

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

GEORGE LUCAS BOHMER BOUCHAHINE

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA EDIFICAÇÃO
DA PREFEITURA MUNICIPAL DE TRAMANDAÍ**

Tramandaí
2020

GEORGE LUCAS BOHMER BOUCHAHINE

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA EDIFICAÇÃO
DA PREFEITURA MUNICIPAL 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^ª. Dr^ª. Bianca Neves Machado, UFRGS

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

Prof^ª. Dr^ª. Juliana Klas, UFRGS

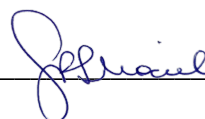
Doutora pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre, Brasil

Prof. Dr. Maurício Carvalho Ayres Torres, UFRGS

Doutor pela Universitat Politècnica de Catalunya – Barcelona, Espanha

Coordenadora substituta COMGRAD-EGE:

Prof^ª. Dr^ª Gabriela Pereira da Silva Maciel



Tramandaí-RS, 01 de dezembro de 2020.

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA EDIFICAÇÃO DA PREFEITURA MUNICIPAL DE TRAMANDAÍ

George Lucas Bohmer Bouchahine – george.bohmer@ufrgs.br
Flavio Vanderlei Zancanaro Júnior – flavio.zancanaro@ufrgs.br
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento Interdisciplinar

Resumo. As edificações consomem uma parcela significativa da energia elétrica faturada no Brasil. Ações de eficiência energética aplicadas a edificações já construídas apresentam resultados satisfatórios na redução do consumo de energia elétrica. O presente trabalho tem como objetivo avaliar a eficiência energética dos sistemas de iluminação e condicionamento de ar da Prefeitura Municipal de Tramandaí com base em parâmetros pré-estabelecidos pelos Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C). Subsequentemente, foi realizada a modelagem computacional no programa Energyplus para compreender o comportamento energético da edificação em relação ao seu consumo de energia elétrica anual, possibilitando propor ações de eficiência energética a partir do retrofit dos sistemas analisados. A edificação possui 5 pavimentos com área construída de 4.388,57 m², 165 zonas térmicas e consumo de energia elétrica de 162,65 MWh/ano. Como resultado, determinou-se que o nível de eficiência energética individual dos sistemas da edificação é B. Em contraste o consumo real da edificação e o consumo dos cenários criados foram obtidas economias na ordem de 17,96% com retorno de investimento de 9 meses.

Palavras-chave: Eficiência Energética, Energyplus, Retrofit.

1. INTRODUÇÃO

O consumo de energia elétrica nas edificações corresponde a 45% do total faturado no Brasil, enquanto 8,5% são consumidos pelo setor público. Edificações já construídas que promovem ações de Eficiência Energética (EE) apresentam um potencial de redução de consumo estimado em 30%, enquanto as edificações ainda em fase de construção demonstram 50%. Ainda, cerca de 70% do consumo de energia elétrica nos prédios públicos é destinado ao uso de sistemas de iluminação e climatização. Dessa forma, constata-se que uma parcela considerável de prédios públicos no país consome energia elétrica de forma ineficiente (PROCEL, 2020; EPE, 2020).

Em 1997 foi criado o Programa de Eficiência Energética em Prédios Públicos, em uma parceria entre Eletrobras e o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), a fim de promover a EE nos prédios públicos nos níveis federal, estadual e municipal. Além disso, o Programa visa a implementação de medidas de EE e a difusão da informação junto aos agentes envolvidos com a administração pública. Para isso, os prédios públicos devem promover economia de energia e melhoria na qualidade dos sistemas de iluminação, refrigeração, forças-motrizes e demais sistemas (PROCEL, 2006).

Sem muitos resultados até então e, ainda, na busca pela redução e racionalização do consumo de energia elétrica, em 24 de julho de 2000, o Presidente da República sancionou a Lei nº 9.991, que dispõe sobre a realização de investimentos em pesquisa, desenvolvimento e EE por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica. Entre os artigos desta importante Lei, destaca-se o Art. 1º.

As concessionárias e permissionárias de serviços públicos de distribuição de energia elétrica ficam obrigadas a aplicar, anualmente, o montante de, no mínimo, setenta e cinco centésimos por cento de sua receita operacional líquida em pesquisa e desenvolvimento do setor elétrico e, no mínimo, vinte e cinco centésimos por cento em programas de eficiência energética no uso final [...] (Brasil, 2000).

Logo, no ano seguinte, é sancionada a Lei de Eficiência Energética (10.295/2001), na qual o Art. 1º prevê: “A Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia visa a alocação eficiente de recursos energéticos e a preservação do meio ambiente” (Brasil, 2001). A partir da sanção destas leis e, conseqüentemente, com a obrigatoriedade de investimentos direcionados ao setor, o Brasil começou, efetivamente, a investir em medidas para evitar desperdícios de energia elétrica. Dessa forma, inicia-se um movimento no país em busca de edificações, equipamentos e tecnologias mais eficientes e com menor impacto ambiental.

Em meio a esse cenário, com a intenção de incentivar a conservação e o uso eficiente de energia elétrica e dos recursos naturais no país, foi instituído, em 2003, o Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações - PROCEL EDIFICA pela ELETROBRAS/PROCEL. Logo, desenvolveu-se, no âmbito do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), os Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C). Este, possibilita avaliar e classificar diferentes tipologias de edificação de acordo com seu desempenho energético. No ano 2014, foi aprovada a Instrução Normativa MPOG/SLTI nº 2, que exige a Etiqueta Nível A para os prédios públicos federais. Desde então, a EE tornou-se item obrigatório nos novos projetos com áreas superiores a 500 m² ou reformas (*retrofit*) de prédios públicos federais.

O conceito de *retrofit* (“retro”, do latim, significa movimentar-se para trás e *fit*, do inglês, adaptação, ajuste) surgiu ao final da década de 90 na Europa e nos Estados Unidos. Primeiramente, foi utilizado na indústria aeronáutica, em atualizações de aeronaves e, com o passar do tempo, começou a ser empregado na construção civil. Assim, com o intuito

de aprimorar edificações ineficientes energeticamente, o *retrofit* consiste na modernização dos sistemas existentes, a partir da implementação de novas tecnologias que proporcionem maior eficiência energética (Barrientos, 2004).

A implementação de soluções que visem a EE em edificações é cada vez mais valorizada, tanto por corroborar com aspectos de sustentabilidade e preservação dos recursos naturais, quanto por apresentarem reduções de custos de energia. Medidas como utilização de um sistema de condicionamento ambiental com menor consumo de energia e adoção de lâmpadas mais eficientes são algumas das diversas possibilidades de redução de consumo energético. Há mais de duas décadas, Westphal *et al.* (1998) aplicou o conceito de *retrofit* ao sistema de iluminação no prédio da Federação das Indústrias de Santa Catarina com utilização do programa VisualDOE, no qual apresentou 35% de redução de consumo de energia elétrica para iluminação e 14% para refrigeração. Nesse estudo, foi analisada a substituição de lâmpadas incandescentes por lâmpadas fluorescentes. Na mesma linha, Clasen (2012) em seu trabalho de *retrofit* do sistema de iluminação em salas de aula da Universidade Federal de Santa Catarina, constatou uma economia de energia de 31,35% a partir da instalação de lâmpadas de tecnologia *Light Emitting Diode* (LED). Foi estimado um *payback* simples de 1 ano e 3 meses. Em estudo similar, Neto (2016) obteve economia de 45% no consumo destinado a iluminação em uma escola pública no Paraná. Recentemente, Rudnicki e Schmidt (2020) constataram um potencial de redução de consumo de energia elétrica destinada a iluminação de 58% a partir da análise da aplicação de lâmpadas LED no prédio público da Associação dos Municípios do Oeste do Paraná.

Pietzsch (2012), ao analisar o comportamento energético de uma edificação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul através do programa *Energyplus*, propôs a substituição das lâmpadas fluorescente por LED. Como resultado, obteve uma redução de consumo de energia destinada a iluminação de 40% e de 13% para condicionar o ar dos ambientes. Já Machado (2018), com uma metodologia de simulação com a utilização do mesmo *software* em um edifício acadêmico em São Paulo demonstrou, a partir da substituição de lâmpadas fluorescentes por lâmpadas LED de fluxo luminoso equivalente, uma redução de 27%.

No que tange ao *retrofit* do sistema de condicionamento de ar, Gamarra e Pereira (2017) analisam a viabilidade técnica e econômica da substituição do sistema de climatização existente (*split* convencional) por um sistema de Vazão de Refrigerante Variável (VRV) em uma biblioteca no Paraná. Ao final do estudo, concluiu-se que a alteração do sistema proporcionaria uma redução de 42,08% no consumo de energia elétrica com climatização, porém, provou-se inviável economicamente devido ao elevado custo inicial de implementação. Taube (2017) faz a mesma análise para um prédio público da Universidade Federal do Pampa, na qual constata uma redução de 39,78% no consumo destinado a climatização dos ambientes da edificação.

Já Humbert (2015), analisa a troca de condicionadores de ar do tipo Janela por condicionadores de ar tipo *split inverter* para uma pousada em Santa Catarina. Foi obtida uma redução total anual no consumo de 23%. Rech (2018), a partir de simulações no *Energyplus*, aborda o comportamento da eficiência anual de condicionadores de ar tipo *split* de rotação fixa e variável nas diferentes zonas bioclimáticas brasileiras. Como resultado, a média geral de economia de energia produzida a partir da substituição de equipamentos fixos por equipamentos variáveis é de 33%.

O Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (2015) apresentou um estudo de caso aplicado ao prédio público do Ministério de Minas e Energia no Distrito Federal, no qual foram avaliados cenários de substituição dos condicionadores de ar existentes com classificação energética nível C por condicionadores de ar com rotação fixa e variável de classificação energética nível A. Os resultados revelaram economias na ordem de 7,7% e 10%, para os respectivos cenários, no que tange consumo destinado a climatização.

A cidade de Tramandaí, localizada na região do litoral norte do estado do Rio Grande do Sul, com cerca de 52.632 habitantes segundo IBGE (2020), é a segunda cidade mais populosa da região e, com isso, possui diversos prédios públicos, nos quais a implementação de medidas de EE pode trazer benefícios à população. O objetivo do estudo é avaliar o nível de EE dos sistemas individuais de iluminação e condicionamento de ar do prédio público da Prefeitura Municipal de Tramandaí (PMT) de acordo com o método prescritivo do RTQ-C. Com o nível de EE determinado, propostas de melhorias são sugeridas e analisadas a partir dos dados do perfil de consumo de energia elétrica e uso final da energia, determinados pela simulação termo energética da edificação. Por fim, será apresentado o tempo de retorno do investimento, a fim de demonstrar a viabilidade econômica de cada cenário.

2. METODOLOGIA

O estudo dividiu-se em quatro etapas principais: Aquisição dos dados, determinação do nível de EE dos sistemas de iluminação e condicionamento de ar pelo método prescritivo do RTQ-C, simulação termo energética da edificação existente e dos cenários de melhorias propostas e análise de viabilidade econômica.

2.1 Objeto de estudo

A edificação da PMT, localizada na Av. da Igreja, número 346 - centro de Tramandaí/RS, foi construída em 1983, possui área total de 4.388,57 m² e cerca de 165 ambientes. A edificação possui cinco pavimentos com projeção aproximada de 46 m de comprimento por 24 m de largura e altura de 17,5 m, fachada frontal voltada para o Sul e orientação Norte-Sul paralela ao eixo longitudinal inclinada 32° a Leste. A Fig. 1(a) e (b) apresentam a fachada frontal e o entorno da PMT, respectivamente. O quinto pavimento e parte do quarto pavimento (auditório) foram interditados há dois anos e, dessa forma, não fizeram parte do escopo do trabalho. Assim, foram analisados 3.270,18 m², sendo

2.276,78 m² de escritórios, 643,44 m² de áreas de circulação e corredores, 45,75 m² de escadas, 66,77 m² de depósitos, 82,2 m² de cozinhas e copas e 155,24 m² de banheiros em áreas comuns e privativas.

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. No entanto, entre 08:00h e 13:00h a edificação é ocupada parcialmente por atividades de limpeza, manutenção ou desenvolvimento de atividades, por parte dos servidores, não relacionadas a atendimento ao público.



Figura 1 - (a) Fachada frontal da edificação e (b) Entorno da edificação.

A PMT está localizada na área de concessão da Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE), enquadra-se no subgrupo de tensão A4 e, atualmente, opta pela modalidade tarifária horária verde. É atendida em uma tensão de 13.800 V e possui uma demanda contratada de 155 kW. Foram analisadas as faturas de energia elétrica de junho de 2019 a maio de 2020, possibilitando a compreensão do perfil de consumo de energia elétrica da edificação. A Fig. 2 apresenta o consumo de energia elétrica mensal no horário de ponta (HP), período compreendido entre as 18:00h e 21:00h, e no horário fora de ponta (HFP), demais horas do dia. Observa-se, que o consumo é semelhante entre os meses de abril e novembro e consideravelmente superior entre dezembro e março. O consumo médio mensal da edificação no HFP é de 12.125,50 kWh enquanto no HP é de 1.428,50 kWh. Logo, durante os meses considerados na análise a edificação consumiu 162,65 MWh.

