

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

PEDRO CZAMANSKI SCHWALM

**AÇÕES DE USO EFICIENTE E RACIONAL DE ENERGIA
ELÉTRICA BASEADAS NO PEE DA ANEEL ATRAVÉS DE
MODELAGEM ENERGÉTICA – UM ESTUDO DE CASO**

Tramandaí

2021

PEDRO CZAMANSKI SCHWALM

AÇÕES DE USO EFICIENTE E RACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA BASEADAS NO PEE DA ANEEL ATRAVÉS DE MODELAGEM ENERGÉTICA – UM ESTUDO DE CASO

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 pela Orientadora e pela Banca Examinadora.

Orientadora: Profa. Dra. Juliana Klas, UFRGS.

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

Co-Orientador: Prof. Dr. Flavio Vanderlei Zancanaro Júnior, UFRGS.

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

Banca Examinadora:

Profa. Dra. Aline Cristiano Pan, UFRGS.

Doutora pela Universidade Politécnica de Madrid – Madrid, Espanha.

Prof. Dr. Maurício Carvalho Ayres Torres, UFRGS.

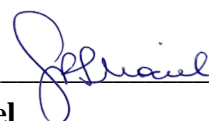
Doutor pela Universidade Politécnica da Catalunha – Barcelona, Espanha.

Eng. Solis Leiria Rocha, Prefeitura Municipal de Osório.

Graduado pela Pontifícia Universidade Católica – Porto Alegre, Brasil.

Coordenador COMGRAD-EGE: _____

Profa. Dra. Gabriela Pereira da Silva Maciel



Tramandaí-RS, 28 de maio de 2021.

ACÇÕES DE USO EFICIENTE E RACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA BASEADAS NO PEE DA ANEEL ATRAVÉS DE MODELAGEM ENERGÉTICA – UM ESTUDO DE CASO

Pedro Czamanski Schwalm¹ – pedroschwalm@hotmail.com
Flavio Vanderlei Zancanaro Júnior¹ – flavio.zancanaro@ufrgs.br
Juliana Klas¹ – juliana.klas@ufrgs.br

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento Interdisciplinar – Engenharia de Gestão de Energia.

Resumo. O crescimento da demanda por eletricidade irá exceder os níveis pré-crise da Covid-19 ainda em 2021. Decorrente desse cenário, eficiência energética está cada vez mais em destaque, pois esse é o único recurso energético que todos os países possuem em abundância. O Programa de Eficiência Energética (PEE) da ANEEL tem como objetivo promover o uso eficiente da energia elétrica por meio de projetos que demonstrem a importância e a viabilidade econômica de melhoria da eficiência energética de equipamentos, processos e usos finais de energia. Esse programa conta com editais para distribuição de recursos a serem destinados a ações de eficiência energética em instalações de consumidores. Porém os parâmetros do PEE limitam intervenções na envoltória da edificação que, indiretamente, possibilitariam aumento da eficiência dos sistemas, sem que seja necessária a substituição ou modernização dos equipamentos utilizados. O objetivo deste trabalho é analisar ações de uso eficiente e racional de energia elétrica baseadas nos parâmetros do PEE no prédio da Escola Municipal de Ensino Fundamental Ângelo Gabriel Boff Guasselli, porém com uma análise não somente voltada aos equipamentos de uso final de energia elétrica, mas também baseadas em simulação energética, para uma análise voltada à envoltória. Inicialmente, realizou-se um diagnóstico energético e a proposição de ações para a eficiência energética do sistema de iluminação. Posteriormente, implementou-se a simulação energética da edificação e analisou-se como envoltória poderia ser eficientizada. Com base nisso, foram propostas ações relacionadas à cobertura da edificação com o objetivo de reduzir o consumo de energia elétrica do sistema de condicionamento ambiental. Como resultados, obteve-se a Relação Custo-Benefício (RCB) das propostas sugeridas. A proposta inicial para o sistema de iluminação apresentou RCB atrativo. Entretanto, as RCB relacionadas a envoltória não apresentaram resultados adequados para o PEE. Ainda assim, o uso da modelagem energética e posterior melhoria na envoltória pode ser importante para uma avaliação mais aprofundada sobre o tema.

Palavras-chave: Política pública, simulação energética, eficiência energética.

Abstract. Electricity demand growth will exceed Covid-19 pre-crisis levels as early as 2021. Given this scenario, energy efficiency is increasingly in focus, since this is the only energy resource that all countries have in abundance. ANEEL's Energy Efficiency Program (PEE) aims to promote the efficient use of electricity through projects that demonstrate the importance and economic viability of improving the energy efficiency of equipment, processes and end uses of energy. This program has calls for tender for the distribution of resources to be allocated to energy efficiency actions at consumer installations. However, the PEE parameters limit interventions in the building envelope that would indirectly increase the efficiency of the systems, without requiring the replacement or modernization of the equipment used. The objective of this work is to analyze actions for the efficient and rational use of electricity based on the PEE parameters of the Angelo Gabriel Boff Guasselli Municipal Elementary School building, but with an analysis not only focused on the equipment for the final use of electricity, but also based on energy simulation for an analysis of the building envelope. Initially, an energy diagnosis was made and actions were proposed for the energy efficiency of the lighting system. Subsequently, the energy simulation of the building was implemented and an analysis of how the envelope could be made more efficient was performed. Based on this, actions related to the building's envelope were proposed with the objective of reducing the energy consumption of the environmental conditioning system. As a result, the Cost-Benefit Ratio (CBR) of the suggested proposals was obtained. The initial proposal for the lighting system presented an attractive CBR. However, the CBR related to the envelope did not present satisfactory results for the PEE. Even so, energy modeling and post building envelope improve can be important for a more in-depth analysis of the theme.

Keywords: public politics, energetic simulation, energy efficiency.

1. INTRODUÇÃO

Segundo a International Energy Agency (IEA) (2019), no cenário pré-pandemia a previsão de aumento da demanda de energia mundial foi de 1,3% a cada ano até 2040, abaixo do aumento observado em 2018, que foi de 2,3%. A pandemia de Covid-19 acabou diminuindo essa projeção de alta de demanda por eletricidade, contudo, em países em desenvolvimento, como é o caso do Brasil, o crescimento da demanda por eletricidade irá exceder os níveis pré-crise ainda em 2021 (IEA, 2020).

Historicamente, a curva de consumo de energia de um país está relacionada com a sua curva de atividade econômica (MME/EPE, 2019). Em 2020, a pandemia acabou afetando fortemente a economia no mundo, com o PIB mundial tendo uma queda de mais de 3%. A projeção para 2021 é de que o PIB mundial cresça em 6%, apresentando boa recuperação. No Brasil é esperado um aumento de 3,7% do PIB para 2021 (FMI, 2020). Refletindo esse cenário econômico, a demanda por energia no Brasil irá crescer nos próximos anos até 2025, estima-se 1,8% ao ano, acelerando no segundo quinquênio da década para 2,6% ao ano até 2030 (MME/EPE, 2021).

Decorrente desse cenário, além do aumento na geração de energia, a utilização racional desta energia nos processos e atividades é foco de importantes estudos atualmente. Uma forma de buscar o uso responsável da energia é a aplicação de eficiência energética (EE) que, por definição, refere-se a diversas ações que tem como objetivo a redução da energia necessária para atender as demandas da sociedade por serviços de energia sob a forma de luz, calor/frio, transportes, entre outras. Portanto, são ações que pretendem atender as necessidades econômicas com o menor uso de energia primária possível, assim, com menor impacto na natureza (MME, 2019). Segundo a IEA (2020), a EE está cada vez mais em destaque, pois esse é o único recurso energético que todos os países possuem em abundância. A EE também é considerada por alguns especialistas a fonte de energia mais limpa que existe, uma vez que o recurso energético não consumido evita o aumento da geração e, conseqüentemente, os impactos ambientais que ela acarreta (PROCEL, 2021).

