-	22,51	4200	0,35	0,80	0,23
155	-	22,51	4200	0,35	0,80	0,23
156	-	22,51	4200	0,35	0,80	0,23
157	-	22,51	4200	0,35	0,80	0,23
158	-	22,51	4200	0,35	0,80	0,23
159	-	22,51	4200	0,35	0,80	0,23

APÊNDICE 3 – Pavimento Térreo

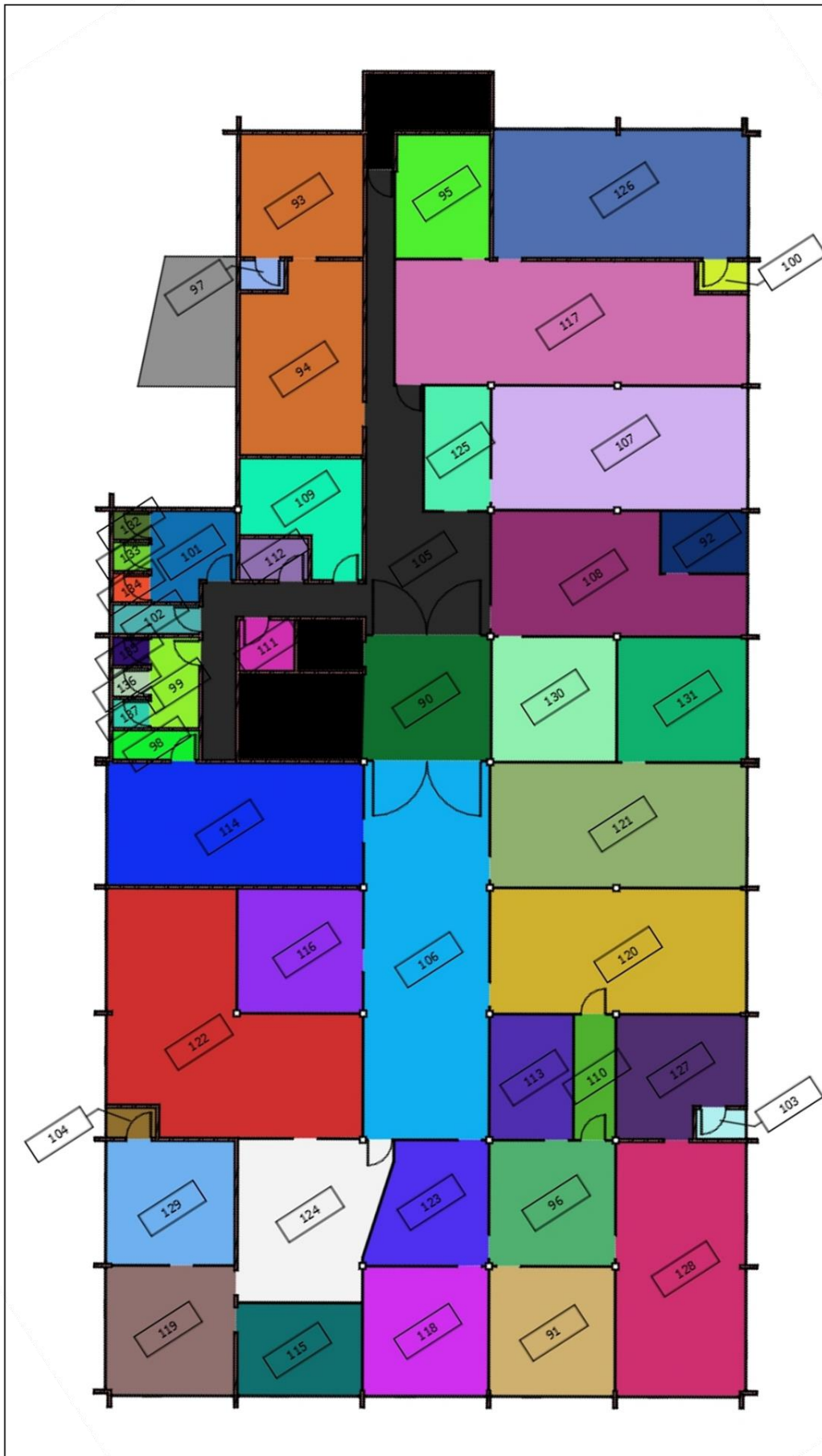


Segundo Pavimento

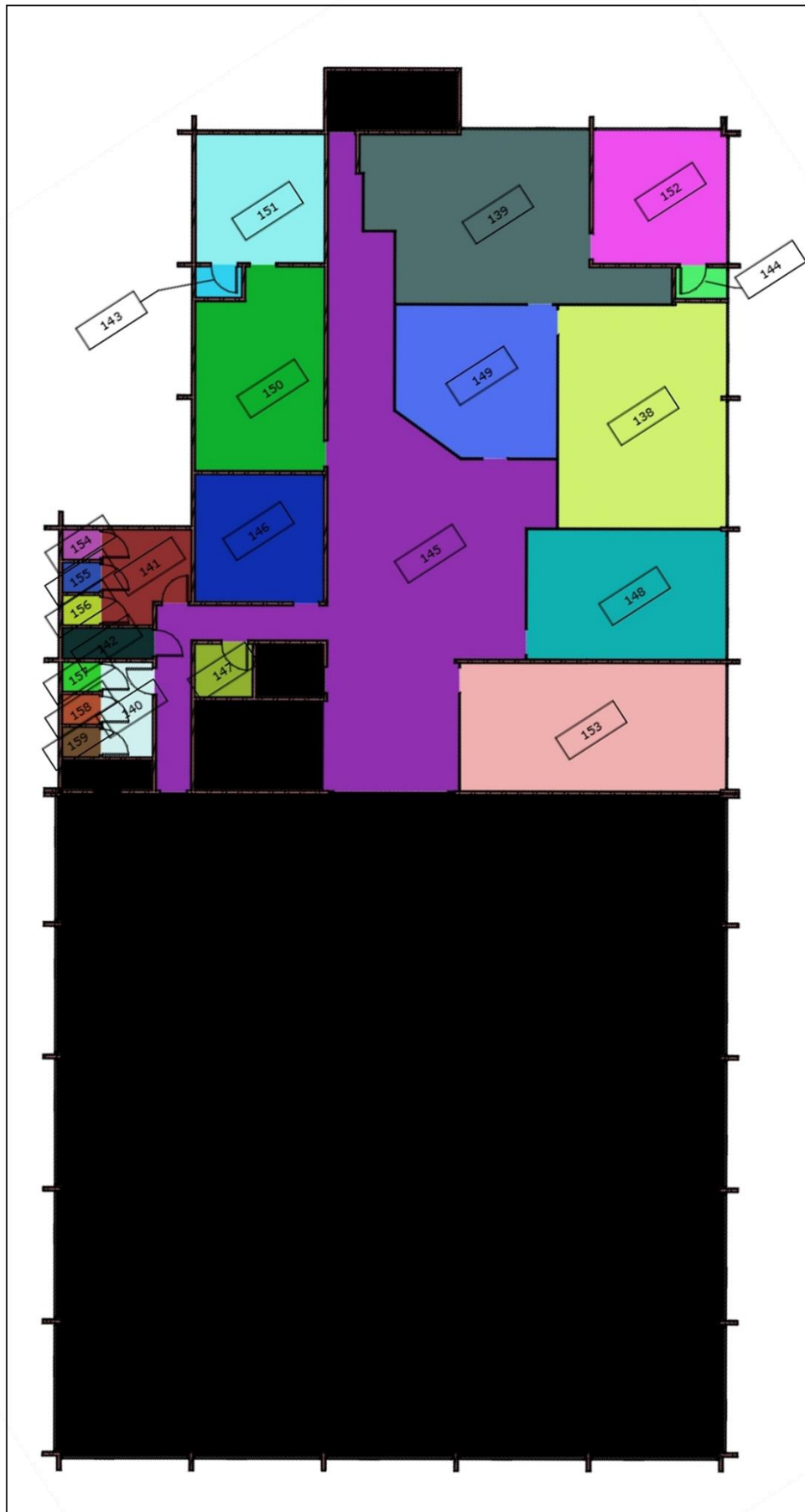




Terceiro Pavimento



Quarto Pavimento



APÊNDICE 4 – DPI<sub>L</sub> da instalação atual e proposta.