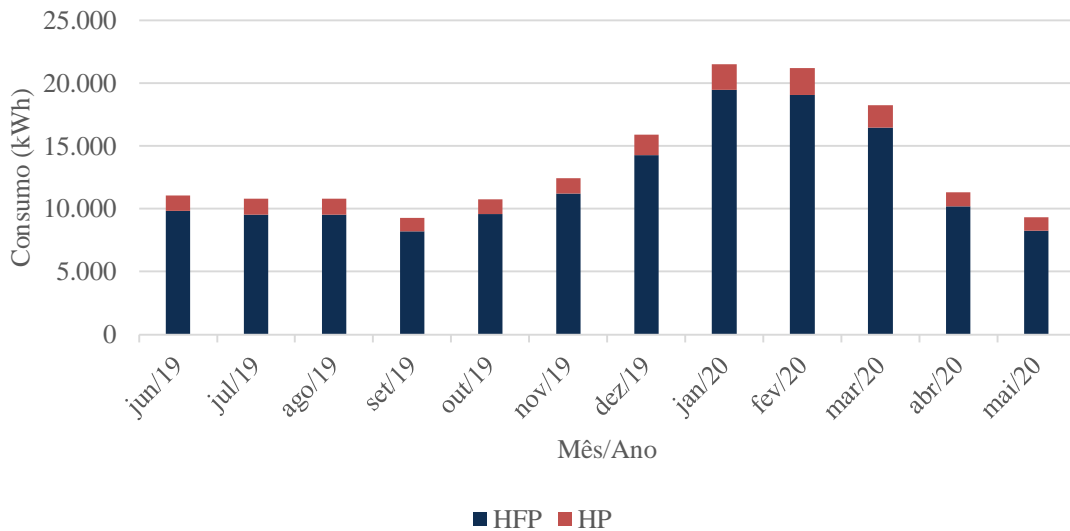


Figura 2 - Consumo de energia elétrica mensal.

Analisando o histórico das faturas de energia elétrica da edificação, percebe-se uma variação considerável no preço das tarifas exercidas. A tarifa referente a energia no HFP oscilou entre 0,485337 e 0,561414 R\$/kWh, enquanto o HP variou entre 2,186411 e 2,412791 R\$/kWh nos meses considerados. Nesta tarifa já estão considerados os impostos referentes a incidência do Imposto de Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS), Programa de Integração Social (PIS) e Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS). A fim de utilizar um valor que melhor represente a realidade da tarifa exercida, serão utilizados como base para o cálculo de viabilidade econômica os valores de 0,529927 e 2,279054 R\$/kWh para o HFP e HP, respectivamente, obtidos a partir da média aritmética das tarifas aplicadas nos doze meses analisados.

2.2 Determinação do nível de eficiência energética

Determinar o nível de EE de uma edificação é de suma importância, pois permite comparar as características desta com métricas pré-estabelecidas que indicam o seu nível de desempenho. A partir disso, torna-se possível identificar oportunidades de melhorias e redução de consumo de energia elétrica. O RTQ-C especifica a classificação em três categorias individuais de requisitos que determinam o nível de EE: envoltória, sistema de iluminação e sistema de condicionamento de ar. Estes, avaliados separadamente, adquirem níveis de eficiência parciais que, combinados em uma equação, resultam na eficiência geral da edificação. Para classificação geral, as avaliações parciais recebem pesos distribuídos da seguinte forma: envoltória 30%, sistema de iluminação 30% e sistema de condicionamento de ar 40% (PROCEL, 2016).

Este estudo adota os métodos prescritivos do RTQ-C como forma de avaliar a EE dos sistemas de iluminação e condicionamento de ar da edificação. O método prescritivo trata-se de um cálculo simplificado que avalia as edificações e sistemas por meio de equações e tabelas, sem a necessidade de simulações. Logo, há cinco níveis de eficiência, tanto para classificações parciais como para totais, e são: A (mais eficiente), B, C, D e E (menos eficiente) (PROCEL, 2016).

A avaliação de cada sistema individual utiliza equivalentes numéricos (EqNum), que são números que representam a EE de um sistema. Os valores da Tab. 1(a) são utilizados no início das avaliações, quando é determinada a eficiência parcial dos sistemas. Já os valores da Tab. 1(b) são utilizados para classificação final, visto que os sistemas de iluminação e condicionamento de ar tem seu nível de eficiência ponderado, por existirem sistemas com eficiência diferentes ou por não atender os pré-requisitos (PROCEL, 2016).

Tabela 1 - Equivalente numérico para cada nível de EE (PROCEL, 2016).

Classificação Parcial	EqNum	Classificação Final	EqNum
A	5	A	$\geq 4,5$ a 5
B	4	B	$\geq 3,5$ a $< 4,5$
C	3	C	$\geq 2,5$ a $< 3,5$
D	2	D	$\geq 1,5$ a $< 2,5$
E	1	E	$< 1,5$

(a) (b)

2.2.1 Determinação do nível de eficiência do sistema de iluminação

Dois métodos para determinação do nível de eficiência do sistema de iluminação são considerados: método da área da edificação e método das atividades da edificação. O primeiro avalia o sistema de iluminação de forma geral, enquanto o segundo, avalia cada ambiente de forma individual. No caso em que a edificação não é avaliada por completo, deve-se utilizar o método das atividades da edificação (PROCEL, 2016). Dessa forma, será utilizado o segundo método.

Requisitos referentes a iluminação no ambiente de trabalho, mencionados na ABNT NBR ISO/CIE 8995-1, devem ser atendidos para classificar o nível de EE do sistema, no entanto, não foram avaliados neste trabalho. Logo, a eficiência da iluminação é determinada a partir da Densidade de Potência de Iluminação (DPI), de acordo com as diferentes atividades exercidas pelos usuários de cada ambiente. Quanto menor a potência utilizada, menor é a energia consumida e mais eficiente é o sistema, desde que garantidas as condições adequadas de iluminação. O cálculo da Potência Limite (PL) das atividades é calculado pela Eq. (1),

$$PL = \sum A_i \cdot DPI_L \quad (W) \quad (1)$$

onde, A_i é a área iluminada do ambiente analisado (m^2) e DPI_L a densidade de potência de iluminação limite (W/m^2) do ambiente analisado. Os valores de DPI_L são definidos no RTQ-C, considerando a atividade encontrada na edificação e o nível de eficiência para cada atividade. Os ambientes da PMT foram categorizados nas seguintes atividades: escritório, circulação, escada, depósito, cozinha e banheiro. A partir dos dados da edificação coletados *in loco* e apresentados na Tab. A1 do apêndice A, pode-se calcular o nível de EE parcial do sistema de iluminação, que leva em consideração as informações coletadas da Potência de Iluminação Instalada (PII) e DPI_L . Subsequentemente, atribui-se o nível de EE parcial relativo a cada atividade. De acordo com o nível de EE pretendido, faz-se necessária a avaliação do atendimento dos pré-requisitos exigidos. A Tab. 2 ilustra os pré-requisitos necessários em cada nível.

A divisão dos circuitos estipula que para cada ambiente fechado por paredes ou divisórias até o teto, deve-se possuir pelo menos um dispositivo de controle manual para o acionamento, independente da iluminação interna do ambiente. Já a contribuição da luz natural, refere-se ao acionamento interno do sistema de iluminação em cada ambiente. Ambientes com aberturas para o exterior que possuam mais de uma fileira de luminárias paralelas às aberturas, devem possuir um controle para o acionamento independente da fileira de luminárias mais próxima à abertura, proporcionado o aproveitamento da luz natural disponível. Se o ambiente tiver apenas uma luminária ou estas não estiverem dispostas em fileira paralela à abertura o pré-requisito não se aplica, assim como para ambientes que não possuem abertura para o

exterior. O desligamento automático aplica-se apenas a ambientes com mais de 250 m² (PROCEL, 2016). Por fim, multiplica-se a PII total em cada tipologia pelo EqNum da classificação parcial após serem avaliados os pré-requisitos, de modo que a classificação final do sistema seja determinada pela razão entre o somatório das multiplicações pela PII total das diferentes atividades.

Tabela 2 - Pré-requisitos específicos de iluminação (Adaptado de PROCEL (2016)).

Nível Pretendido	Divisão de Circuitos	Contribuição da Luz Natural	Desligamento Automático
A	X	X	X
B	X	X	
C	X		
D	X		

2.2.2 Determinação do nível de eficiência do sistema de condicionamento de ar

A fim de obter o nível de EE do sistema de climatização são necessários dados técnicos de cada equipamento instalado em cada ambiente, os quais são apresentados na Tab. A2 do apêndice A. Todos os equipamentos da edificação são do tipo *Split high wall* e regulamentados pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO). Requisitos referentes a qualidade do ar interior, mencionados na ABNT NBR 16401-3, também devem ser atendidos, porém não foram avaliados neste trabalho. Assim, faz-se necessária a ponderação da classificação dos equipamentos por sua capacidade de refrigeração, visto que estes apresentam níveis de EE distintos. Os condicionadores de ar foram agrupados por capacidade de refrigeração e EqNum_{parcial}, a fim de compreender a representatividade de cada nível de EE quando considerada a capacidade de refrigeração total instalada na edificação. O cálculo do EqNum_{final} é representado pela Eq. (2),

$$EqNum_{final} = \sum \frac{Cap_{ac}}{Cap_{total}} \cdot EqNum_{parcial} \quad (adimensional) \quad (2)$$

sendo Cap_{ac} a capacidade de refrigeração unitária de cada equipamento (Btu/h) e Cap_{total} a capacidade de refrigeração total instalada na edificação (Btu/h).

2.3 Simulação termo energética

A utilização de um modelo computacional possibilita a iteração com diversas características operacionais e propriedades físicas da edificação que por sua vez, possuem análises reais complexas, por exemplo, troca do sistema de condicionamento de ar, alteração de ganhos internos como iluminação e equipamento, influência da luz diurna, ventilação natural e forçada, infiltração, materiais construtivos, entre outros. Os dados de saídas obtidos refletem um perfil de comportamento da edificação em relação ao consumo de energia, ganho e perda transiente de energia nos componentes construtivos, entre outras possibilidades. No entanto, nem sempre a implementação numérica condiz com o uso e operação real da edificação após a sua ocupação, sendo assim, é conveniente que haja a calibração do modelo numérico. A aquisição e inserção dos dados da edificação em um programa é muito importante para obter-se o resultado mais próximo da realidade.

Visando compreender o consumo de energia da edificação existente da PMT e após as alterações nos sistemas de iluminação e condicionamento de ar, utilizou-se da ferramenta de simulação termo energética. Para tal, a edificação foi modelada utilizando as ferramentas de desenho do programa *Sketchup* 2017, juntamente com o *plugin OpenStudio* 2.9. Para resolução, utilizou-se o algoritmo de cálculo do programa *Energyplus* 9.2, validado conforme os protocolos da *ASHRAE Standard* 140. São considerados quatro cenários de simulação: modelo base (Modelo Real), modelo proposto de iluminação (Proposta Iluminação), modelo proposto de climatização (Proposta Climatização) e modelo combinado (Proposta Combinada), o qual prevê a combinação das melhorias propostas. As informações do Modelo Real foram coletadas *in loco*, a fim de representar o comportamento da edificação existente. Os apêndices A e B apresentam descrições quanto a ocupação e ganhos relacionados ao sistema de iluminação e condicionamento de ar.

2.3.1 Modelo real

O modelo geométrico trata-se da representação tridimensional da edificação, que tem o intuito de representar, mais fielmente possível, a construção da edificação existente. Para tal, cada ambiente é representado como uma zona térmica, definida como um volume de ar a temperatura uniforme com uma envoltória composta por paredes, pisos, teto, portas e janelas (Energy, 2019). Na modelagem, foram construídas 165 zonas térmicas, sendo 60 climatizadas e 25 nas quais não foram adicionados ganhos internos por não fazerem parte do escopo do trabalho. A Fig. 3(a) apresenta a vista frontal da modelagem tridimensional e a Fig. 3(b) apresenta o entorno da edificação.

O entorno da edificação impacta diretamente em seu consumo de energia. Objetos como árvores e outros edifícios causam um efeito de sombreamento na edificação, de modo a influenciar na quantidade de luz visível e na radiação

incidente sobre a edificação e, por isso, devem ser considerados e modelados. Simplificações foram realizadas devido a limitações do programa. Assim, a simulação do modelo geométrico será validada a partir da comparação do consumo de energia elétrica do Modelo Real com o consumo de energia elétrica real. Para isto, foram analisados o consumo total anual e o perfil de consumo ao longo dos meses do ano.

A edificação localiza-se na zona bioclimática 2 (ABNT NBR 15.220-3, 2003). Os dados climáticos utilizados na simulação são oriundos da estação meteorológica automática situada em Tramandaí, código 869900, do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). O arquivo contém registros no período entre 2001 e 2010 no formato *Energyplus Weather* (Climate.OneBuilding.Org, 2020), do tipo Ano Meteorológico Típico (*Typical Meteorological Year - TMY*), onde são selecionados os meses mais expressivos que ocorreram no período medido, resultando em um arquivo com 8760 horas de dados.