Existem duas formas de classificar os ganhos relacionados a EE: uma que se denomina “progresso autônomo” e outra chamada de “progresso induzido”. Como progresso autônomo, entende-se aqueles ganhos relacionados a melhorias naturais das tecnologias ligadas ao uso da energia, incentivadas pelo mercado e sem o auxílio de políticas públicas, ou seja, dá-se pela troca de tecnologia dos equipamentos que ocorre espontaneamente na indústria e nas residências. O progresso induzido é aquele que se desenvolve a partir de políticas públicas que impulsionam o processo de troca da tecnologia utilizada. Neste segundo cenário, o Brasil apresenta um conjunto de oportunidades através do Programa de Eficiência Energética (PEE) (MME, 2019).

Tendo como objetivo promover a eficiência energética nos prédios públicos federais, estaduais e municipais, o Programa de Eficiência Energética em Prédios Públicos foi instituído pela Eletrobras e o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) em 1997. O programa visa a implementação de medidas de eficiência energética e a difusão da informação junto aos agentes envolvidos com a administração pública (PROCEL, 2006).

Apesar da criação desse programa, o investimento em ações de eficiência energética não foi obrigatório no Brasil até o ano de 2000, quando o Programa de Eficiência Energética foi criado pela ANEEL em consonância com a lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000, que torna obrigatório o investimento de, no mínimo, 0,5% da receita operacional líquida (ROL) das distribuidoras de energia elétrica em programas de eficiência energética no uso final (BRASIL, 2000).

Em 2003, outro programa para incentivar o uso racional da energia foi lançado, porém voltado às edificações, o Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações – PROCEL EDIFICA, também da Eletrobras e do PROCEL. Diante disso, 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) e o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) e seus documentos complementares, como os Requisitos de Avaliação da Conformidade para Eficiência Energética de Edificações (RAC) e os Manuais para aplicação do RTQ-C e do RTQ-R. A partir da criação destes documentos que estabelecem os requisitos necessários para a classificação dos níveis de eficiência energética das edificações, deu-se origem ao Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações – PBE EDIFICA (PROCEL, 2020)

A etiquetagem atribuída pelo PBE EDIFICA avalia a eficiência energética a partir de três sistemas: iluminação, ar condicionado e envoltória que, de acordo com o documento RTQ-C (2010): a envoltória de uma edificação pode ser definida como planos que separam o ambiente interno do ambiente externo. Isto é, as paredes, a cobertura, as aberturas e o piso compõem a envoltória de uma edificação.

Apesar de trazer benefícios como diminuição dos gastos com energia e aprimoramento do conforto térmico, a obtenção da etiqueta de eficiência energética não é compulsória, com exceção dos prédios públicos federais, e não existem recursos públicos para que os projetos sejam custeados.

Os projetos relacionados ao PEE da ANEEL contam com editais para distribuição de recursos a serem destinados a ações de eficiência energética em instalações de diversas classes de consumidores. Porém, diferentemente da análise realizada pelo PROCEL EDIFICA, que avalia a edificação como um todo, a partir de três sistemas diferentes (envoltória, iluminação e ar condicionado), nos projetos propostos aos editais do PEE da ANEEL, apenas podem ser apresentadas práticas que façam a eficiência energética nos usos finais de energia elétrica.

A partir do PEE, pode-se propor ações de eficiência energética envolvendo a troca ou melhoramento do desempenho energético de equipamentos e sistemas de uso da energia e do uso de fontes incentivadas (ANEEL, 2020). Logo, ações que poderiam ser realizadas na envoltória e que, indiretamente, poderiam aumentar a eficiência dos sistemas (de iluminação, condicionamento ambiental, etc.), sem que seja necessária a troca ou melhoramento dos equipamentos utilizados, são limitadas em projetos do PEE.

O PEE foi criado pela ANEEL em consonância com a lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000, que torna obrigatório o investimento de, no mínimo, 0,5% da receita operacional líquida (ROL) das distribuidoras de energia elétrica em programas de eficiência energética no uso final.

O objetivo do PEE é promover o uso eficiente e racional de energia elétrica em todos os setores da economia, a partir de projetos que evidenciem a importância e a viabilidade econômica de ações que visem a eficiência energética e o combate ao desperdício. Busca-se a transformação do mercado de energia elétrica, incentivando novas tecnologias e mudanças de hábitos no uso da energia (MME/ANEEL, 2021).

A forma de apresentação do projeto ao PEE é a partir de um relatório resultante de um processo de diagnóstico energético que deve ser feito na instalação do consumidor de energia. Um diagnóstico energético é uma avaliação detalhada das oportunidades de EE que são encontradas. Nele deve estar discriminada cada ação de EE, forma de implantação, valor do investimento, economia de energia, análise de viabilidade e estratégia de medição e verificação a ser adotada (MME/ANEEL, 2021).

Conforme o documento Procedimentos do Programa de Eficiência Energética (PROPEE), os projetos de melhoria de instalação são ações de eficiência energética realizadas em instalação de uso final de energia elétrica, envolvendo a troca ou melhoramento do desempenho energético de equipamentos e sistema de uso de energia. Os projetos propostos ao PEE podem ser classificados entre 10 tipologias diferentes, sendo elas: industrial, comércio e serviços, poder público, serviços públicos, rural, residencial, gestão energética municipal, educacional e iluminação pública (MME/ANEEL, 2021). O projeto proposto por esse trabalho enquadra-se na tipologia poder público, pois considera-se a PMO como proponente.

O PROPEE apresenta algumas ações de melhoria das edificações para alguns usos finais. No uso final de iluminação, apresenta-se a possibilidade de ações relacionadas a envoltória, relacionadas ao maior aproveitamento da iluminação natural com a redução da carga da iluminação artificial, portanto, ações relacionadas as aberturas (janelas ou portas) ou mesmo as coberturas da edificação. Além dessas ações apresentadas, não existe nenhuma outra relacionadas a envoltória.

A avaliação e classificação dos projetos é realizada a partir de diversos critérios. A relação custo benefício (RCB) das ações projetadas é o critério utilizado para a avaliação da viabilidade econômica da proposta. O benefício considerado para o cálculo da RCB é a valorização da energia economizada e da redução da demanda na ponta durante a vida útil do projeto. Os custos são os aportes feitos para a realização do projeto, por parte do PEE, do consumidor ou de terceiros. (MME/ANEEL, 2021)

Durante a realização de um projeto devem ser feitas duas avaliações diferentes: *ex ante*, que é feita na fase de definição do projeto, estimativa de custos e benefícios, a partir de análises de campo, cálculos e avaliações do mercado; e, *ex post*, que deve ser feita após a implementação das alterações projetadas, a partir de dados obtidos através das ações de medição e verificação e dos custos reais do projeto (MME/ANEEL, 2021).

O critério chave para a avaliação de um projeto de eficiência energética feito com recursos advindos dos consumidores de energia elétrica baseia-se em saber se o benefício alcançado é maior que aquele que haveria se o recurso tivesse sido investido na expansão do sistema elétrico. Assim, a relação entre o benefício calculado deve ser no mínimo 25% maior que os custos do projeto, ou seja, a RCB do projeto deve ser igual ou menor que 0,8. (MME/ANEEL, 2021)

As expressões utilizadas para o cálculo da viabilidade econômica da proposta, estão apresentadas no PROPEE. A Eq. (1) apresenta o cálculo da RCB, que é feito a partir da relação entre o custo anualizado total (CA_T) (R\$/ano) e o benefício anualizado total (BA_T) (R\$/ano).

$$RCB = \frac{CA_T}{BA_T} \quad (1)$$

Os CA_T são calculados a partir do somatório dos custos anualizados dos equipamentos (CA_n) (R\$) incluindo os custos relacionados (mão de obra, etc.). A Eq. (2) apresenta de forma geral como são calculados os CA_T .

$$CA_T = \sum_n CA_n = \sum_n CE_n \times \frac{CT}{CE_T} \times FRC_u \quad (2)$$

Sendo: CE_n – Custo de cada equipamento (R\$); CT – Custo total do projeto (R\$), CE_T – Custo total em equipamentos (R\$); FRC_u – Fator de recuperação de capital para u anos (1/ano); e u – vida útil dos equipamentos (ano).