Nº do Ambiente	Pav.	Classe	Espaço	DPI <sub>L</sub> Atual (W/m <sup>2</sup> )	DPI <sub>L</sub> Proposto (W/m <sup>2</sup> )
1	1	(A)	ACESSO 01	2,4	2,5
2	1	(F)	ADM. SAÚDE 01	1,4	10,0
3	1	(F)	ADM. SAÚDE 02	8,0	10,5
4	1	(B)	ARQUIVO	7,5	8,8
5	1	(D)	ATENDIMENTO 01	1,4	6,4
6	1	(D)	ATENDIMENTO 02	2,7	6,4
7	1	(C)	BANHEIRO CONTABILIDADE	50,0	40,0
8	1	(C)	BANHEIRO FEMININO 01	33,8	10,0
9	1	(C)	BANHEIRO ITBI	22,5	20,0
10	1	(C)	BANHEIRO MASCULINO 01	15,0	8,9
11	1	(C)	BANHEIRO PCD 01	15,0	13,3
12	1	(C)	BANHEIRO SEC. DA FAZENDA	22,5	20,0
13	1	(C)	BANHEIRO SEC. DA SAÚDE	12,5	20,0
14	1	(F)	CADASTRO	1,0	9,3
15	1	(F)	CHEFE DE GABINETE	5,0	13,1
16	1	(A)	CIRCULAÇÃO 01	10,8	4,0
17	1	(A)	CIRCULAÇÃO PÚBLICA 01	2,8	2,5
18	1	(F)	CONTABILIDADE 01	2,0	8,3
19	1	(G)	COPA 01	1,4	6,4
20	1	(B)	DEPÓSITO 01	6,3	10,0
21	1	(B)	DEPÓSITO 02	6,3	10,0
22	1	(B)	DEPÓSITO CONTABILIDADE	1,8	7,1
23	1	(E)	ESPERA ATENDIMENTO	1,3	3,1
24	1	(F)	FATURAMENTO	2,9	10,0
25	1	(F)	GERCOM	17,4	7,6
26	1	(F)	ITBI	2,4	8,4
27	1	(F)	ITBI CORRETORES	1,6	11,1
28	1	(F)	LIBRES	3,8	17,5
29	1	(F)	PROTOCOLO	12,3	10,8
30	1	(F)	PSICOLOGIA	20,0	13,1
31	1	(D)	RECEPÇÃO SEC. DA FAZENDA	0,7	4,8
32	1	(D)	RECEPÇÃO SEC. DA SAÚDE E TRANSPORTE	6,2	5,4
33	1	(D)	RECEPÇÃO SEC. SAÚDE	6,2	5,4
34	1	(F)	RH SAÚDE	10,0	13,1
35	1	(F)	SECRETARIA DA FAZENDA	2,7	8,0
36	1	(F)	SECRETARIA DA SAÚDE	13,0	9,5
37	1	(F)	TESOURARIA 01	2,9	10,0
38	1	(F)	TESOURARIA 02	2,9	10,0
39	1	(F)	TRANSPORTE	4,1	9,5
40	1	(F)	VIGILÂNCIA SANITÁRIA	8,4	10,0
46	2	(A)	ACESSO 02	7,6	3,8
47	2	(F)	ASSESSORIA DE COMUNICAÇÃO	7,6	10,0
48	2	(F)	ASSESSORIA VICE	7,6	10,0
49	2	(F)	ASSISTENTE SOCIAL	32,0	14,0
50	2	(C)	BANHEIRO DEP. JUR.	11,0	13,3
51	2	(C)	BANHEIRO FEMININO 02	12,5	13,3
52	2	(C)	BANHEIRO MASCULINO 02	1,0	8,9

Continuação apêndice 4

53	2	(C)	BANHEIRO PCD 02	8,3	13,3
54	2	(C)	BANHEIRO PREFEITO	9,0	20,0
55	2	(C)	BANHEIRO SEC. DE ADM.	12,5	20,0
56	2	(C)	BANHEIRO SEC. DE PLANEJAMENTO	12,5	20,0
57	2	(C)	BANHEIRO VICE	4,5	20,0
58	2	(F)	CENTRAL TELEFÔNICA	14,5	12,7
59	2	(A)	CIRCULAÇÃO 02	1,0	2,6
60	2	(A)	CIRCULAÇÃO PÚBLICA 02	7,5	2,4
61	2	(F)	CONTROLE INTERNO	7,6	8,3
62	2	(G)	COPA 02	6,1	4,4
63	2	(G)	COPA VICE	3,1	8,8
64	2	(F)	DEP. JURÍDICO 01	8,2	8,1
65	2	(F)	DEP. JURÍDICO 02	8,4	8,3
66	2	(B)	DEPÓSITO 03	6,3	10,0
67	2	(B)	DEPÓSITO 04	6,3	10,0
68	2	(F)	ESCRITÓRIO SEPLAN	7,8	8,5
69	2	(F)	GABINETE DO PREFEITO	3,3	7,2
70	2	(F)	GABINETE VICE	7,3	9,5
71	2	(F)	OUVIDORIA	7,6	10,0
72	2	(F)	PESCA 01	8,0	10,5
73	2	(F)	PESCA 02	8,0	10,5
74	2	(F)	PROCON	8,9	11,7
75	2	(F)	PROCURADOR	14,5	12,7
76	2	(D)	RECEPÇÃO GABINETE	5,1	5,0
77	2	(F)	REUNIÃO PLANEJAMENTO	7,6	10,0
78	2	(F)	SALA 01 GABINETE	12,3	10,0
79	2	(F)	SALA 02 GABINETE	2,8	11,1
80	2	(F)	SECRETARIA ESP. DE GOVERNO	6,0	14,0
81	2	(F)	SECRETARIA GERAL DE GOVERNO	8,0	10,5
82	2	(F)	SECRETÁRIO PLANEJAMENTO	7,3	9,5
83	2	(F)	SEPLAN	1,9	9,0
90	3	(A)	ACESSO 03	7,6	3,8
91	3	(F)	ADM. EDUCAÇÃO	7,3	9,5
92	3	(F)	ANEXO CONSELHO MUNICIPAL	22,9	20,0
93	3	(B)	ARQUIVO APOSENTADORIA E RH 1	5,3	4,7
94	3	(B)	ARQUIVO APOSENTADORIA E RH 2	8,0	3,5
95	3	(B)	ARQUIVO LICITAÇÕES	10,0	4,4
96	3	(F)	ASSESSORIA EDUCAÇÃO	7,6	10,0
97	3	(C)	BANHEIRO APOSENTADORIA	12,5	20,0
98	3	(C)	BANHEIRO ENGENHARIA	8,3	13,3
99	3	(C)	BANHEIRO FEMININO 03	22,5	13,3
100	3	(C)	BANHEIRO LICITAÇÕES	12,5	20,0
101	3	(C)	BANHEIRO MASCULINO 03	5,0	8,9
102	3	(C)	BANHEIRO PCD 03	8,3	13,3
103	3	(C)	BANHEIRO RH EDUCAÇÃO	22,5	20,0
104	3	(C)	BANHEIRO SEC. DE OBRAS	4,5	20,0
105	3	(A)	CIRCULAÇÃO 03	9,4	3,1
106	3	(A)	CIRCULAÇÃO PÚBLICA 03	5,0	2,5
107	3	(F)	COMPRAS	7,4	8,1