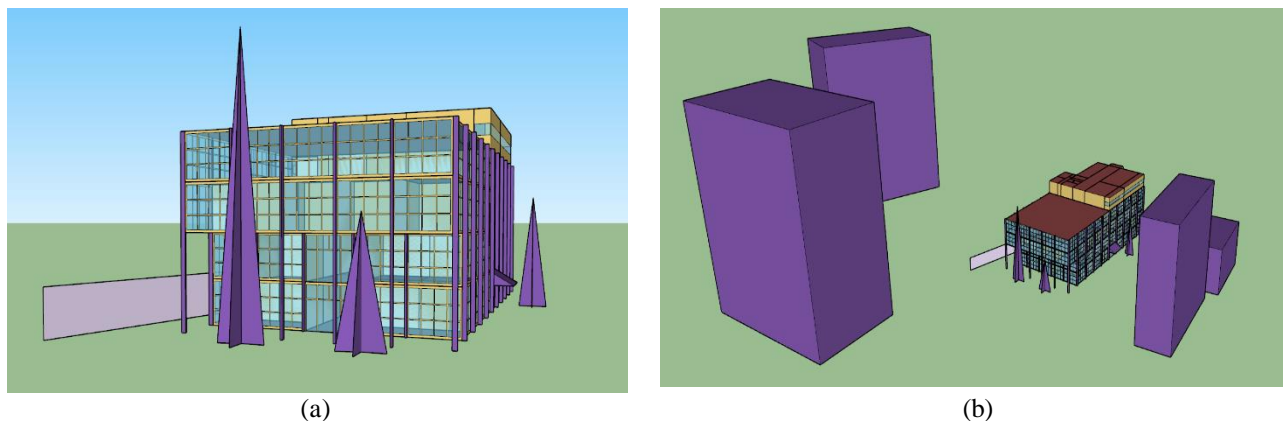


Figura 3 - (a) Modelo geométrico da edificação e (b) Entorno da edificação.

2.3.2 Características construtivas: envoltória, cobertura e piso

As características construtivas e especificações físicas dos elementos que constituem a envoltória da edificação são apresentadas na Tab. 3. Padrões para cada tipo de construção são assumidos, respeitando a ordem crescente do exterior da zona térmica para o interior. As propriedades termofísicas, que são condições necessárias para definir o material, são: espessura – L , condutividade térmica – k , massa específica – ρ , calor específico – c_p , resistência térmica – R , emissividade – ε , absorptividade solar térmica/visível – α .

Tabela 3 - Características construtivas e propriedades termofísicas (ABNT NBR 15220-2, 2003; ASHRAE Handbook, 2017; Energy, 2019).

Construção		Materiais	L (m)	k (W/m·K)	ρ (kg/m ³)	c_p (J/kg·K)	R (m ² ·K/W)	ε (-)	α (-)
Parede Externa	Exterior ↓	Argamassa de reboco	0,025	1,15	2.000	1.000	-	0,9	0,3
		Bloco cerâmico 9x14x24 cm	0,009	0,9	920	1.600	-	0,9	0,7
		Camada de ar bloco cerâmico 9x14x24cm	-	-	-	-	0,175	-	-
	Interior	Argamassa de reboco	0,025	1,15	2.000	1.000	-	0,9	0,3
Parede Interna	Exterior ↓	Argamassa de reboco	0,025	1,15	2.000	1.000	-	0,9	0,3
		Bloco cerâmico 9x14x24 cm	0,009	0,9	920	1.600	-	0,9	0,7
	Interior	Argamassa de reboco	0,025	1,15	2.000	1.000	-	0,9	0,3
Divisória Interna de Madeira	Exterior ↓	Placa de fibra de média densidade (MDF)	0,025	0,17	700	2.300	-	0,9	0,6
		Camada de ar entre placas	-	-	-	-	0,14	-	-
	Interior	Placa de fibra de média densidade (MDF)	0,025	0,17	700	2.300	-	0,9	0,6

(continuação)

Construção	Materiais		L (m)	k (W/m·K)	ρ (kg/m ³)	c_p (J/kg·K)	R (m ² ·K/W)	ε (-)	α (-)
Piso (Primeiro pavimento)	Exterior ↓	Brita	0,025	0,7	1.500	800	-	0,9	0,7
		Concreto normal	0,1	1,75	2.200	1.000	-	0,9	0,7
		Cimento	0,007	0,72	1.860	840	-	0,9	0,7
	Interior	Piso cerâmico	0,01	0,9	1.600	920	-	0,9	0,4
Laje/piso (demais pavimentos)	Exterior ↓	Piso cerâmico	0,01	0,9	1.600	920	-	0,9	0,4
		Laje maciça de concreto	0,1	1,75	2.200	1.000	-	0,9	0,7
	Interior	Argamassa de reboco	0,025	1,15	2.000	1.000	-	0,9	0,3
Cobertura	Exterior ↓	Telha Fibrocimento	0,01	0,95	1.900	840	-	0,9	0,7
		Camada de ar > 5 cm	-	-	-	-	0,21	-	-
		Laje maciça de concreto	0,1	1,75	2.200	1.000	-	0,9	0,7
	Interior	Argamassa de reboco	0,025	1,15	2.000	1.000	-	0,9	0,3

2.3.3 Características construtivas: esquadrias

As esquadrias externas foram representadas no modelo geométrico, considerando os marcos e travessas conforme as dimensões do projeto arquitetônico. Os vidros externos possuem a característica fumê e são considerados como fixos. As propriedades termofísicas das esquadrias e dos vidros são apresentadas na Tab. 4 e Tab. 5, respectivamente. As características termofísicas consideradas são: espessura – L, transmitância solar – τ_s , transmitância visível – τ_v , transmitância infravermelho – τ_{in} , refletividade solar frontal e posterior – ρ_s , emissividade infravermelho frontal e posterior – ε_{in} e condutividade térmica – k. Com essas propriedades, o vidro possui o valor do coeficiente de ganho de calor solar (SHGC – *Solar Heat Gain Coefficient*) de aproximadamente 0,59. Neste estudo não foram considerados sistemas de proteção solar. Os vidros internos estão presentes parcialmente em divisórias internas de madeiras e como divisórias entre ambientes. O valor do SHGC dos vidros internos é 0,81.

Tabela 4 - Características termofísicas das esquadrias (ABNT NBR 15220-2, 2003; ASHRAE Handbook, 2017).

Descrição	L (m)	k (W/m·K)	ρ (kg/m ³)	c_p (J/kg·K)	R (m ² ·K/W)	ε (-)	α (-)
Alumínio	0,003	230	2700	880	-	0,9	0,97

Tabela 5 - Características termofísicas dos vidros (ASHRAE Handbook, 2017; Energy, 2019).

Descrição	L (m)	τ_s (-)	τ_v (-)	τ_{in} (-)	ε_{in} (-)	ρ_s (-)	k (W/m·K)
Vidro Fumê - Externo	0,006	0,46	0,46	0	0,84	0,05	0,9
Vidro simples (<i>clear</i>) - Interno	0,006	0,775	0,881	0	0,84	0,071	0,9

Aberturas internas, como portas e janelas, não foram representadas. No entanto, algumas zonas térmicas da edificação são abertas entre si. Com o intuito de representar essa característica, foi utilizada a propriedade *Air Boundary* como material construtivo. Essa propriedade faz com que a resistência térmica do material seja desprezada, possibilitando a troca de ar entre as zonas térmicas.

2.3.4 Cargas térmicas internas

As cargas térmicas internas referem-se a fontes que emitem calor no interior dos ambientes. Essa liberação de calor é atribuída ao sistema de iluminação, equipamentos, pessoas e infiltrações.

2.3.4.1 Sistema de iluminação

O sistema de iluminação da PMT apresenta circuitos fechados, ou seja, para cada ambiente fechado até o teto existe, no mínimo, um acionamento independente para a iluminação interna do ambiente. A partir da coleta dos dados foi possível

obter informações de quantitativos de lâmpadas e luminárias, assim como, de suas respectivas características técnicas. A Tabela A1 do apêndice A apresenta a descrição do sistema de iluminação e a DPI de cada zona térmica. O sistema possui uma potência total instalada de 22.023 W, sendo 1.508 W destinados a iluminação externa. Desses, existem diferentes tecnologias de lâmpadas, sendo 465 do tipo fluorescente, 135 LED, 2 Vapor Metálico e 2 incandescente. A Fig. 4 apresenta o percentual de cada tecnologia de lâmpada que compõe o sistema de iluminação da PMT.

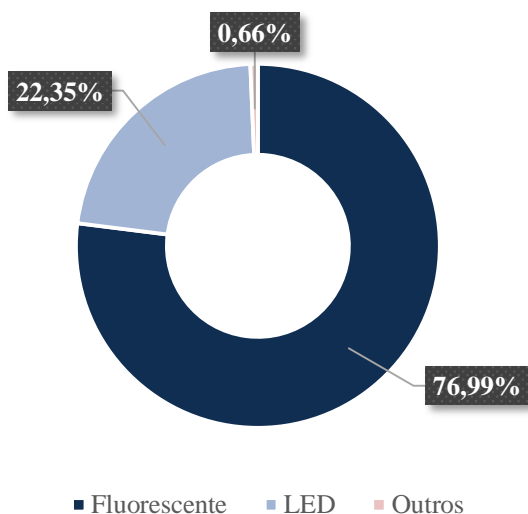


Figura 4 - Percentual de lâmpadas por tecnologia.

Para simulação, além da potência de iluminação instalada na zona térmica, se faz necessário informar o valor referente a fração visível e radiante de dissipação de cada luminária. Assim, adotou-se os valores de 0,08 e 0,73 para lâmpadas de tecnologia incandescente, 0,21 e 0,37 para fluorescente e 0,25 e 0 para LED, respectivamente, conforme recomendado por Ahn *et al.* (2014). Já as lâmpadas de vapor metálico, como estão na área externa do edifício, não necessitam de tal informação.

As diversas tipologias de ambientes encontradas na edificação apresentam diferentes perfis de utilização do sistema de iluminação. Assim, considerou-se que, a partir dos horários de funcionamento da edificação, os ambientes de escritório, assim como escadas e circulação utilizam diariamente o sistema por 8 horas, enquanto cozinhas/copas e banheiros de uso comum por 4 horas. Banheiros de uso privativo e depósitos utilizam por 2 horas e 5 minutos, respectivamente. Já a iluminação externa, acionada por sensor fotoelétrico, opera entre as 18:00h e 06:00h.

2.3.4.2 Equipamentos

Ao longo da auditoria energética foram levantados os quantitativos dos principais equipamentos elétricos da edificação. Equipamentos como bebedouros, impressoras e o elevador tiveram seus dados de potência, informados pelo fabricante, levantados *in loco*. Para os demais equipamentos, foram utilizados valores de potências recomendadas pela Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG). Para todos os equipamentos considerou-se fração radiante igual a 0,3 e fração convectiva de 0,7 (ASHRAE Handbook, 2017; Energy, 2019). A Tab. 6 apresenta os equipamentos com suas respectivas potências e regime de utilização, inseridos no *Energyplus* para cálculo de consumo de energia.

2.3.4.3 Pessoas

Para cada ambiente regularmente ocupado foi registrado o número de ocupantes. A Tab. A1 do apêndice A apresenta o número de pessoas considerado em cada zona térmica. Configurou-se o perfil de ocupação de modo que enquanto o ambiente estiver iluminado todos os ocupantes estarão presentes. Cada ocupante dissipa 117 W de calor com fração radiante igual a 30%, referente a taxa metabólica para uma pessoa realizando a atividade de digitação (ASHRAE Handbook, 2017).

2.3.4.4 Infiltração de ar nas zonas térmicas

A renovação do ar interior em ambientes climatizados é obrigatória e deveria ser prevista no edifício de estudo, no entanto, este não possui um sistema mecânico dedicado a esta finalidade. A ABNT NBR 16401-3 (2008) estipula que a vazão mínima de ar exterior a ser suprida pelo sistema de ventilação em ambientes de escritório é de 0,3 L/s.m², com o intuito de manter a concentração de poluentes no ar em nível aceitável. Assim, para a simulação, considera-se que a vazão mínima exigida é atendida em decorrência da abertura e do fechamento de portas e janelas, assim como de infiltrações por frestas.

Tabela 6 - Equipamentos elétricos (Adaptada de CEMIG (2019)).

Equipamento	Quantidade	Potência (W)	Utilização Média Diária (horas)
Bebedouro*	26	80	24
Cafeteira Elétrica	20	600	1
Chaleira Elétrica	14	600	1
Computador	197	100	8
Elevador*	1	2.237	0,5
Forno Micro-ondas	8	1.200	0,3
Frigobar	16	70	24
Geladeira	7	110	24
Impressora Grande*	54	120	1
Impressora Pequena*	12	20	1
Notebook	5	30	8
Telefone sem Fio	49	3	24
Televisão	6	150	5
Ventilador	20	65	8
*Dados coletados no local.			

2.3.5 Sistema de climatização

A PMT possui 60 ambientes climatizados, que somam 1.864,22 m², equivalentes a 57% da área total avaliada. Foram identificados 66 condicionadores de ar do tipo *Split high wall* de rotação fixa, com capacidades de refrigeração entre 9.000 Btu/h (2.636 W) e 30.000 Btu/h (8.787 W), totalizando 1198 kBtu/h (350,894 kW ou 99,7 TR – Toneladas de Refrigeração). Também foram encontrados condicionadores de ar do tipo janela, no entanto, estes não estão em funcionamento há mais de dois anos e, portanto, não foram contabilizados. Todos os equipamentos são independentes e apresentam um coeficiente de performance (COP) que varia entre 2,81 e 3,46 – regulamentados pelo INMETRO e com níveis A, B, C e D de EE (INMETRO, 2020).