O fator de recuperação de capital é calculado a partir da Eq. (3). Os BA_T são calculados a partir da Eq. (4). O CED é calculado de acordo com a Eq. (5). O CEE é calculado pela Eq. (6). As Eq. (7), (8), (9) e (10) apresentam como são calculadas as variáveis da Eq. (6).

$$FRC_u = \frac{i(1+i)^u}{(1+i)^u - 1} \quad (3)$$

Considerando: i – taxa de desconto considerada. O valor de i está especificado no Plano Nacional de Energia e possui o valor de 8% a.a. (MME, 2018).

$$BA_T = (E_{ECON} \times CEE) + (RDP \times CED) \quad (4)$$

Considerando: E_{ECON} – Energia anual economizada (MWh/ano); CEE – Custo unitário de energia (R\$/MWh); RDP – Redução da demanda na ponta (kW ano); CED – Custo unitário evitado de demanda (R\$/kW ano).

$$CED = (12 \times C_1 \times h_p \times 10^{-3}) + (12 \times C_2 \times h_{fp} \times F_c \times 10^{-3} \times LP) \quad (5)$$

Sendo: C_1 – Custo unitário do uso do sistema de distribuição no horário de ponta (R\$/kW.mês); C_2 - Custo unitário do uso do sistema de distribuição no horário fora de ponta (R\$/kW.mês); LP – Constante de perda de demanda no posto fora ponta, considerando 1kW de perda de demanda no horário de ponta; h_p – Número de horas da ponta em um mês,

considerando somente os dias úteis (horas); h_{fp} – Número de horas fora da ponta em um mês (horas); F_c - Fator de carga do segmento elétrico imediatamente a montante daquele considerado ou que sofreu a intervenção, ou ainda, na falta deste, admitir-se-á o médio da distribuidora dos últimos 12 meses.

$$CEE = \frac{(C_p \times LE_p) + (C_{fp} \times LE_{fp})}{LE_p + LE_{fp}} \quad (6)$$

Sendo: C_p – Custo unitário da energia no horário de ponta na bandeira ver (R\$/MWh); C_{fp} – Custo unitário da energia no horário fora de ponta na bandeira verde (R\$/MWh); LE_p - Constante de perda de energia no posto de ponta considerando 1 kW de perda de demanda no horário de ponta; LE_{fp} - Constante de perda de energia no posto de ponta considerando 1 kW de perda de demanda no horário fora de ponta.

$$C_p = TE_{p(BDV)} + TUSD \quad (7)$$

$$C_{fp} = TE_{fp(BDV)} + TUSD \quad (8)$$

$$LE_p = \frac{(7 \times LE_1) + (5 \times LE_4)}{12} \quad (9)$$

$$LE_{fp} = \frac{(7 \times LE_3) + (5 \times LE_4)}{12} \quad (10)$$

Considerando: LE_1 – Constante de perda de energia no posto de ponta de períodos secos, considerando 1 kW de perda de demanda no horário de ponta; LE_2 – Constante de perda de energia no posto de ponta de períodos úmidos, considerando 1 kW de perda de demanda no horário de ponta; LE_3 – Constante de perda de energia no posto fora de ponta de períodos secos, considerando 1 kW de perda de demanda no horário fora de ponta; LE_4 - Constante de perda de energia no posto fora de ponta de períodos úmidos, considerando 1 kW de perda de demanda no horário fora de ponta; $TE_{p(BDV)}$ – Tarifa de Energia (TE) na ponta, bandeira verde (R\$/MWh); $TE_{fp(BDV)}$ – Tarifa de Energia (TE) fora da ponta, bandeira verde; TUSD – Parcela da TUSD (R\$/MWh).

O método de cálculo apresentado se baseia no cálculo do custo unitário de perdas técnicas no sistema elétrico, a energia e demanda evitadas correspondem a uma redução de perdas no sistema e o benefício de evitar uma unidade de perdas é numericamente igual ao custo de fornecer uma unidade adicional de carga.

O cálculo se baseia no impacto para o sistema da carga evitada, supondo-se um perfil de carga típico e caracterizado pelo fator de carga (F_c). As perdas evitadas no sistema são calculadas a partir da redução de 1 kW na ponta, seu reflexo na demanda fora de ponta (LP) através do fator de carga, e pelos fatores de perda (LE_1 , LE_2 , LE_3 e LE_4 , juntamente com a permanência de cada posto horário no ano - 450, 315, 4.686 e 3.309 h/ano respectivamente), que medem o reflexo desta redução no horário fora de ponta e na energia consumida nos diferentes postos tarifários. A Tab. 1 apresenta os coeficientes das Eq. (5), (9) e (10).

Tabela 1 - Coeficiente das equações ($k = 0,15$) (ANEEL, 2021).

Fator de carga	LP	LE_1	LE_2	LE_3	LE_4
0,30	0,25	0,27315	0,19121	0,35166	0,24832
0,35	0,2809	0,28494	0,19946	0,52026	0,36738
0,40	0,3136	0,29727	0,20809	0,71014	0,50146
0,45	0,3481	0,31014	0,2171	0,9213	0,65057
0,50	0,3844	0,32355	0,22649	1,15375	0,81472
0,55	0,4225	0,3375	0,23625	1,40748	0,99389
0,60	0,4624	0,35199	0,24639	1,68249	1,18808
0,65	0,5041	0,3695	0,25865	1,97632	1,39557
0,70	0,5476	0,38516	0,26961	2,29381	1,61977

A envoltória de uma edificação pode ser explorada de diversas formas visando atingir os melhores níveis de EE. A partir de revisão na literatura, destaca-se as características termofísicas da cobertura, com influência significativa no desempenho energético das edificações, principalmente em edificações de apenas um pavimento, pois todos os ambientes estarão em contato com a cobertura externa. Capacidade térmica, absorvância solar, atraso térmico, transmitância térmica e emissividade são fatores significativos e inerentes aos materiais que são utilizados, por isso, a escolha dos materiais é importante.

Como os parâmetros que mais influenciam no consumo relativo ao aquecimento e ao resfriamento dos ambientes, destacam-se a absorvância solar e a emissividade da cobertura (SILVA e GHISI, 2013). Portanto, buscar estratégias que

alterem essas propriedades da cobertura de acordo com os objetivos esperados é indispensável. Uma forma de alterar as propriedades gerais da cobertura de uma edificação é adicionando camadas de material isolantes na composição da cobertura. TRIANA e LAMBERTS (2013) concluíram que o uso da cobertura com isolamento e baixa absorvância apresenta resultados mais expressivos em relação ao aumento dos níveis de ventilação natural em uma edificação localizada na Zona Bioclimática 3. Outra alternativa que é viável e apresentou resultados positivos, segundo MORENO, MORAIS e SOUZA (2017), é a utilização de mantas térmicas de alumínio com o intuito de reduzir a emissividade térmica da cobertura.