Continuação apêndice 4

108	3	(F)	CONSELHO MUNICIPAL	8,9	9,7
109	3	(G)	COPA 03	8,8	4,4
110	3	(G)	COPA EDUCAÇÃO	11,4	10,0
111	3	(B)	DEPÓSITO 05	6,3	10,0
112	3	(B)	DEPÓSITO 06	6,3	10,0
113	3	(F)	EDUCAÇÃO INFANTIL	5,7	10,0
114	3	(F)	ENGENHARIA	5,7	8,3
115	3	(F)	EXPEDIENTE	10,7	9,3
116	3	(F)	FISCALIZAÇÃO	7,6	10,0
117	3	(F)	LICITAÇÕES	8,4	8,6
118	3	(F)	NUTRIÇÃO	7,3	9,5
119	3	(F)	OBRAS	7,3	9,5
120	3	(F)	PEDAGÓGICO	1,4	8,1
121	3	(F)	PROCURADORIA TRIBUTÁRIA	7,4	8,1
122	3	(F)	PROJETOS DE ENGENHARIA	10,3	7,9
123	3	(D)	RECEPÇÃO EDUCAÇÃO	8,9	7,8
124	3	(D)	RECEPÇÃO OBRAS	5,3	7,0
125	3	(D)	RECEPÇÃO RH	14,5	6,4
126	3	(F)	REUNIÃO LICITAÇÕES	7,3	8,0
127	3	(F)	RH EDUCAÇÃO	1,6	11,1
128	3	(F)	SECRETARIA DA EDUCAÇÃO	7,3	8,0
129	3	(F)	SECRETARIA OBRAS	7,6	10,0
130	3	(F)	SINDICÂNCIA	7,6	10,0
131	3	(F)	TRIBUTÁRIA	10,9	9,5
138	4	(F)	ADM. TURISMO	5,3	7,6
139	4	(D)	ATENDIMENTO TURISMO	3,4	5,7
140	4	(C)	BANHEIRO FEMININO 04	22,7	13,3
141	4	(C)	BANHEIRO MASCULINO 04	3,8	8,9
142	4	(C)	BANHEIRO PCD 04	8,3	13,3
143	4	(C)	BANHEIRO TRANSPORTE	12,5	20,0
144	4	(C)	BANHEIRO TURISMO	12,5	20,0
145	4	(A)	CIRCULAÇÃO 04	1,1	2,7
146	4	(G)	COPA 04	2,5	3,5
147	4	(B)	DEPÓSITO 07	6,3	10,0
148	4	(F)	DESPORTO	5,3	8,8
149	4	(D)	RECEPÇÃO TURISMO	5,7	5,0
150	4	(F)	SECRETARIA TRANSPORTE 01	1,0	9,3
151	4	(F)	SECRETARIA TRANSPORTE 02	3,0	10,5
152	4	(F)	SECRETARIA TURISMO	7,3	9,5
153	4	(F)	SMIC	5,7	8,3