A Fig. 5 apresenta o valor percentual de condicionadores de ar por nível de classificação de EE.

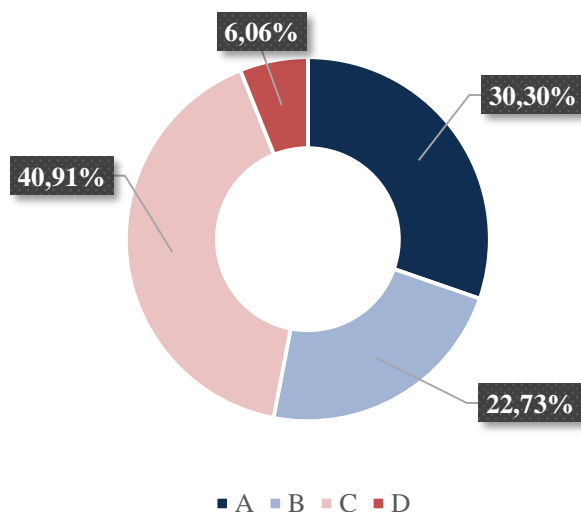


Figura 5 - Percentual de condicionadores de ar por nível de classificação de EE.

Os condicionadores de ar levantados foram modelados como *Packaged Terminal Heat Pumps* (PTHP). Os dados dos equipamentos foram obtidos nos catálogos dos fabricantes e nas informações cedidas pelo INMETRO e estão disponíveis na Tab. A2 do apêndice A. Foi considerado que todos os equipamentos possuem a funcionalidade de operar em ciclo reverso, ou seja, operam tanto para resfriamento quanto aquecimento. Para informações além das características técnicas de cada equipamento foram utilizados valores padrão sugeridos pelo programa. A disponibilidade do sistema de climatização está vinculada a ocupação, ou seja, os condicionadores de ar só podem estar em operação caso o ambiente

esteja sendo ocupado. A temperatura dos termostatos foi considerada como constante durante o ano inteiro, configurada para 24 °C para resfriamento e 21 °C para aquecimento.

2.4 Propostas de melhorias

A partir da determinação dos níveis de EE, é previsto o *retrofit* dos sistemas de iluminação e climatização como ação de redução do consumo de energia elétrica da edificação. Para isto, são analisadas tecnologias disponíveis no mercado, capazes de atender as necessidades específicas da edificação e proporcionar igual ou melhor conforto e qualidade dos serviços já prestados, consumindo menor quantidade de energia.

2.4.1 Sistema de iluminação

A determinação por um *retrofit* no sistema de iluminação não se resume a simples substituição de lâmpadas por outras mais eficientes energeticamente. O processo abrange a análise das tecnologias existentes, os benefícios obtidos com a aplicação da nova solução e a viabilidade econômica nessa troca. As lâmpadas propostas levam em consideração o fluxo luminoso, em lúmens, das lâmpadas atuais instaladas, uma vez considerado que os níveis mínimos de iluminância, em lux, já são atendidos nos ambientes conforme a ABNT NBR ISO/CIE 8995-1, que trata sobre a iluminação de ambientes de trabalho. Temperatura de cor e vida útil das lâmpadas são características também consideradas. Assim, as lâmpadas propostas devem possuir propriedades similares, entregando igual ou melhor nível de conforto e potência inferior às lâmpadas atuais.

As lâmpadas selecionadas permitem a substituição imediata das lâmpadas atuais, sem a necessidade de troca das luminárias, com exceção das lâmpadas externas de vapor metálico, que terão seu conjunto (lâmpada e luminária) completamente substituído por refletores de tecnologia LED. A Tab. A3 do apêndice A apresenta a relação das lâmpadas existentes e na Tab. B1 do apêndice B é demonstrado o novo cenário de lâmpadas com seus respectivos preços, obtidos em uma pesquisa de mercado que realizou três orçamentos, sendo considerado o preço intermediário. A configuração das lâmpadas existentes, denominada 1, é substituída pela configuração 1 da lâmpada proposta e, respectivamente, para as demais configurações.

2.4.2 Sistema de condicionamento de ar

Propõem-se a substituição dos condicionadores de ar atuais por máquinas com características semelhantes, porém mais eficientes energeticamente. A proposta contempla a troca dos condicionadores de ar menos eficientes, com níveis de EE C e D por equipamentos de rotação fixa de mesma capacidade de refrigeração e vazão de ar, porém com nível de EE A. A única exceção é o condicionador de ar de uma sala do terceiro pavimento, que possui capacidade de refrigeração de 22.000 Btu/h (6.443 W) e será substituído por um de 24.000 Btu/h (7.029 W), modelo mais comum e disponível no mercado. A relação dos equipamentos propostos é apresentada na Tab. B2 do apêndice B.

2.5 Análise de viabilidade econômica

Para realização do *retrofit* dos sistemas são necessários investimentos, tanto em material quanto em mão-de-obra. O *Payback* Simples (PBS) é um método destinado a avaliação do tempo de retorno do investimento. A partir deste, é determinado o prazo necessário para que o capital inicial investido seja recuperado. Este fator ajuda a determinar a viabilidade e atratividade da proposta do ponto de vista financeiro.

A fim de calcular o PBS das propostas, foram considerados apenas os custos de compra das novas lâmpadas e condicionadores de ar, que compõem o investimento total, sendo desconsiderado o custo relacionado a substituição e descarte dos equipamentos antigos. Tais atividades poderiam ser realizadas pela equipe de manutenção interna do prédio da PMT e não exigiriam custos adicionais. A economia anual proporcionada, causada pela redução de consumo de energia elétrica dos sistemas propostos, será quantificada a partir da multiplicação da redução de consumo no HFP e HP por seus respectivos preços de tarifa. Neste cálculo simplificado será também desconsiderado o benefício relacionado a redução de demanda e a taxa de crescimento do preço da tarifa de energia elétrica ao longo dos anos. O cálculo do PBS é expresso pela Eq. (3),

$$PBS = \frac{I_t}{E_a} \quad (\text{anos}) \quad (3)$$

onde I_t é o investimento total (R\$) e E_a é a economia anual proporcionada (R\$/anos).

3. RESULTADOS

Inicialmente, foram analisados os níveis de EE para os sistemas de iluminação e condicionamento de ar pelo método prescritivo. Logo a simulação termo energética foi implementada considerando o arquivo base e, subsequentemente, para as propostas de melhorias. Por fim, a análise econômica dos cenários propostos é abordada e comentada.

3.1 Análise pelo método prescritivo

A partir dos valores adquiridos na visita em *in loco* da edificação da PMT, pode-se analisar o nível de EE do sistema de iluminação. A Tab. 7 apresenta a potência de iluminação instalada total e área de iluminação total, compreendendo todos os ambientes que possuem comportamentos semelhantes. Cada nível de EE é recomendado uma DPI_L. Pode-se observar que ambientes classificados como escritório possuem uma PII total de 14.773 W, sendo inferior ao valor de potência limite para o nível de EE A, logo, a classificação parcial para o ambiente de escritório é A. O mesmo acontece para os ambientes circulação, escada e cozinha. Já os níveis de EE para os ambientes de depósito e banheiro possuem PII total que os enquadraram nos níveis C e E, respectivamente.

Tabela 7 - Resultados dos níveis de eficiência energética para o sistema de iluminação.

Ambiente/Atividades	PII Total (W)	Área Iluminada Total (m ²)	Nível de EE	DPI _L (W/m ²)	Potência limite (W)	Classificação Parcial
Escritório	14.773	2.276,78	A	11,90	27.093,68	A
			B	14,28	32.512,42	
			C	16,66	37.931,15	
			D	19,04	43.349,89	
Circulação	3.594	643,44	A	7,10	4.568,42	A
			B	8,52	5.482,11	
			C	9,94	6.395,79	
			D	11,36	7.309,48	
Escada	120	45,75	A	7,40	338,55	A
			B	8,88	406,26	
			C	10,36	473,97	
			D	11,84	541,68	
Depósito	425	66,77	A	5,00	333,85	C
			B	6,00	400,62	
			C	7,00	467,39	
			D	8,00	534,16	
Cozinha	350	82,2	A	10,7	879,54	A
			B	12,84	1.055,45	
			C	14,98	1.231,36	
			D	17,12	1.407,26	
Banheiro	1.253	155,24	A	5	776,20	E
			B	6	931,44	
			C	7	1.086,68	
			D	8	1.241,92	

Todos os ambientes levantados possuem controle individual de iluminação nos ambientes, assim atendem o pré-requisito de divisão dos circuitos elétricos. Após classificação parcial, alguns ambientes de escritório que representam 1.177,55 m², 36,00% da área total analisada e 51,72% da área de escritórios, previamente classificados como nível A, passaram a obter classificação nível C, pois não atenderam ao pré-requisito de contribuição da luz natural. Os mesmos foram agrupados sob a categoria Escritório 2, enquanto os demais continuaram com classificação nível A, como Escritório 1. Nenhum dos ambientes levantados possui área superior a 250 m², portanto o pré-requisito de desligamento automático das lâmpadas não se aplica.

Conforme pode-se observar na Tab. 8, foi encontrado EqNum_{final} igual a 3,93, o qual, ao comparar-se com a Tab. 1(b), observa-se compreendido no intervalo $\geq 3,5$ a $< 4,5$, classificando, assim, o sistema de iluminação da edificação como B. Apesar de não contemplada nesse estudo, a divisão dos circuitos internos em cada ambiente de escritório, que permite o acionamento distinto das luminárias mais próximas as aberturas, é uma oportunidade de redução de consumo de energia elétrica que levaria a edificação a obter um melhor nível de classificação do sistema.

Tabela 8 - Classificação final do sistema de iluminação.

Ambientes/Atividades	Classificação Parcial	EqNum _{parcial}	PII Total (W)	PII Total x EqNum
Escritório 1	A	5	6.688	33.440
Escritório 2	C	3	8.085	24.255
Circulação	A	5	3.594	17.970
Escadas	A	5	120	600
Depósito	C	3	425	1.275
Cozinha	A	5	350	1.750
Banheiro	E	1	1.253	1.253
Total			20.515	80.463
EqNum _{Final}			3,93	
Classificação Final			B	

A Tab. 9 apresenta a quantidade de equipamentos para cada nível de EE, a capacidade de refrigeração, assim como, suas respectivas ponderações e EqNum_{parcial}. Conforme pode ser observado, encontrou-se 3 equipamentos com capacidade de refrigeração unitária de 9.000 Btu/h (2.636 W) com nível de EE A, apresentando assim EqNum_{final} de 0,1127. Para os demais equipamentos, utilizou-se a mesma análise. Por fim, a partir da soma das ponderações dos equivalentes numéricos individuais de cada condicionador de ar, chega-se ao valor de 3,71. Conforme pode-se constatar na Tab. 9, foi encontrado EqNum_{final} igual a 3,71, o qual, ao comparar-se com a Tab. 1(b), observa-se compreendido no intervalo $\geq 3,5$ a $< 4,5$, classificando, assim, o sistema de condicionamento de ar da edificação como B.

Tabela 9 - Condicionadores de ar e seus respectivos equivalentes numéricos.

Nível	EqNum Parcial	Número de Equipamentos	Capacidade de Refrigeração Unitária (Btu/h)	Capacidade de Refrigeração Total (Btu/h)	Ponderação	EqNum Final
A	5	3	9.000 (2.636 W)	27.000 (7.908 W)	0,0225	0,1127
A	5	9	12.000 (3.514 W)	108.000 (31.633 W)	0,0902	0,4508
A	5	3	18.000 (5.272 W)	54.000 (15.816 W)	0,0451	0,2254
A	5	4	24.000 (7.029 W)	96.000 (28.118 W)	0,0801	0,4007
A	5	1	30.000 (8.787 W)	30.000 (8.787 W)	0,0250	0,1252
B	4	1	9.000 (2.336 W)	9.000 (2.626 W)	0,0075	0,0301
B	4	1	12.000 (3.514 W)	12.000 (3.514 W)	0,0100	0,0401
B	4	5	18.000 (5.272 W)	90.000 (26.361 W)	0,0751	0,3005
B	4	7	24.000 (7.029 W)	168.000 (49.207 W)	0,1402	0,5609
B	4	1	30.000 (8.787 W)	30.000 (8.787 W)	0,0250	0,1002
C	3	14	12.000 (3.514 W)	168.000 (49.207 W)	0,1402	0,4207
C	3	2	18.000 (5.272 W)	36000 (10.544 W)	0,0301	0,0902
C	3	9	24.000 (7.029 W)	216.000 (63.266 W)	0,1803	0,5409
C	3	2	30.000 (8.787 W)	60.000 (17.574 W)	0,0501	0,1503
D	2	1	22.000 (6.443 W)	22.000 (6.443 W)	0,0184	0,0367
D	2	3	24.000 (7.029 W)	72.000 (21.088 W)	0,0601	0,1202
Total		66	-	1198000 (350.894 W)	1	3,71

3.2 Análise pelo método de simulação

A validação do modelo numérico foi realizada através da comparação do consumo mensal simulado com o medido pela concessionária. A Fig. 6 apresenta uma comparação entre o perfil de consumo de energia elétrica ao longo de um ano da edificação com os dados do Modelo Real. Observa-se que os perfis de consumo são semelhantes. O Modelo Real apresenta consumo anual de 161,40 MWh, com um erro global de 0,77% em relação ao valor referência de 162,65 MWh e erros mensais que variam entre -6,00% e 5,31%, o que comprova que o modelo é uma boa representação da edificação existente.