As propriedades termofísicas das paredes também são impactantes no desempenho energético de uma edificação, assim como as coberturas. Os materiais que compõem as paredes devem ser analisados, para que suas propriedades sejam adequadas ao local onde a edificação está inserida. FERREIRA e PEREIRA (2012) concluíram que sistemas construtivos em concreto se limitam às Zonas Bioclimáticas que possuem climas amenos a quentes. Em zonas com climas quentes extremos, recomenda-se o uso de alvenaria. Analisando o desempenho de outros materiais na composição das paredes, VALDENEBRO, DIETRICH e INO. (2019) concluíram que o uso de madeira se mostrou mais vantajoso em relação ao desempenho da envoltória em comparação a paredes com blocos de concreto. Além disso, os autores também concluíram que a utilização de isolamentos a base de madeira teve melhor desempenho do que a utilização de EPS (poliestireno expandido).

Um dos programas mais utilizado no mundo para análise do desempenho energético da envoltória de uma edificação é o *EnergyPlus*, que é um programa de simulação de carga térmica e análise de energia. Com base na descrição de uma edificação da perspectiva da composição física das estruturas, sistemas mecânicos associados, etc., o *EnergyPlus* calculará as cargas de aquecimento e resfriamento na edificação, condições em todo um sistema de condicionamento ambiental e o consumo de energia dos equipamentos, bem como muitos outros detalhes da simulação que são necessários para verificar se a simulação está funcionando como a construção real (DOE, 2016).

O objetivo deste trabalho é analisar ações de uso eficiente e racional de energia elétrica baseadas nos parâmetros do PEE, porém com uma análise não somente voltada aos equipamentos de uso final de energia elétrica, mas também baseadas em simulação energética da edificação, para uma análise voltada à envoltória. Foram debatidos os impactos nos resultados voltados aos equipamentos de uso final de energia elétrica e, também, os resultados utilizando a simulação e como ela pode ser inserida nos projetos do PEE. O local do estudo de caso será o prédio da Escola Municipal de Ensino Fundamental Ângelo Gabriel Boff Guasselli, por isso, como proponente do projeto será considerada a Prefeitura Municipal de Osório (PMO).

2. METODOLOGIA

O trabalho foi dividido em quatro etapas. A Fig. 1 apresenta o fluxo das atividades que serão realizadas durante o trabalho.

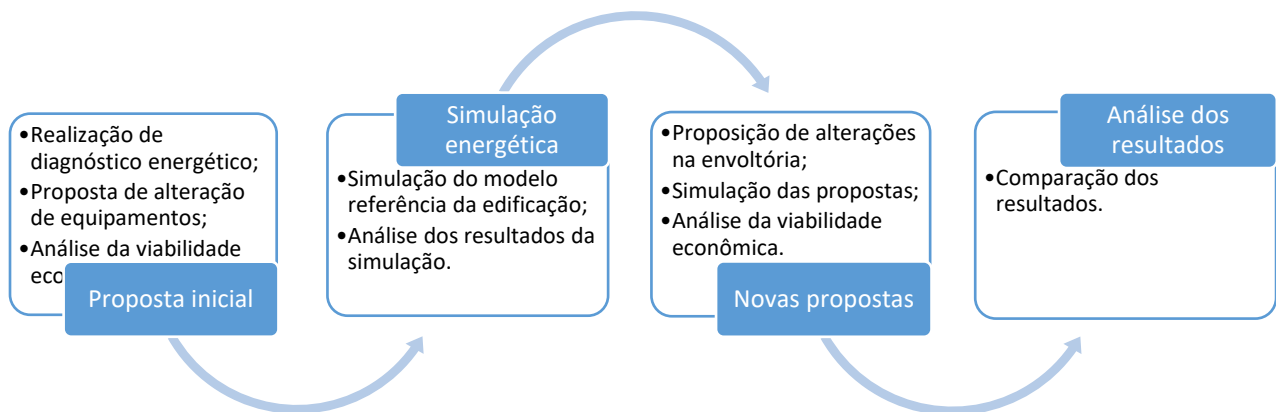


Figura 1 - Fluxo de atividades.

Primeiramente, realizou-se o diagnóstico energético na edificação da EMEF Ângelo Guasselli, objetivando a análise dos sistemas e equipamentos de uso final de energia elétrica que poderiam sofrer ações de eficiência energética. A partir do diagnóstico, foram propostas ações de melhoria de desempenho energético para os sistemas, baseando-se nos parâmetros do PEE. Para o cálculo da viabilidade econômica das ações propostas foram utilizadas planilhas disponibilizadas pela concessionária de distribuição de energia elétrica. As planilhas de cálculos utilizadas podem ser observadas nos anexos.

Posteriormente, executou-se a simulação energética da edificação. Em seguida, os dados de fluxo de calor dos ambientes foram analisados, com o objetivo de propor ações de eficiência energética a serem aplicadas na envoltória para diminuição do consumo de energia elétrica proveniente da utilização de equipamentos de condicionamento ambiental. A partir da análise dos resultados da simulação, foram propostas alterações na envoltória e novas análises do consumo de

energia elétrica foram realizadas. Neste trabalho, apenas será feita uma análise *ex ante*, pois trata-se de um estudo apenas para analisar de forma teórica quais melhorias do desempenho energético poderiam ser realizadas na EMEF Ângelo Guasselli, a partir dos recursos do PEE.

Após a obtenção dos dados das simulações da edificação original e das alterações propostas, realizou-se a mesma análise da viabilidade econômica feita na primeira parte do trabalho, utilizando as planilhas disponibilizadas pela concessionária. Subsequentemente a conclusão das três partes iniciais do trabalho, fez-se uma análise geral dos resultados.

2.1. Diagnóstico energético

O diagnóstico energético da edificação foi elaborado seguindo os parâmetros recomendados pelo PROPEE. Visitas *in loco* na EMEF Ângelo Guasselli foram realizadas afim de coletar informações quanto aos equipamentos ou sistemas passíveis de eficiência. A Tab. 2 apresenta a lista de equipamentos presentes no local, com as suas respectivas potências e tempo de utilização média diária. O percentual de potência instalada para cada uso final de energia é apresentado pela Fig. 2.

Foi identificado que o sistema de iluminação, por ser do tipo fluorescente, é a opção adequada para a ação de eficiência. Apesar dos outros equipamentos do local apresentarem potência instalada superior ao sistema de iluminação, esses equipamentos apresentam boa eficiência energética e não possuem concorrentes no mercado com capacidade de substituí-los apresentando considerável redução no consumo de energia elétrica. Além disso, as lâmpadas fluorescentes apresentam níveis de EE abaixo das lâmpadas disponíveis no mercado, sendo as que utilizam a tecnologia LED as mais eficientes, proporcionando uma boa margem para redução do consumo do sistema de iluminação. Também, os custos e a facilidade para substituição da tecnologia utilizada são fatores que tornam esse sistema a melhor opção a ser eficientizada.

Tabela 2 - Equipamentos elétricos.

Equipamento	Quantidade	Potência (W)	Potência total (W)	Tempo de uso (h)	Selo PROCEL
Bomba D'água	1	1100	1100	2,00	Não possui
Computador	17	350	4900	8,00	Não possui
Forno Elétrico	2	1750	3500	2,00	Não possui
Freezer horizontal	1	500	500	24,00	D
Freezer vertical	1	300	300	24,00	B
Iluminação fluorescente compacta	26	15	390	12,00	Não possui
Iluminação fluorescente tubular	200	32	6400	8,00	Não possui
Impressora	2	960	1920	0,25	Não possui
Lava-roupas	1	1500	1500	2,50	A
Micro-ondas	1	1500	1500	0,50	A
Modem	1	18	18	24,00	Não possui
Refrigerador	3	350	1050	24,00	A
Switch D-Link	1	30	30	24,00	Não possui
TV	1	200	200	4,00	A
Ventilador	7	100	800	7,50	A
Ar-condicionado 9.000 BTU	2	770	1440	Variável	A
Ar-condicionado 12.000 BTU	1	1056	1056	Variável	A
Ar-condicionado 18.000 BTU	1	1588	1588	Variável	A
Ar-condicionado 30.000 BTU	1	8790	8790	Variável	B

O sistema atual de iluminação é composto por 100 luminárias com 1 reator de 63 W e 2 lâmpadas tubulares fluorescente de 32 W cada, totalizando a potência instalada de 12,7 kW. Além disso, também fazem parte do projeto 26 lâmpadas fluorescentes compactas de 15 W, que somam a potência de 0,39 kW. Em média, a utilização das lâmpadas tubulares é de 8 horas por dia durante o ano letivo da escola, em torno de 200 dias por ano. Já as lâmpadas compactas, em sua grande maioria, constituem o sistema de iluminação externa do local, sendo acionadas por fotocélulas, por isso, a média de utilização destas lâmpadas é de 12 h por dia durante todos os dias do ano.

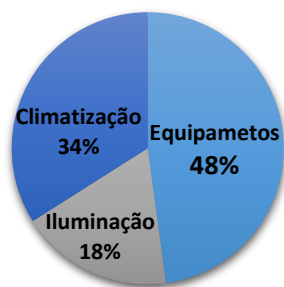


Figura 2 - Percentual de uso final de energia elétrica.

2.1.1. Ações propostas.

Após o conhecimento do sistema atual de iluminação do local, foram propostas alterações com o objetivo de redução do consumo de energia elétrica. Para a proposição das mudanças, primeiramente foi realizada a simulação luminotécnica dos ambientes.

Apesar do edital do PEE não exigir cálculo luminotécnico em projetos para sistemas de iluminação, apenas para iluminação pública, realizou-se a simulação luminotécnica dos ambientes da edificação a partir do programa DiaLux EVO versão 9.0. O programa utiliza as curvas fotométricas das lâmpadas/luminárias para análise da iluminação nos ambientes. O objetivo da simulação é analisar qual tipo de sistema de iluminação garante os parâmetros especificados na norma NBR/ISO 8995:2013. Para a realização da simulação, foi considerado que as luminárias que estão presentes no local continuarão sendo utilizadas, então, a partir das simulações, constatou-se que a potência das lâmpadas tubulares LED que devem ser utilizadas no local é de 20 W. Porém, a simulação demonstrou que, em 3 ambientes, e com a quantidade de luminárias do sistema de iluminação atual, não é possível alcançar a iluminação correta dos locais. Portanto, seria preciso adicionar luminárias para que a iluminação fique dentro dos níveis considerados ideais para a utilização. Apesar dessa constatação, o projeto de sistema proposto não considerará esse déficit no número de luminárias e apenas foram consideradas as luminárias que já estão presentes nos locais, para que a comparação entre os sistemas seja possível.

A Fig. 3 apresenta os resultados com a representação por cores falsas, apresentados pelo programa DiaLux EVO, referente a uma das salas que compõem a edificação do estudo.

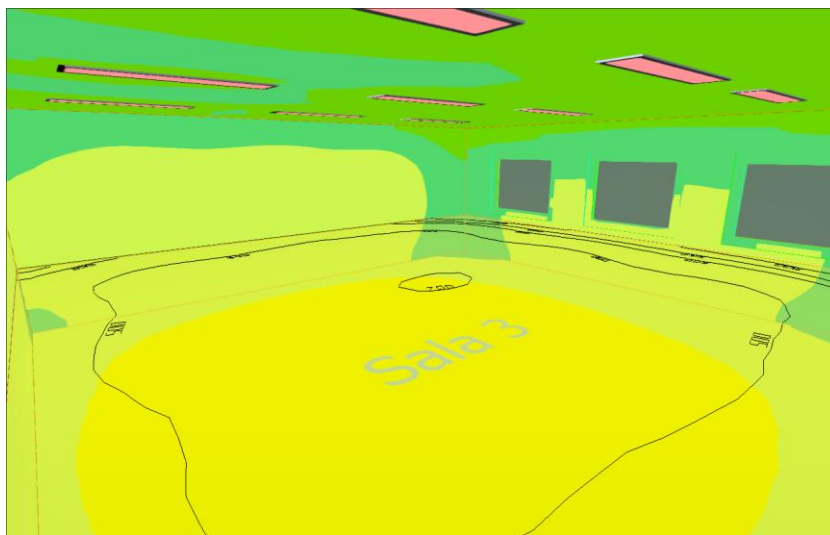


Figura 3 - Resultado da simulação luminotécnica

Baseando-se na análise do sistema atual e na simulação luminotécnica dos ambientes da edificação, foram propostas mudanças. Para a substituição das lâmpadas de 32 W foram escolhidas lâmpadas de 20 W LED tubulares instaladas nas mesmas luminárias já presentes no local. Para a outra parte do sistema de iluminação, que é feito com lâmpadas compactas de 15 W, foram escolhidas lâmpadas LED de 9 W. Essa escolha foi baseada no fato de que os ambientes iluminados com as lâmpadas compactas não são ambientes de trabalho, sendo apenas depósitos ou áreas de circulação externa. Foi realizada uma análise de equivalência da potência de iluminação entre lâmpadas atuais com as lâmpadas que poderiam ser utilizadas, sendo escolhida a lâmpada LED de 9 W.

Para o cálculo da viabilidade econômica do sistema proposto pelo projeto, foram preenchidas planilhas (ANEXO 1, ANEXO 2 e ANEXO 3) disponibilizadas pela concessionária de distribuição de energia elétrica, para cálculo dos benefícios, dos custos e da RCB das alterações.

2.2. Simulação energética

A simulação da edificação do estudo foi realizada no programa *EnergyPlus* versão 8.7.0. A modelagem da edificação foi feita no *SketchUp Make* 2017, a partir da extensão *Euclid* versão 0.9.3.

A Escola Municipal Ângelo Gabriel Boff Guasselli, está localizada na cidade de Osório, possui área construída de aproximadamente 675 m² e a fachada da entrada principal está direcionada 154° à sudeste em relação ao norte. A Fig. 4 apresenta a planta baixa da edificação, sinalizando os ambientes que compõem a escola. A cidade se localiza na zona bioclimática 3, de acordo com a NBR 15220-3 (2003). O funcionamento da escola é de segunda-feira à sexta-feira, das 8 h às 12 h e das 13 h às 17 h. A escola permanece fechada nos fins de semana e feriados.

O modelo geométrico da edificação da escola Ângelo Guasselli foi criado a partir de plantas baixa da edificação e de visitas ao local. O modelo é formado por zonas térmicas que representam os ambientes que compõem a edificação. Uma zona térmica é definida como um volume de ar com uma envoltória composta por paredes, piso, teto, portas e janelas. A Fig. 5 apresentam o modelo geométrico no *EnergyPlus* com a representação tridimensional da edificação.

A edificação está localizada em uma área afastada do centro da cidade e apenas existem algumas árvores que fazem sombra no local. Além das árvores, todas as partes da edificação que não são consideradas zonas térmicas, mas que podem acabar interferindo no fluxo de calor dos ambientes, são definidas como áreas de sombreamento e estão representadas em roxo no modelo no *EnergyPlus*.

A Tab. 3 apresenta os materiais que compõem a edificação, conforme o projeto arquitetônico, e as características de cada um deles. Para que os materiais que apresentem espaços internos preenchidos com ar sejam representados da maneira mais correta possível, foram realizados cálculos de espessura equivalente dos materiais utilizados, considerando a capacidade térmica total do modelo correspondente a capacidade térmica total do modelo de referência. Esses cálculos foram realizados para que as propriedades físicas dos materiais que são simulados sejam fidedignas as propriedades dos materiais reais. As camadas de materiais foram apresentadas na ordem de fora para dentro dos ambientes e as suas principais propriedades físicas (comprimento (L), condutividade (k), densidade (ρ), calor específico (cp) e resistência térmica (R)).