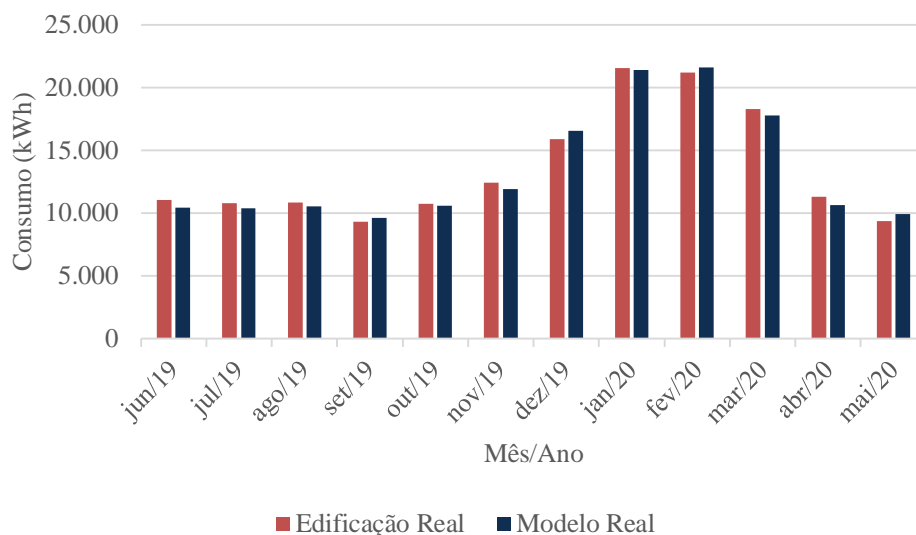


Figura 6 - Perfil de consumo de energia elétrica.

A fim de facilitar a compreensão dos resultados obtidos, segmentou-se o uso em categorias: climatização (ventiladores, aquecimento e resfriamento), equipamentos e iluminação. O Modelo Real apresentou um consumo por uso final de: 62.496,38 kWh destinados a iluminação, 58.740,17 kWh para equipamentos e 40.164,79 kWh para climatização, sendo 36.436,51 kWh para resfriamento, 2.967,49 kWh para aquecimento e 760,79 kWh para ventiladores, apresentados em valores percentuais na Fig. 7. O consumo destinado a iluminação e climatização somados representam 63,61% do consumo total da edificação, o que é comum, conforme já mencionado estes sistemas chegam a representar até 70% do consumo total (PROCEL, 2020). Já o percentual mais elevado, 38,72% para iluminação, deve-se a grande quantidade de lâmpadas fluorescentes instaladas.

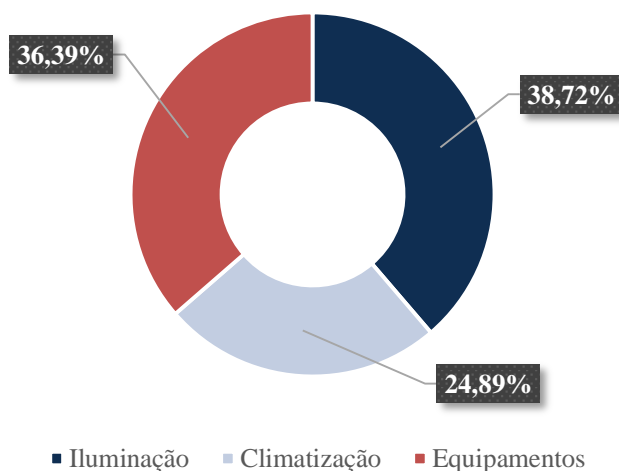


Figura 7 - Percentual do consumo por uso final anual do Modelo Real.

3.2.1 Retrofit do sistema de iluminação

A proposta contempla a substituição de 464 lâmpadas com um custo total de material aproximado de R\$ 14.116,31. A partir do *retrofit* do sistema de iluminação foi possível reduzir a potência instalada de 22.023 W para 12.000 W, representando 54,49%. Já a DPI média dos ambientes reduziu de 7,30 W/m² para 3,93 W/m². A Fig. 8 apresenta o cenário do consumo de energia por uso final, no qual o consumo de energia destinado a iluminação teve redução de 42,85%. A energia dispendida para resfriar os ambientes foi reduzida em 2.446,43 kWh (7,20%), devido a diminuição de carga térmica proveniente do sistema de iluminação nos ambientes, assim como os ventiladores, que reduziram seu consumo em 45,31 kWh (6,33%). Contudo, devido a menor potência instalada e, conseqüentemente, menor liberação de calor pelas lâmpadas, a energia necessária para aquecer os ambientes teve um aumento de 288,02 kWh (8,85%). Assim, a energia total necessária para climatizar os ambientes apresentou uma redução de 5,49%. Por fim, o *retrofit* do sistema de iluminação apresentou consumo de 132.417,71 kWh, redução de 28.983,76 kWh, o que representa 17,96% do consumo

total da edificação, sendo 17,71% do HFP e 20,51% do HP. Como esperado, o consumo de energia destinado a equipamentos não sofreu modificações.

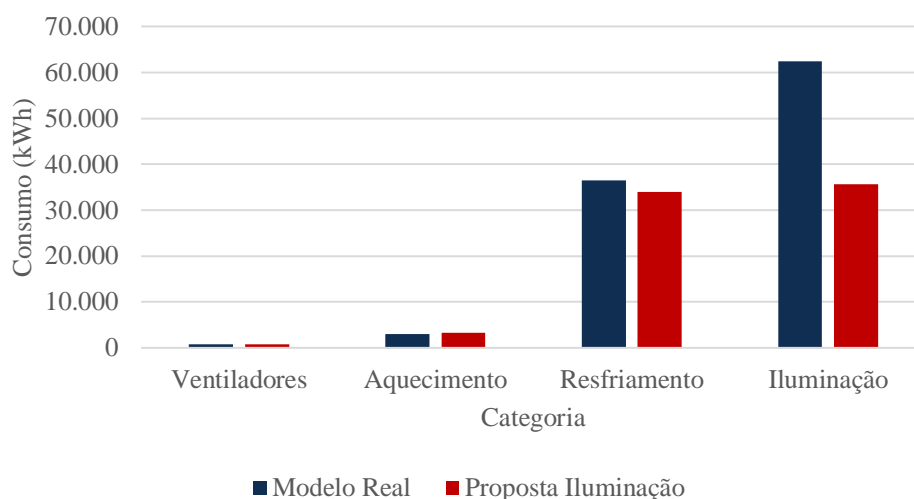


Figura 8 - Consumo de energia anual por uso final devido ao *retrofit* de iluminação.

3.2.2 *Retrofit* do sistema de condicionadores de ar

A proposta prevê a substituição de 31 condicionadores de ar com um custo total de R\$ 75.029,05. O *retrofit* do sistema de condicionadores de ar proporcionou um ganho de EE individual dos equipamentos. O COP médio entre todos os equipamentos instalados aumentou de 3,06 W/W para 3,30 W/W. Considerando apenas os 31 condicionadores de ar instalados, houve um ganho de eficiência na ordem de 18,18%, visto que o COP médio aumentou de 2,86 W/W para 3,38 W/W. A Fig. 9 apresenta a redução de consumo de energia em comparação com o Modelo Real.

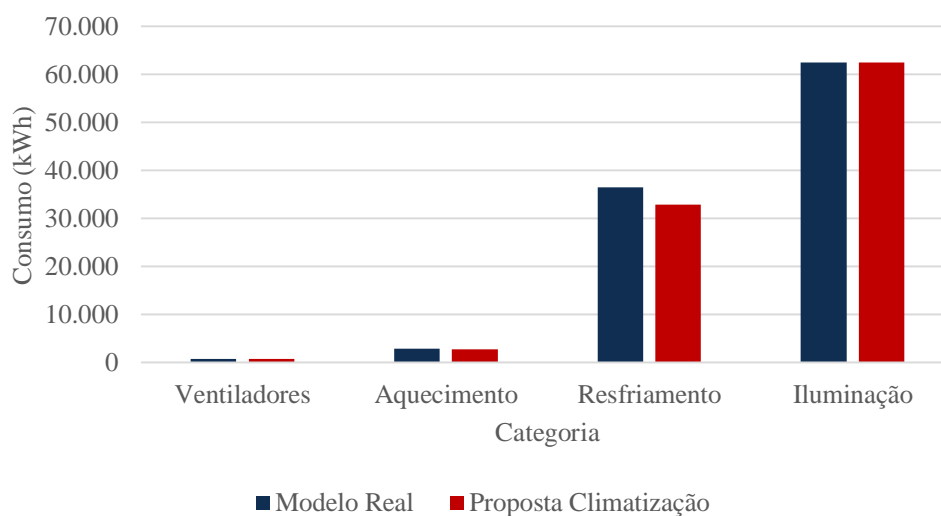


Figura 9 - Consumo de energia por uso final devido ao *retrofit* do condicionamento de ar.

A solução proposta apresentou redução de 9,60% no consumo de energia para resfriamento, 7,29% para aquecimento e 0,12% para os ventiladores, totalizando uma diminuição de 9,25% da energia destinada a climatização. As categorias de equipamentos e iluminação não apresentaram alterações, conforme esperado. Portanto, a proposta de *retrofit* do sistema de condicionamento de ar resultou em um consumo anual de 157.684,97 kWh, redução de 3.716,51 kWh (2,30%), sendo 2,36% do HFP e 1,69% do HP.

3.2.3 Combinação das propostas

A partir da combinação dos *retrofits* dos sistemas de iluminação e de condicionamento de ar obtém-se a maior redução de consumo de energia elétrica para a edificação. A Fig. 10 apresenta a redução de consumo de energia em comparação com o Modelo Real.

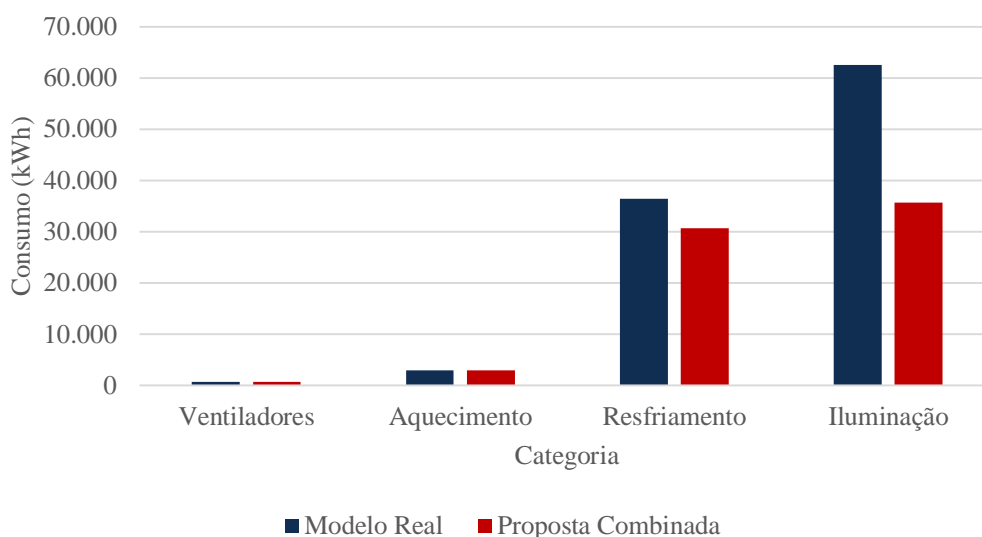


Figura 10 - Consumo de energia por uso final devido aos *retrofits* combinados.

A combinação das propostas apresentou redução de 15,66% no consumo de energia para resfriamento e 5,96% para os ventiladores, no entanto acréscimo de 1,65% para aquecer as zonas térmicas, totalizando uma diminuição de 14,20% de energia destinada a climatização. Logo, a combinação resultou em um consumo total anual de 128.917,80 kWh, redução de 32.483,68 kWh, o que equivale a 20,13% do consumo total da edificação, sendo 19,94% do HFP e 22,05% do HP.

3.3 Análise de viabilidade econômica

A partir das reduções de consumo de energia elétrica encontradas para cada proposta é possível quantificar as economias monetárias que as soluções proporcionam, as quais são apresentadas na Tab. 10. Observa-se, que para a combinação das propostas de *retrofit* são obtidas as maiores economias anuais, R\$ 15.522,29 e R\$ 7.275,41 para o HFP e HP, respectivamente.

Tabela 10 - Economias proporcionadas.