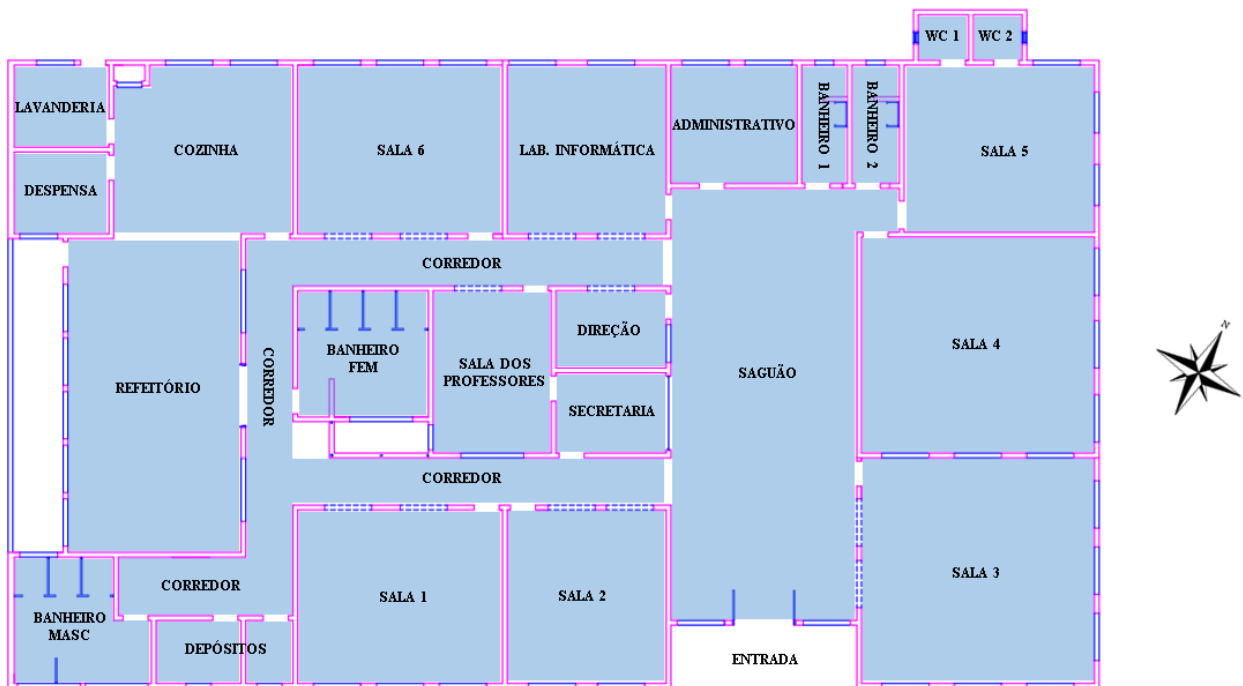


Figura 4 - Planta baixa da edificação

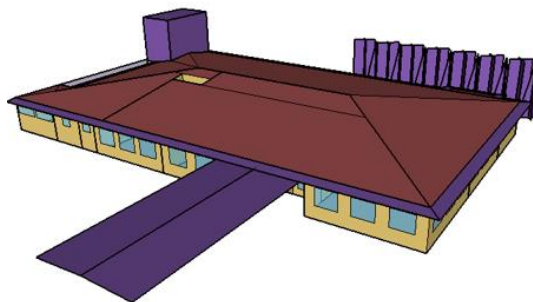


Figura 5 - Representação geométrica no EnergyPlus.

Tabela 3 - Características construtivas e propriedades dos materiais (NBR 15220-2, 2003; UFSC, 2017).

Construção		Materiais	L (m)	k (W/m·K)	ρ (kg/m ³)	c_p (J/kg·K)	R (m ² ·K/W)	ε (-)	α (-)
Paredes Internas/Externas	Exterior	Argamassa de reboco externa	0,025	1,15	2000	1000	-	0,9	0,34
		Bloco cerâmico 9x14x24cm	0,013	0,9	1600	920	-	0,9	0,7
	Interior	Camada de ar bloco cerâmico	0,063	0,361	-	-	0,175	-	-
		Bloco cerâmico 9x14x24cm	0,013	0,9	1600	920	-	0,9	0,7
		Argamassa de reboco interna	0,025	1,15	2000	1000	-	0,9	0,34
Laje cerâmica	Exterior	Argamassa de reboco	0,01	1,15	2000	1000	-	0,9	0,34
		Cerâmica laje tavela 24x7x20	0,012	1,05	2000	920	-	0,9	0,7
	Interior	Camada de ar cerâmica tavela 24x7x20	0,046	0,565	-	-	0,081	-	-
		Cerâmica laje tavela 24x7x20	0,012	1,05	2000	920	-	0,9	0,7
		Concreto laje tavela	0,04	1,75	2200	1000	-	0,9	0,7
Piso	Exterior	Brita	0,025	0,7	1500	800	-	0,9	0,7
		Concreto normal	0,1	1,75	2200	1000	-	0,9	0,7
	Interior	Cimento/assentamento	0,007	0,72	1860	840	-	0,9	0,7
		Piso cerâmico	0,01	0,9	1600	920	-	0,9	0,3
Forro		Policloreto de vinila (PVC)	0,01	0,071	273	960	-	0,9	0,4
Cobertura		Telha de fibrocimento 6mm	0,006	0,95	1900	840	-	0,9	0,7
Portas internas		Laminado de cedro	0,04	0,114	425	1630	-	0,9	0,7
Portas externas		Madeira maciça	0,04	0,2	650	1340	-	0,9	0,7

Para modelagem das janelas da edificação foram consideradas apenas as características físicas dos vidros, considerando que a superfície preenchida por eles é consideravelmente superior a área dos marcos. Os vidros são translúcidos, com 3mm e fixos, ou seja, foi considerado que eles nunca são abertos. Tab. 4 apresenta as características físicas dos vidros (comprimento (L), transmitância solar (τ_s), transmitância visível (τ_v), transmitância infravermelho (τ_{in}), emissividade infravermelho (ε_{in})).

Tabela 4 - Propriedades físicas dos vidros (DOE, 2009)

Construção	Material	L (m)	τ_s (-)	τ_v (-)	τ_{in} (-)	ε_{in} (-)	ρ_s (-)	k (K/m.K)
Janelas	Vidro	0,003	0,84	0,9	0	0,84	0,08	0,9

Durante a realização do diagnóstico energético, foi realizado o levantamento dos equipamentos presentes na edificação. A Tab. 2, apresentada anteriormente, lista os equipamentos e as suas características. A potência dos equipamentos foi registrada *in loco* ou através de pesquisas em manuais dos produtos, em tabelas e selos do Procel.

Para a simulação do sistema de iluminação, considerou-se a potência total das lâmpadas presentes em cada ambiente. Como visto anteriormente, todas as lâmpadas da edificação são fluorescentes, por isso, a fração visível considerada foi de 0,18 e a fração radiante de 0,37 (GAMARRA e PEREIRA, 2017). O tempo médio de utilização diária das lâmpadas é apresentado pela Tab. 5.

A escola Ângelo Guasselli possui 5 aparelhos de ar-condicionado que variam a potência entre 9.000 BTU e 30.000 BTU. A maioria dos equipamentos funciona apenas no ciclo de resfriamento, sendo que apenas o equipamento de 30.000 BTU possui ciclo de aquecimento. Os ambientes nos quais os equipamentos estão instalados são apresentados na Tab. 6. A modelagem desses aparelhos foi realizada considerando-os como sistemas unitários. As características técnicas dos equipamentos foram levantadas a partir dos manuais dos modelos e, além dessas características, foram utilizados valores padrão sugeridos pelo programa. Para modelagem do funcionamento dos equipamentos de ar-condicionado foi considerado que os aparelhos só estão disponíveis quando há a ocupação dos ambientes climatizados. O acionamento dos equipamentos é feito baseado nas temperaturas internas dos ambientes, sendo a temperatura do termostato configurada para 22 °C para aquecimento e 25 °C para resfriamento.

Tabela 5 - Tempo de utilização do sistema de iluminação.

Local	Tempo de utilização médio diária (h)		
	Janeiro	Fevereiro	Março a dezembro
Administrativo	0	8	8
Banheiros	0	0	1
Corredores	0	2	4,5
Cozinha	0	2	5,5
Depósitos	0	0	0,25
Dispensa Cozinha	0	2	5,5
Direção	0	0	3
Externa	12	12	12
Informática	0	0	6
Lavanderia	0	2	5,5
Refeitório	0	0	2
Saguão	0	2	4,5
Sala 1	0	0	0,25
Sala 2	0	0	3,75
Sala 3	0	0	7,5
Sala 4	0	0	3,75
Sala 5	0	0	3,75
Sala 6	0	0	3,75
Sala dos professores	0	8	8
Secretaria	0	8	8

Tabela 6 - Localização dos equipamentos de ar-condicionado.

Ambiente	Lab. de informática	Sala dos professores	Administrativo	Secretaria	Direção
Equipamento	30.000 BTU	18.000 BTU	12.000 BTU	9.000 BTU	9.000 BTU

A infiltração de ar nos ambientes climatizados ocorre de forma natural na edificação, a partir das frestas nas aberturas dos ambientes e no momento de abertura e fechamento das portas. Portanto, para a realização da simulação, foi considerada a taxa de 0,5 trocas de volume de ar por hora, ou seja, a cada 2 horas o equivalente a todo volume de ar do ambiente é substituído por ar externo. Esse valor foi utilizado baseado no valor médio de taxa de infiltração apresentado na ASHRAE Fundamental (2017).

A carga térmica devido a ocupação da edificação foi realizada a partir do levantamento do número alunos e funcionários da escola, detalhando o tempo de permanência das pessoas nos ambientes ao longo do dia em a cada mês no ano. No mês de fevereiro a escola é ocupada três dias na semana e, de março a dezembro, a escola possui ocupação de segunda a sexta-feira, ficando vazia nos finais de semana e feriados. No mês de julho ocorre uma semana de recesso escolar, portanto, não há utilização das salas de aula durante os 5 dias úteis e as demais salas adotam o comportamento igual ao mês de fevereiro. As Tab. 7 e Tab. 8 apresentam o número de pessoas em cada ambiente ao passar do dia. As linhas destacadas em negrito e sublinhadas sinalizam os ambientes que são utilizados somente até o dia 23/12, os demais são utilizados até o dia 31/12.

Tabela 7 - Ocupação de pessoas - principais ambientes.

Local	Janeiro	Fevereiro									Março a dezembro									
		Tempo integral	Até:									Até:								
			08:00	10:15	10:30	12:00	13:00	15:15	15:30	17:00	00:00	07:30	08:00	10:15	10:30	12:00	13:00	15:15	15:30	17:00
Administrativo	0	0	2	2	2	0	2	2	2	0	0	0	2	2	2	0	2	2	2	0
Corredores	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	3	1	3	1	0	1	3	1	0
Cozinha	0	0	2	2	2	0	2	2	2	0	0	0	2	2	2	0	2	2	2	0
Depósitos	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Dispensa Cozinha	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Lavanderia	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0
<u>Refeitório</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>36</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>48</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	
Saguão	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	54	1	18	1	42	1	18	1	0
<u>Sala 1</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>1</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>1</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
<u>Sala 2</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>13</u>	<u>0</u>	<u>13</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
<u>Sala 3</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>18</u>	<u>0</u>	<u>18</u>	<u>0</u>	<u>22</u>	<u>0</u>	<u>22</u>	<u>0</u>
<u>Sala 4</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>14</u>	<u>0</u>	<u>14</u>	<u>0</u>
<u>Sala 5</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>21</u>	<u>0</u>	<u>21</u>	<u>0</u>
<u>Sala 6</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>18</u>	<u>0</u>	<u>18</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
Sala dos professores*	0	0	4	4	4	0	4	4	4	0	0	0	1	4	1	0	1	4	1	0
Secretaria	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0

*Sala dos professores só é utilizada a partir do dia 14 de fevereiro.

Tabela 8 - Ocupação de pessoas - banheiros e salas secundárias.

Local	Janeiro	Fevereiro					Março a dezembro										
		Tempo integral	Até:					Até:									
			10:00	10:30	15:00	15:30	00:00	08:00	10:00	10:30	11:00	12:00	13:00	15:00	15:30	16:00	17:00
Outros Banheiros	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
Banheiros Maiores	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
<u>Direção*</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>3</u>	<u>0</u>	<u>3</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
<u>Informática</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>20</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>20</u>	<u>0</u>	<u>20</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>20</u>	<u>0</u>

*A sala da direção só é utilizada uma vez por semana.

Foram adotadas taxas metabólicas para cada atividade realizada pelas pessoas nos diversos ambientes. Para as salas de aula foi adotada uma taxa de 108 W por pessoa, considerando as pessoas sentadas escrevendo. Para as salas administrativas e dos professores, foi considerada a taxa metabólica de 117 W por pessoa, referente a pessoa digitando. Para cozinha foi considerada uma taxa de 190 W por pessoa, para as pessoas cozinhando. Nos banheiros e depósitos foi considerado a taxa de 126 W por pessoa, considerando que a pessoa estará em pé ou sentada, sem fazer muitos

movimentos. Por fim, no saguão e nas circulações foi considerado uma taxa média de 166 W por pessoa, considerando que parte das pessoas está parada/sentada e parte estará caminhando no local. (DOE, 2016).

2.3. Ações propostas para a envoltória.

A partir da análise dos dados obtidos com a simulação energética, foram elencadas as ações que podem ser realizadas na envoltória para melhorar o desempenho térmico dos ambientes estudados. Considerando que o fluxo de calor que é transferido para os ambientes simulados a partir da cobertura é significativo em relação ao fluxo total de calor nos ambientes e que, como já foi visto, a cobertura da edificação é determinante para o desempenho energético, foram propostas ações a serem realizadas na cobertura dos ambientes climatizados. Uma série de modificações para a cobertura foram testadas, mas serão apresentadas somente as que possuem os menores valores RCB. As três melhores ações testadas para serem propostas foram: utilização de manta adesiva térmica refletiva sobre o forro de PVC, pintura do telhado de branco e utilização de camada térmica de lã de rocha sobre o forro de PVC.

Proposta n°1 – Utilização de manta térmica refletiva sobre o forro. A primeira proposta para melhoramento do desempenho energético da cobertura da edificação consiste em utilizar, sobre o forro de PVC dos ambientes condicionados, uma manta refletiva de polipropileno bi-orientado (BOPP), com uma face aluminizada, para que os raios UV que chegam até o forro sejam refletidos, fazendo com que haja a queda na energia que é transferida para o ambiente, ocasionando uma diminuição da temperatura no local. A propriedade física da cobertura que é alterada a partir da inserção dessa manta é a emissividade térmica, que acaba diminuindo de valor, o que faz com que a energia transferida para o ambiente interno seja reduzida. A Tab. 9 apresenta as características construtivas e propriedades dos materiais utilizados nessa proposta.

Tabela 9 - Características construtivas - Manta refletiva (UFSC, 2017; INCONPLAST, 2021).

Construção	Materiais	L (m)	k (W/m·K)	ρ (kg/m ³)	c_p (J/kg·K)	ε (-)	α (-)
Forro - PVC + Manta Refletiva	Manta refletiva (BOPP Aluminizada)	0,000075	0,25	910	1700	0,05	0,05
	Forro PVC	0,01	0,071	273	960	0,9	0,4

Proposta n°2 – Pintura do telhado de branco. A segunda proposta analisada é a pintura do telhado da edificação de branco. O objetivo desta ação é diminuir a absorvância da superfície, portanto, diminuindo a absorção dos raios solares pelo telhado e, por consequência, diminuindo a sua temperatura. Com a diminuição da temperatura da cobertura, haverá a diminuição do calor que é transferido para os ambientes internos da edificação, diminuindo a temperatura das salas e fazendo com que o sistema de condicionamento ambiental tenha que trabalhar por menos tempo. A Tab. 10 apresenta as características construtivas e propriedades dos materiais da proposta.