Proposta	Redução Anual HFP	Redução Anual HP	Economia Anual HFP	Economia Anual HP
Iluminação	26.013,99 kWh	2.969,77 kWh	R\$ 13.785,52	R\$ 6.768,27
Climatização	3.472,27 kWh	244,24 kWh	R\$ 1.840,05	R\$ 556,63
Combinada	29.291,38 kWh	3.192,30 kWh	R\$ 15.522,29	R\$ 7.275,41

A Tab. 11 apresenta o PBS de cada proposta, considerando a economia anual proporcionada e o investimento total. O período de retorno sobre o investimento da proposta de iluminação é de aproximadamente 9 meses. Uma vez considerada a vida útil de 50.000 horas para as novas lâmpadas instaladas (equivalente a 14 anos, conforme perfil de utilização do sistema de iluminação), têm-se que, a partir deste período, a PMT passaria a economizar uma quantia significativa de recurso financeiro ao ano. A proposta de climatização apresenta um período de retorno sobre o investimento superior a 31 anos, o que é considerado elevado, visto que a vida útil dos equipamentos instalados é estimada em 10 anos. Assim, a proposta de climatização não se demonstra economicamente viável, apesar de reduzir em torno de 3,72 MWh/ano. O último cenário apresentou um investimento total de R\$ 89.145,36 e PBS menor que 4 anos, de modo que a proposta de *retrofit* do sistema de condicionamento de ar torne-se mais atrativa financeiramente, desde que seja combinada com o *retrofit* do sistema de iluminação.

Tabela 11 – *Payback* simples das propostas.

Proposta	Economia Anual	Investimento Total	<i>Payback</i> simples
Iluminação	R\$ 20.553,79	R\$ 14.116,31	0,7 anos
Climatização	R\$ 2.396,68	R\$ 75.029,05	31,3 anos
Combinada	R\$ 22.797,71	R\$ 89.145,36	3,9 anos

- EPE, 2020. Balanço Energético Nacional (BEN) 2020: Ano base 2019. Disponível em < <https://ben.epe.gov.br> >. Acesso em out/2020.
- Gamarra, M. G. U.; Pereira, L. P., 2017. Simulação Termo-Energética de uma Biblioteca Visando Aumento da Eficiência Energética – Estudo de Caso. Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil.
- Humbert, M. R., 2015. Análise de Práticas de Eficiência Energética no Setor Hoteleiro: Um Estudo de Caso na Pousada Caminho do Rei – Imbituba/SC. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.
- IBGE, 2020. Cidades e Estados. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rs/tramandai.html>>. Acesso em nov/2020.
- INMETRO, 2020. Condicionadores de ar – índices antigos (CEE). Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/condicionadores.asp>>. Acesso em set/2020.
- Machado, D. F. C., 2018. Análise Comparativa entre Estratégias de *Retrofit* e seus Impactos na Eficiência Energética no Edifício Acadêmico 2 – Unifesp, Baixada Santista – SP. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) Engenharia de Petróleo e Recursos Renováveis, Universidade Federal de São Paulo. Santos.
- Neto, A. N. L., 2016. Proposta de *Retrofit* para o Sistema de Iluminação Artificial de uma Escola Pública. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) Engenharia Elétrica, Universidade Estadual de Londrina. Londrina.
- PROCEL, 2006. PROCEL EPP - Eficiência Energética nos Prédios Públicos. Disponível em: < <http://www.procelinfo.com.br/data/Pages/LUMIS623FE2A5ITEMID5C0D828A5E894B4AA0280C96CCED1760PTBRIE.htm> >. Acesso em set/2020.
- PROCEL, 2016. Manual de Aplicação dos Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) 4.1. Versão 2. Disponível em: <<http://www.pbeedifica.com.br>>. Acesso em out/2020.
- PROCEL, 2020. Resultados PROCEL 2020: Ano Base 2019. Disponível em < <http://www.procelinfo.com.br/resultadosprocel2020/> >. Acesso em out/2020.
- Pietzsch, D. A., 2012. Dimensionamento de um Sistema de Ar Condicionado e Análise Energética para um Prédio. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) Engenharia Mecânica., Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.
- Rech, L. D., 2018. Análise do COP Anual de Condicionadores de Ar Tipo Split Fixo e Inverter nas Diferentes Zonas Bioclimáticas Brasileiras. Tese (Mestrado) Engenharia Mecânica, Universidade do Vale do Rio dos Sinos. São Leopoldo.
- Rudnicki, L.; Schmidt, A. O., 2020. Avaliação da melhoria na classificação energética e viabilidade financeira de Retrofit na iluminação de um prédio público. Revista Competitividade e Sustentabilidade, v. 7, n. 1, p. 50-57.
- Taube, G. E., 2017. Análise do desempenho termoenergético do prédio NTIC da Universidade Federal do Pampa Campus Alegrete. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) Engenharia Mecânica., Universidade Federal do Pampa. Alegrete.
- Westphal, F. S.; Ghisi, E.; Lamberts, R., 1998. Simulação energética do edifício sede da FIESC: estudo de retrofit no sistema de iluminação. VII Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído.

ENERGY EFFICIENCY EVALUATION OF TRAMANDAÍ'S CITY HALL

Abstract. Buildings consume a considerable portion of the electricity billed in Brazil. Energy efficiency actions applied to already built buildings show satisfactory results in reducing electricity consumption. The present work aims to evaluate the energy efficiency of the lighting and conditioning systems of Tramandaí's City Hall based on parameters pre-defined by the Technical Quality Requirements for the Energy Efficiency Level of Commercial, Service and Public Buildings (RTQ-C). Subsequently, a computational modeling was performed in the Energyplus program to understand the energy performance of the building in relation to its annual electricity consumption, enabling the proposition of energy efficiency measures from the retrofit of the analyzed systems. The building has 5 floors with a constructed area of 4,388.57 m², 165 thermal zones and electricity consumption of 162.65 MWh/year. As a result, it was determined that the energy efficiency level of the individual systems of the building is B. In contrast the actual consumption of the building and the consumption of the created scenarios, savings in the order of 17.96% with a 9-month investment return were found.

Key words: Energy Efficiency, Energyplus, Retrofit.

Apêndice A

Dados coletados *in loco* referentes as características de cada espaço físico ocupado na edificação em estudo. A Tabela A1 apresenta informações dos ambientes (zonas térmicas) considerados, juntamente com a ocupação, descrição do tipo de luminária e contribuição de luz natural.

Tabela A1 - Descrição da ocupação e do sistema de iluminação de cada zona térmica.

Ambientes	Área (m ²)	Ocupação	Descrição Iluminação	DPI (W/m ²)	DPI Proposto (W/m ²)	Contribuição Luz Natural
01-Acesso	64,87	0	1 Luminária x 1 Lâmpada Fluorescente Compacta 59 W 2 Luminárias x 1 Lâmpada Fluorescente Compacta 45 W	2,30	1,54	Não Aplicável
01-ADM-Saude-1	21,68	2	1 Luminária x 1 Lâmpada LED Bulbo 40 W	1,85	1,85	Não Aplicável
01-ADM-Saude-2	41,09	4	2 Luminárias x 1 Lâmpada LED Bulbo 40 W 1 Luminária x 4 Lâmpadas Fluorescente T10 1,20m 40 W	5,84	3,70	Não
01-Arquivo	32,61	1	2 Luminárias x 2 Lâmpadas LED Bulbo 40 W	4,91	4,91	Não
01-Atendimento-1	21,68	6	1 Luminária x 1 Lâmpada LED Bulbo 40 W	1,85	1,85	Não Aplicável
01-Atendimento-2	21,68	2	2 Luminárias x 1 Lâmpada LED Bulbo 40 W	3,69	3,69	Não Aplicável
01-Banheiro-Contabilidade	1,62	0	2 Luminárias x 1 Lâmpada Fluorescente Compacta 25 W	30,86	14,81	Não Aplicável
01-Banheiro-Feminino	7,66	0	3 Luminárias x 1 Lâmpada Fluorescente Compacta 45 W	17,62	11,75	Não Aplicável
01-Banheiro-ITBI	2,16	0	1 Luminária x 1 Lâmpada Fluorescente Compacta 45 W	20,83	13,89	Não Aplicável
01-Banheiro-Masculino	15,09	0	3 Luminárias x 1 Lâmpada Fluorescente Compacta 45 W	8,95	5,96	Não Aplicável
01-Banheiro-PCD	3,84	0	1 Luminária x 1 Lâmpada Fluorescente Compacta 45 W	11,72	7,81	Não Aplicável
01-Banheiro-Sec-Fazenda	2,16	0	1 Luminária x 1 Lâmpada Fluorescente Compacta 45 W	20,83	13,89	Não Aplicável
01-Banheiro-Sec-Saude	2,16	0	1 Luminária x 1 Lâmpada Fluorescente Compacta 25 W	11,57	5,56	Não Aplicável
01-Cadastro	32,32	5	1 Luminária x 1 Lâmpada LED Bulbo 40 W	1,24	1,24	Não Aplicável
01-Chefe-Gabinete	15,87	2	1 Luminária x 2 Lâmpadas Fluorescente T10 1,20m 40 W	5,04	2,27	Não Aplicável
01-Circulacao-1	39,22	0	2 Luminárias x 4 Lâmpadas Fluorescente T10 1,20m 40 W 1 Luminária x 2 Lâmpadas Fluorescente T10 1,20m 40 W 1 Luminária x 1 Lâmpada Fluorescente Compacta 30 W	10,96	4,95	Não Aplicável
01-Circulacao-2	15,25	0	3 Luminárias x 1 Lâmpada Fluorescente Compacta 25 W	4,92	2,36	Não Aplicável
01-Circulacao-Publica	86,26	0	3 Luminárias x 2 Lâmpadas LED Bulbo 40 W	2,78	2,78	Não Aplicável
01-Contabilidade	59,21	7	2 Luminárias x 2 Lâmpadas LED Bulbo 40 W	2,70	2,70	Não Aplicável
01-Contabilidade-2	21,62	4	1 Luminária x 2 Lâmpadas LED Bulbo 40 W	3,70	3,70	Não Aplicável
01-Contabilidade-Anexo	7,92	1	1 Luminária x 2 Lâmpadas LED Bulbo 40 W	10,10	10,10	Não Aplicável

(Continuação)

01-Copa	13,25	0	1 Luminária x 1 Lâmpada Fluorescente Compacta 45 W	3,40	2,26	Não Aplicável
01-Deposito-1	4,34	0	1 Luminária x 1 Lâmpada Fluorescente Compacta 25 W	5,76	2,76	Não Aplicável
01-Deposito-2	4,37	0	1 Luminária x 1 Lâmpada Fluorescente Compacta 25 W	5,72	2,75	Não Aplicável
01-Deposito-Contabilidade	19,33	0	2 Luminárias x 1 Lâmpada Fluorescente Compacta 45 W	4,66	3,10	Não Aplicável
01-Escadas	15,25	0	1 Luminária x 1 Lâmpada Fluorescente Compacta 45 W	2,95	1,97	Não Aplicável
01-Espera-Atendimento	43,30	2	2 Luminárias x 2 Lâmpadas LED Bulbo 40 W 1 Luminária x 1 Lâmpada LED Bulbo 40 W	4,62	4,62	Não
01-ITBI	19,46	2	1 Luminária x 1 Lâmpada LED Bulbo 40 W	2,06	2,06	Não Aplicável
01-Protocolo	12,22	2	1 Luminária x 4 Lâmpadas Fluorescente T10 1,20m 40 W 1 Luminária x 1 Lâmpada Fluorescente Compacta 45 W	16,78	8,35	Não Aplicável
01-Recepcao-Contabilidade	21,62	2	1 Luminária x 1 Lâmpada LED Bulbo 40 W	1,85	1,85	Não Aplicável
01-Sala-Secretario-Saude	21,62	1	1 Luminária x 4 Lâmpadas Fluorescente T10 1,20m 40 W	7,40	3,33	Não Aplicável
01-Secretaria-Fazenda	43,25	1	2 Luminárias x 2 Lâmpadas LED Bulbo 40 W	3,70	3,70	Não
01-Secretaria-Saude	51,38	4	1 Luminária x 1 Lâmpada Fluorescente Compacta 45 W 1 Luminária x 2 Lâmpadas LED T8 1,20m 18 W 1 Luminária x 4 Lâmpadas Fluorescente T10 1,20m 40 W	4,69	1,99	Não
01-Sercom	54,17	4	5 Luminárias x 4 Lâmpadas Fluorescente T10 1,20m 40 W	14,77	6,65	Não
01-Tesouraria	21,62	3	2 Luminárias x 1 Lâmpada LED Bulbo 40 W	3,70	3,70	Não Aplicável
01-Transporte	21,68	3	2 Luminárias x 1 Lâmpada Fluorescente Compacta 45 W	4,15	2,77	Não Aplicável
01-Vigilancia-Sanitaria	21,62	2	3 Luminárias x 1 Lâmpada Fluorescente Compacta 59 W	8,19	5,55	Não
02-Acesso-2	21,56	0	1 Luminária x 4 Lâmpadas Fluorescente T10 1,20m 40 W	7,42	3,34	Não Aplicável
02-Assessoria-Comunicacao	21,62	1	1 Luminária x 4 Lâmpadas Fluorescente T10 1,20m 40 W	7,40	3,33	Não Aplicável
02-Assessoria-Vice	21,62	2	1 Luminária x 4 Lâmpadas Fluorescente T10 1,20m 40 W	7,40	3,33	Não Aplicável
02-Assistente-Social	8,51	1	1 Luminária x 4 Lâmpadas Fluorescente T10 1,20m 40 W	18,80	8,46	Não Aplicável
02-Banheiro-Feminino-2	11,48	0	3 Luminárias x 1 Lâmpada Fluorescente Compacta 25 W	6,53	3,14	Não Aplicável
02-Banheiro-Juridico	3,86	0	1 Luminária x 1 Lâmpada Fluorescente Compacta 30 W	7,77	3,63	Não Aplicável
02-Banheiro-Masculino-2	15,09	0	1 Luminária x 1 Lâmpada LED Bulbo 9 W	0,60	0,60	Não Aplicável
02-Banheiro-PCD-2	3,84	0	1 Luminária x 1 Lâmpada Fluorescente Compacta 25 W	6,51	3,13	Não Aplicável
02-Banheiro-Prefeito	2,16	0	1 Luminária x 2 Lâmpadas LED Bulbo 9 W	8,33	8,33	Não Aplicável
02-Banheiro-Sec-Adm	2,16	0	1 Luminária x 1 Lâmpada Fluorescente Compacta 25 W	11,57	5,56	Não Aplicável

(Continuação)

02-Banheiro-Sec-Planejamento	2,16	0	1 Luminária x 1 Lâmpada Fluorescente Compacta 25 W	11,57	5,56	Não Aplicável
02-Banheiro-Vice	2,16	0	1 Luminária x 1 Lâmpada LED Bulbo 12 W	5,56	5,56	Não Aplicável
02-Central-Telefonica	13,25	1	1 Luminária x 4 Lâmpadas Fluorescente T10 1,20m 40 W	12,08	5,43	Não Aplicável
02-Circulacao-3	64,69	0	3 Luminárias x 4 Lâmpadas Fluorescente T10 1,20m 40 W	7,42	3,34	Não Aplicável
02-Circulacao-4	15,25	0	3 Luminárias x 1 Lâmpada Fluorescente Compacta 30 W	5,90	2,75	Não Aplicável
02-Circulacao-Publica-2	86,26	0	4 Luminárias x 4 Lâmpadas Fluorescente T10 1,20m 40 W	7,42	3,34	Não Aplicável
02-Controle-Interno	43,30	6	2 Luminárias x 4 Lâmpadas Fluorescente T10 1,20m 40 W	7,39	3,33	Não
02-Copa-2	16,32	0	1 Luminária x 1 Lâmpada Fluorescente Compacta 25 W 2 Luminárias x 1 Lâmpada Fluorescente Compacta 30 W	5,21	2,45	Não Aplicável
02-Copa-Vice	8,63	0	1 Luminária x 1 Lâmpada Fluorescente Compacta 25 W	2,90	1,39	Não Aplicável
02-Deposito-3	4,34	0	1 Luminária x 1 Lâmpada Fluorescente Compacta 25 W	5,76	2,76	Não Aplicável
02-Deposito-4	4,37	0	1 Luminária x 1 Lâmpada Fluorescente Compacta 25 W	5,72	2,75	Não Aplicável
02-Depto-Juridico	43,24	4	2 Luminárias x 4 Lâmpadas Fluorescente T10 1,20m 40 W 1 Luminária x 1 Lâmpada Fluorescente Compacta 30 W	8,09	3,65	Não
02-Depto-Juridico-2	43,25	7	2 Luminárias x 4 Lâmpadas Fluorescente T10 1,20m 40 W 1 Luminária x 1 Lâmpada Fluorescente Compacta 45 W	8,44	4,02	Não
02-Escadas-2	15,25	0	1 Luminária x 1 Lâmpada Fluorescente Compacta 30 W	1,97	0,92	Não Aplicável
02-Escritorio-Seplan	41,09	7	2 Luminárias x 4 Lâmpadas Fluorescente T10 1,20m 40 W	7,79	3,50	Não Aplicável
02-Gabinete-Prefeito	86,61	1	8 Luminárias x 4 Lâmpadas LED Bulbo 9 W	3,33	3,33	Não
02-Gabinete-Vice	21,62	1	1 Luminária x 4 Lâmpadas Fluorescente T10 1,20m 40 W	7,40	3,33	Não Aplicável
02-Imprensa	21,68	4	1 Luminária x 4 Lâmpadas Fluorescente T10 1,20m 40 W	7,38	3,32	Não Aplicável
02-Procon	19,46	2	1 Luminária x 4 Lâmpadas Fluorescente T10 1,20m 40 W	8,22	3,70	Não Aplicável
02-Procurador	10,83	1	1 Luminária x 4 Lâmpadas Fluorescente T10 1,20m 40 W	14,77	6,65	Não Aplicável
02-Recepcao-Gabinete	43,36	2	6 Luminárias x 4 Lâmpadas LED Bulbo 12 W	6,64	6,64	Não Aplicável
02-Recepcao-Sec-Administracao	21,56	4	1 Luminária x 4 Lâmpadas Fluorescente T10 1,20m 40 W	7,42	3,34	Não Aplicável
02-Recepcao-Vice	21,62	2	1 Luminária x 4 Lâmpadas Fluorescente T10 1,20m 40 W	7,40	3,33	Não Aplicável
02-Reuniao-Planejamento	21,68	8	1 Luminária x 4 Lâmpadas Fluorescente T10 1,20m 40 W	7,38	3,32	Não Aplicável
02-Sala-1-Gabinete	21,62	2	1 Luminária x 4 Lâmpadas Fluorescente Compacta 25 W 3 Luminárias x 4 Lâmpadas LED Bulbo 12 W 1 Luminária x 2 Lâmpadas Fluorescente Compacta 25 W	13,60	9,99	Não

(Continuação)

02-Sala-2-Gabinete	19,46	0	2 Luminárias x 4 Lâmpadas LED Bulbo 12 W	4,93	4,93	Não Aplicável
02-Sec-Esp-Governo	8,50	2	1 Luminária x 1 Lâmpada LED Bulbo 40 W	4,71	4,71	Não Aplicável
02-Secretaria-da-Adm	21,62	1	1 Luminária x 4 Lâmpadas Fluorescente T10 1,20m 40 W	7,40	3,33	Não Aplicável
02-Secretario-Planejamento	21,62	1	1 Luminária x 4 Lâmpadas Fluorescente T10 1,20m 40 W	7,40	3,33	Não Aplicável
02-Seplan	26,34	4	2 Luminárias x 1 Lâmpada LED Bulbo 40 W	3,04	3,04	Não Aplicável
03-Acesso-3	21,56	0	1 Luminária x 4 Lâmpadas Fluorescente T10 1,20m 40 W	7,42	3,34	Não Aplicável
03-Adm-Educacao	21,68	4	1 Luminária x 4 Lâmpadas Fluorescente T10 1,20m 40 W	7,38	3,32	Não Aplicável
03-Anexo-Conselhos-Municipais	6,96	1	1 Luminária x 2 Lâmpadas Fluorescente T10 1,20m 40 W	11,49	5,17	Não Aplicável
03-Aposentadorias	21,62	2	1 Luminária x 4 Lâmpadas Fluorescente T10 1,20m 40 W	7,40	3,33	Não Aplicável
03-Aposentadorias-Arquivo	32,71	1	1 Luminária x 4 Lâmpadas Fluorescente T10 1,20m 40 W 1 Luminária x 2 Lâmpadas Fluorescente T10 1,20m 40 W	7,34	3,30	Não Aplicável
03-Arquivo-Engenharia	4,43	0	1 Luminária x 1 Lâmpada Fluorescente Compacta 25 W	5,64	2,71	Não Aplicável
03-Assessoria-Educacao	21,68	2	1 Luminária x 4 Lâmpadas Fluorescente T10 1,20m 40 W	7,38	3,32	Não Aplicável
03-Assessoria-Procuradoria	21,62	4	1 Luminária x 4 Lâmpadas Fluorescente T10 1,20m 40 W 1 Luminária x 2 Lâmpadas Fluorescente T10 1,20m 40 W	11,10	5,00	Não Aplicável
03-Banheiro-Aposentadorias	2,16	0	1 Luminárias x 1 Lâmpadas Fluorescente Compacta 25 W	11,57	5,56	Não Aplicável
03-Banheiro-Engenharia	3,86	0	1 Luminárias x 1 Lâmpadas Fluorescente Compacta 25 W	6,48	3,11	Não Aplicável
03-Banheiro-Feminino-3	11,48	0	3 Luminárias x 1 Lâmpada Fluorescente Compacta 45 W	11,76	7,84	Não Aplicável
03-Banheiro-Licitacoes	2,16	0	1 Luminária x 1 Lâmpada Fluorescente Compacta 25 W	11,57	5,56	Não Aplicável
03-Banheiro-Masculino-3	15,09	0	1 Luminária x 1 Lâmpada Fluorescente Compacta 45 W	2,98	1,99	Não Aplicável
03-Banheiro-PCD-3	3,84	0	1 Luminária x 1 Lâmpada Fluorescente Compacta 25 W	6,51	3,13	Não Aplicável
03-Banheiro-RH-Educacao	2,16	0	1 Luminária x 1 Lâmpada Incandescente Bulbo 40 W	18,52	3,70	Não Aplicável
03-Banheiro-Sec-Obras	2,16	0	1 Luminária x 1 Lâmpada LED Bulbo 9 W	4,17	4,17	Não Aplicável
03-Circulacao-5	40,69	0	2 Luminárias x 4 Lâmpadas Fluorescente T10 1,20m 40 W	7,86	3,54	Não Aplicável
03-Circulacao-6	10,83	0	2 Luminárias x 1 Lâmpada Fluorescente Compacta 25 W	4,62	2,22	Não Aplicável
03-Circulacao-Publica-3	64,69	0	2 Luminárias x 4 Lâmpadas Fluorescente T10 1,20m 40 W	4,95	2,23	Não Aplicável
03-Conselhos-Municipais	36,34	2	2 Luminárias x 4 Lâmpadas Fluorescente T10 1,20m 40 W	8,81	3,96	Não Aplicável
03-Copa-3	16,32	0	1 Luminária x 1 Lâmpada Fluorescente Compacta 25 W 1 Luminária x 1 Lâmpada Incandescente Bulbo 40 W	3,98	1,23	Não Aplicável
03-Copa-Educacao	6,99	0	1 Luminária x 2 Lâmpadas Fluorescente T10 1,20m 40 W	11,44	5,15	Não Aplicável

(Continuação)

03-Deposito-5	4,34	0	1 Luminária x 1 Lâmpada Fluorescente Compacta 25 W	5,76	2,76	Não Aplicável
03-Deposito-6	4,37	0	1 Luminária x 1 Lâmpada Fluorescente Compacta 25 W	5,72	2,75	Não Aplicável
03-Deposito-RH	16,97	0	1 Luminária x 4 Lâmpadas Fluorescente T10 1,20m 40 W	9,43	4,24	Não Aplicável
03-Educacao-Infantil	14,69	2	1 Luminária x 2 Lâmpadas Fluorescente T10 1,20m 40 W	5,45	2,45	Não Aplicável
03-Engenharia	43,25	8	2 Luminárias x 2 Lâmpadas Fluorescente Compacta 59 W	5,46	3,70	Não
03-Escadas-3	15,25	0	1 Luminária x 1 Lâmpada Fluorescente Compacta 45 W	2,95	1,97	Não Aplicável
03-Expediente	15,34	2	1 Luminária x 4 Lâmpadas Fluorescente T10 1,20m 40 W	10,43	4,69	Não Aplicável
03-Fiscalizacao	21,62	4	1 Luminária x 4 Lâmpadas Fluorescente T10 1,20m 40 W	7,40	3,33	Não Aplicável
03-Licitacoes	58,12	9	3 Luminárias x 4 Lâmpadas Fluorescente T10 1,20m 40 W	8,26	3,72	Não
03-Nutricao	21,56	3	1 Luminária x 4 Lâmpadas Fluorescente T10 1,20m 40 W	7,42	3,34	Não Aplicável
03-Obras	21,62	3	1 Luminária x 4 Lâmpadas Fluorescente T10 1,20m 40 W	7,40	3,33	Não Aplicável
03-Pedagogico	43,30	8	2 Luminárias x 1 Lâmpada LED Bulbo 40 W	1,85	1,85	Não
03-Procuradoria-Tributaria	43,30	5	2 Luminárias x 4 Lâmpadas Fluorescente T10 1,20m 40 W	7,39	3,33	Não
03-Projetos-Engenharia	62,71	6	4 Luminárias x 4 Lâmpadas Fluorescente T10 1,20m 40 W	10,21	4,59	Não
03-Recepcao-Educacao	18,74	1	1 Luminária x 4 Lâmpadas Fluorescente T10 1,20m 40 W	8,54	3,84	Não Aplicável
03-Recepcao-Obras	30,73	1	1 Luminária x 4 Lâmpadas Fluorescente T10 1,20m 40 W	5,21	2,34	Não Aplicável
03-Recepcao-RH	11,63	1	1 Luminária x 4 Lâmpadas Fluorescente T10 1,20m 40 W	13,76	6,19	Não Aplicável
03-Reuniao-Licitacoes	43,30	8	2 Luminárias x 4 Lâmpadas Fluorescente T10 1,20m 40 W	7,39	3,33	Não
03-RH	43,30	7	2 Luminárias x 4 Lâmpadas Fluorescente T10 1,20m 40 W	7,39	3,33	Não
03-RH-Educacao	19,46	2	1 Luminária x 1 Lâmpada LED Bulbo 40 W	2,06	2,06	Não Aplicável
03-Sala-Apoio	21,68	1	1 Luminária x 4 Lâmpadas Fluorescente T10 1,20m 40 W	7,38	3,32	Não Aplicável
03-Secretaria-Educacao	43,24	1	2 Luminárias x 4 Lâmpadas Fluorescente T10 1,20m 40 W	7,40	3,33	Não
03-Secretario-Obras	21,62	1	1 Luminária x 4 Lâmpadas Fluorescente T10 1,20m 40 W	7,40	3,33	Não Aplicável
04-Acesso-4	21,56	0	1 Luminária x 4 Lâmpadas Fluorescente T10 1,20m 40 W	7,42	3,34	Não Aplicável
04-Adm-Turismo	52,83	4	1 Luminária x 4 Lâmpadas Fluorescente T10 1,20m 40 W 2 Luminárias x 1 Lâmpada Fluorescente Compacta 30 W	4,16	1,89	Não
04-Atendimento-Turismo	44,04	3	2 Luminárias x 4 Lâmpadas Fluorescente T10 1,20m 40 W 1 Luminária x 1 Lâmpada LED Bulbo 9 W	7,47	3,47	Não
04-Banheiro-Feminino-4	11,48	0	4 Luminárias x 1 Lâmpada Fluorescente Compacta 30 W	10,45	4,88	Não Aplicável
04-Banheiro-Masculino-4	15,09	0	1 Luminária x 1 Lâmpada Fluorescente Compacta 30 W	1,99	0,93	Não Aplicável

(Continuação)

04-Banheiro-PCD-4	3,84	0	1 Luminária x 1 Lâmpada Fluorescente Compacta 25 W	6,51	3,13	Não Aplicável
04-Banheiro-Transporte	2,16	0	1 Luminária x 1 Lâmpada Fluorescente Compacta 25 W	11,57	5,56	Não Aplicável
04-Banheiro-Turismo	2,16	0	1 Luminária x 1 Lâmpada Fluorescente Compacta 25 W	11,57	5,56	Não Aplicável
04-Circulacao-7	75,49	0	1 Luminária x 4 Lâmpadas Fluorescente T10 1,20m 40 W 1 Luminária x 2 Lâmpadas Fluorescente T10 1,20m 40 W	3,18	1,43	Não Aplicável
04-Circulacao-8	15,26	0	2 Luminárias x 1 Lâmpada Fluorescente Compacta 25 W 1 Luminária x 1 Lâmpada Fluorescente Compacta 30 W	5,24	2,49	Não Aplicável
04-Copa-4	20,69	0	2 Luminárias x 1 Lâmpada Fluorescente Compacta 25 W	2,42	1,16	Não Aplicável
04-Deposito-7	4,34	0	1 Luminária x 1 Lâmpada Fluorescente Compacta 25 W	5,76	2,76	Não Aplicável
04-Recepcao-Turismo	30,94	2	1 Luminária x 4 Lâmpadas Fluorescente T10 1,20m 40 W	5,17	2,33	Não Aplicável
04-Sec-Pesca-Agricultura	32,38	4	1 Luminária x 4 Lâmpadas Fluorescente T10 1,20m 40 W 1 Luminária x 1 Lâmpada LED Bulbo 9 W	5,22	2,50	Não
04-Secretaria-Turismo	21,62	1	2 Luminárias x 2 Lâmpadas Fluorescente T10 1,20m 40 W	7,40	3,33	Não
04-Sec-Transporte	32,72	4	2 Luminárias x 1 Lâmpada LED Bulbo 40 W	2,44	2,44	Não Aplicável
04-Sec-Transporte-2	21,62	2	1 Luminária x 1 Lâmpada LED Bulbo 40 W	1,85	1,85	Não Aplicável
04-SMIC	43,30	7	3 Luminárias x 2 Lâmpadas Fluorescente T10 1,20m 40 W	5,54	2,49	Não
Iluminação Externa	-	0	1 Luminária x 2 Lâmpadas Fluorescente T10 1,20m 40 W 2 Luminárias x 1 Lâmpada Fluorescente Compacta 30 W 2 Luminárias x 1 Lâmpada Vapor Metálico Refletor 400 W 3 Luminárias x 1 Lâmpada LED Refletor 150 W 2 Luminárias x 1 Lâmpada Fluorescente Compacta 59 W	-	-	Não Aplicável

Tabela A2 - Descrição do Sistema de Condicionamento de Ar de cada zona térmica.

Ambientes	Quantidade	Marca	Modelo	Capacidade de Refrigeração (W)	COP (W/W)	Selo	Vazão (m³/s)
01-ADM-Saude-1	1	Elgin	HWQI24B2IA	7.029	3,46	A	0,30
01-ADM-Saude-2	1	Elgin	HWQI24B2IA	7.029	3,46	A	0,30
01-ADM-Saude-2	1	Elgin	HWQI24B2IA	7.029	3,46	A	0,30
01-Arquivo	1	Philco	PH12000QFM	3.514	3,24	A	0,15
01-Cadastro	1	Elgin	HWQI24B2IA	7.029	3,46	A	0,30
01-Chefe-Gabinete	1	Admiral	42RYCC12A5	3.514	2,88	C	0,15
01-Contabilidade	1	Komeco	ABS12QC2LX	3.514	2,82	C	0,15
01-Contabilidade-Anexo	1	Philco	PH24000QFM4	7.029	3,23	B	0,30
01-Espera-Atendimento	1	Deolo	DS-18HR	5.272	3,11	B	0,22

(Continuação)

01-Espera-Atendimento	1	Philco	PH24000QFM4	7.029	3,23	B	0,30
01-ITBI	1	Admiral	42RYCC12A5	3.514	2,88	C	0,15
01-Protocolo	1	Philco	PH12000QFM2	3.514	3,26	A	0,15
01-Recepcao-Contabilidade	1	Deolo	DS-18HR	5.272	3,11	B	0,22
01-Sala-Secretario-Saude	1	Midea	42MACA12S5	3.514	3,24	A	0,15
01-Secretaria-Fazenda	1	Philco	PAC30000QFI	8.787	3,24	A	0,35
01-Secretaria-Saude	1	Electrolux	PI24F	7.029	2,81	C	0,30
01-Sercom	1	Electrolux	PI24F	7.029	2,81	C	0,30
01-Tesouraria	1	Komeco	ABS12QC2LX	3.514	2,82	C	0,15
01-Vigilancia-Sanitaria	1	Philco	PH24000QFM4	7.029	3,23	B	0,30
02-Assessoria-Comunicacao	1	Midea	MLQB18M5	5.272	2,95	C	0,22
02-Assessoria-Vice	1	LG	TSNC1825MA2	5.272	3,2	B	0,22
02-Central-Telefonica	1	Electrolux	PI09F	2.636	3,21	A	0,13
02-Controle-Interno	1	York	YKS 24FCA G1	7.029	2,81	C	0,30
02-Depto-Juridico	1	Elgin	SRQI-24000-2	7.029	2,82	C	0,30
02-Depto-Juridico-2	1	Continental	CSWA-24R22A	7.029	2,74	D	0,30
02-Escritorio-Sepplan	1	Electrolux	PI24F	7.029	2,81	C	0,30
02-Gabinete-Prefeito	2	Gree	GSW24-22L	7.029	3,04	B	0,30
02-Gabinete-Vice	1	Komeco	KOS 18QC 3HX	5.272	3,24	A	0,22
02-Procon	1	Komeco	KOS09QC3HX	2.636	3,24	A	0,13
02-Procurador	1	Elgin	SRQI-12000-2	3.514	2,95	C	0,15
02-Recepcao-Gabinete	1	LG	TSNC122YMA1	3.514	3,24	A	0,15
02-Recepcao-Sec-Administracao	1	Komeco	KOS09QC3HX	2.636	3,24	A	0,13
02-Recepcao-Vice	1	Admiral	42RYCC12A5	3.514	2,88	C	0,15
02-Reuniao-Planejamento	1	Admiral	42RYCC12A5	3.514	2,88	C	0,15
02-Sala-1-Gabinete	1	Midea	42MFQA18M5	5.272	3,24	A	0,22
02-Sala-1-Gabinete	1	Carrier	42LUQC12C5	3.514	3,03	B	0,15
02-Secretario-Planejamento	1	Admiral	42RYCC12A5	3.514	2,88	C	0,15
03-Adm-Educacao	1	York	YJKA12FS-ADK	3.514	2,96	C	0,15
03-Aposentadorias	1	Continental	CSWA-24R22A	7.029	2,74	D	0,30
03-Assessoria-Educacao	1	York	YJKA12FS-ADK	3.514	2,96	C	0,15
03-Assessoria-Procuradoria	1	Deolo	DS-18HR	5.272	3,11	B	0,22
03-Conselhos-Municipais	1	Elgin	SRQI-30000-2	8.787	2,93	C	0,35
03-Engenharia	1	Admiral	42RYCC12A5	3.514	2,88	C	0,15
03-Expediente	1	Midea	42MLQC12M5	3.514	3,3	A	0,15
03-Licitacoes	2	Philco	PH24000QFM	7.029	3,19	B	0,30
03-Nutricao	1	York	YJKA12FS-ADK	3.514	2,96	C	0,15
03-Obras	1	York	YKS 18QCAG1	5.272	2,81	C	0,22
03-Pedagogico	1	Midea	42MTQB22M5	6.443	2,65	D	0,29
03-Procuradoria-Tributaria	1	Deolo	DS-18HR	5.272	3,11	B	0,22

(Continuação)

03-Projetos-Engenharia	1	Midea	42MLCD30M5	8.787	3,05	B	0,35
03-Recepcao-Educacao	1	Midea	42MTQB12M5	3.514	2,89	C	0,15
03-Recepcao-Obras	1	Midea	42MDCA09M5	2.636	3,03	B	0,13
03-Reuniao-Licitacoes	1	Elgin	HEQI12B2IA	3.514	3,24	A	0,15
03-Reuniao-Licitacoes	1	Continental	CSWA-24R22A	7.029	2,65	D	0,30
03-RH	1	Midea	42MLQC30M5	8.787	2,82	C	0,35
03-RH-Educacao	1	Midea	42MTQB12M5	3.514	2,89	C	0,15
03-Sala-Apoio	1	Komeco	KOS12QC3HX	3.514	3,24	A	0,15
03-Secretaria-Educacao	1	LG	TSNH2425NW1	7.029	2,99	C	0,30
03-Secretario-Obras	1	Consul	CBU18CBBNA	5.272	3,21	A	0,22
04-Sec-Pesca-Agricultura	1	Philco	PH12000QFM2	3.514	3,26	A	0,15
04-Secretaria-Turismo	1	Philco	PH12000QFM	3.514	3,29	A	0,15
04-Sec-Transporte	1	LG	TSNH2425MA1	7.029	3,00	C	0,30
04-Sec-Transporte-2	1	LG	TSNH2425MA1	7.029	3,00	C	0,30
04-SMIC	1	York	TLKA24FS-ADK	7.029	2,85	C	0,30

Tabela A3 - Descrição das lâmpadas instaladas na edificação.

Configuração	Quantidade	Descrição	Potência (W)	Marca	Modelo	Fluxo Luminoso (lm)
1	42	Fluorescente Compacta	25	Taschibra	TKT25	1.475
2	19	Fluorescente Compacta	30	Alumbra	5754	1.800
3	25	Fluorescente Compacta	45	G-Light	PREMIUM-ESP-T4-45-64-AFP-1 C	2.703
4	10	Fluorescente Compacta	59	Taschibra	TKQ59	3.540
5	364	Fluorescente T10 1,20m	40	Osram	L40 W LDE	2.700
6	2	Incandescente Bulbo	40	Osram	CLAS A CL	516
7	2	Vapor Metálico Refletor	400	Empalux	MT34015	31.000

Apêndice B

Nesta seção são apresentadas as descrições das lâmpadas e dos equipamentos que compõem os novos cenários para avaliação da eficiência energética.

Tabela B1 - Descrição das novas lâmpadas

Configuração	Descrição	Potência (W)	Marca	Modelo	Fluxo Luminoso (lm)	Quantidade	Custo Unitário (R\$)	Custo Total (R\$)
1	LED Bulbo	12	Alper	ALP-LB-12W-B-150-014LM-840	1.440	42	16,01	672,42
2	LED Bulbo	14	Golden	ULTRA LED A60 PRO 14W 100-240V 3000K	1.507	19	17,78	337,82
3	LED Bulbo	30	Empalux	AL30362	2.820	25	34,09	852,25
4	LED Bulbo	40	Alper	ALP-LB-40W-B-150-046LM-840	4.600	10	69,65	696,50
5	LED T8 1,20m	18	Alper	ALP-LT8-18W-V-145-023LM-840	2.300	364	25,49	9.278,36
6	LED Bulbo	8	Alper	ALP-LB-08W-B-150-009LM-840	940	2	9,48	18,96
7	LED Projetor	200	Phillips	BVP091 LED200/CW 120-277V 200W WB	20.000	2	1.130,00	2.260,00

Tabela B2 - Condicionadores de ar propostos.

Quantidade	Marca	Modelo	Capacidade de Refrigeração (W)	COP (W/W)	Selo EE	Vazão (m³/s)	Custo Unitário (R\$)	Custo Total (R\$)
14	Elgin	HWQI12B2IA	3.519,06	3,32	A	0,15	1.831,71	25.643,94
2	Elgin	HWQI18B2IA	5.278,59	3,24	A	0,22	2.468,29	4.936,58
13	Elgin	HWQI24B2IA	7.038,12	3,46	A	0,30	2.805,35	36.469,55
2	Elgin	HWQI30B2IA	8.797,65	3,37	A	0,35	3.989,49	7.978,98