Tabela 10 - Características construtivas - Telhado branco (UFSC, 2017).

Construção	Materiais	L (m)	k (W/m·K)	ρ (kg/m ³)	c_p (J/kg·K)	ε (-)	α (-)
Cobertura - Telhado Branco	Fibrocimento pintado de branco	0,006	0,95	1900	840	0,9	0,4

Proposta n°3 – Utilização de lã de rocha sobre o forro. O objetivo desta proposta é criar uma camada de isolamento térmico entre a cobertura externa da edificação e a cobertura interna. A camada de lã de rocha logo acima do forro faz com que, mesmo que o telhado absorva energia dos raios solares e se aqueça, esse calor não será transmitido para dentro dos ambientes da edificação. A Tab. 11 apresenta as características construtivas e propriedades dos materiais da proposta.

Tabela 11 - Características construtivas - Lã de rocha (UFSC, 2017).

Construção	Materiais	L (m)	k (W/m·K)	ρ (kg/m ³)	c_p (J/kg·K)	ε (-)	α (-)
Forro - PVC + Lã de Rocha	Lã de Rocha	0,05	0,045	32	800	0,9	0,7
	Forro PVC	0,01	0,071	273	960	0,9	0,4

Para cada uma das ações, realizou-se o mesmo estudo feito para o sistema de iluminação, de acordo com os parâmetros do PEE. Foi analisada a viabilidade econômica das ações propostas, a partir do cálculo dos benefícios, dos custos e da RCB das modificações.

3. RESULTADOS

Primeiramente foram analisados os resultados obtidos a partir da proposta para o sistema de iluminação. Posteriormente, foram discutidos os dados gerados com a simulação energética e os ganhos de eficiência energética conseguidos a partir das alterações propostas para a envoltória.

3.1. Resultados das ações propostas para o sistema de iluminação.

Após a realização do diagnóstico energético e proposições de ações de eficiência energética, foram calculados os benefícios, custos e RCB do projeto proposto. Para o cálculo dos benefícios do projeto, os primeiros parâmetros a serem considerados são o CEE e o CED. Esses dois custos são calculados baseados no nível de tensão de fornecimento de energia, portanto não dependem das ações do projeto. O nível de tensão de fornecimento da edificação do projeto é B1 – Residencial, portanto os valores considerados são de: CEE = R\$ 277,00 e CED = R\$ 880,45. Esses valores são disponibilizados pela CEEE-D, que considerou $k = 0,15$ e $F_c = 65\%$ para os cálculos.

Após o levantamento do sistema atual e da proposição de um novo sistema como novos equipamentos para a iluminação da EMEF Ângelo Guasselli, possibilitou-se analisar quais são os benefícios do projeto em relação a eficiência energética no uso final de iluminação. Os dois parâmetros utilizados para a quantificação dos benefícios são a redução da demanda ponta e a energia economizada decorrente das alterações propostas pelo projeto.

Em relação à RDP, os principais equipamentos do projeto, as lâmpadas tubulares de 32 W, não exercem mudança nesse quesito, pois, pelo horário de funcionamento da escola, não há a utilização destes equipamentos no período considerado ponta (das 18:00 às 21:00 horas), fazendo com que apenas as lâmpadas com o menor consumo de energia tenham interferência nessa faixa horária. A partir dos cálculos utilizados para a medição da RDP, determinou-se a redução, com a troca dos equipamentos, de 0,13 kW, cerca de 33% da demanda ponta atual.

A EE apresenta números mais expressivos, pois, trata-se de um parâmetro que abrange todos os equipamentos do projeto. Para as lâmpadas tubulares, a EE é de 13,76 MWh/ano, significando uma redução de 67,72% em relação ao consumo atual. Já para as lâmpadas de menor consumo, a EE é de 0,57 MWh/ano, resultando em 33% de redução, percentual igual a RDP.

A partir dos valores apresentados, pode-se calcular o benefício anualizado para o sistema de iluminação, que é de R\$ 4.083,70. A Tab. 12 apresenta os benefícios do projeto de maneira geral.

Tabela 12 - Benefícios – Sistema de iluminação.

			TOTAL	
Redução de demanda na ponta		kW	RDP _i	0,13
Custo evitado de demanda (CED)	880,45	%	RDP _i %	33,33%
Energia economizada		MWh/ano	EE _i	14,33
Custo da energia evitada (CEE)	277,00	%	EE _i %	65,05%
Benefício anualizado iluminação - Ex ante		R\$	B _{ILUM}	4.083,70

Além dos custos dos equipamentos, sabe-se que outras despesas, inerentes a realização do projeto, existem, como o custo de mão de obra, custo de descarte dos materiais, custo de transporte e custo das ações de medição e verificação. Também existem ações opcionais que podem agregar valor ao projeto, como marketing, treinamentos e capacitações, que também terão custos ao proponente. Porém, para análise dos custos do projeto de iluminação, foram considerados apenas os valores relacionados aos equipamentos que precisam ser adquiridos. Todos esses valores não relacionados diretamente aos equipamentos serão considerados como contrapartida da PMO para a realização do projeto, considerando que ela já possui pessoal capacitado para executar todas as ações que serão necessárias.

Para o levantamento dos custos dos equipamentos, foram realizados orçamentos dos produtos que possuem as características necessárias para projeto. A partir dos orçamentos, foram considerados os menores valores unitários dos equipamentos nos cálculos dos custos. Chegou-se aos valores de R\$ 17,50, para cada lâmpada tubular LED de 20 W que será instalada, e de R\$ 5,90, para cada lâmpada LED de 9 W. O custo total com os equipamentos é de R\$ 3.828,40 e o custo anualizado total para o sistema de iluminação é de R\$ 589,10. A Tab. 13 apresenta a relação dos custos do projeto.

A Relação Custo-Benefício do projeto foi calculada a partir dos valores apresentados. Com suporte da planilha (ANEXO 3) para o cálculo da RCB, disponibilizada pela CEEE-D, que se fundamenta nos cálculos apresentados anteriormente para a obtenção da RCB do projeto, foi obtida a relação custo-benefício de 0,14 para o projeto de iluminação da escola Ângelo Guasselli. A Tab. 14 apresenta de maneira sintetizada os valores utilizados para os cálculos da RCB.

Tabela 13 - Custos – Sistema de iluminação.

Materiais e equipamentos	Vida útil	Quantidade	Valor unitário	PEE
Luminária LED tubular 20W	10,00	210	R\$ 17,50	R\$ 3.675,00
Luminária LED bulbo 10W	4,57	26	R\$ 5,90	R\$ 153,40
Custo total				R\$ 3.828,40
Custo anualizado total iluminação - Ex ante			CA _{TILUM}	R\$ 589,10

Tabela 14 - RCB - Sistema de iluminação.

Cálculo por uso final	E _{ECON} Energia economizada (MWh/ano)	RDP Redução de demanda na ponta (kW)	CA _{TPEE} Custo anualizado PEE	BAT Benefício anualizado total	RCB _{PEE} Por uso final PEE
Iluminação	14,33	0,13	R\$ 589,10	R\$ 4.083,70	0,14

O limite de RCB permitida pelo edital é de 0,75, portanto o projeto de eficiência energética para o sistema de iluminação da EMEF Ângelo Guasselli está apto a ser proposto ao PEE.

3.2. Resultados da simulação energética

A Tab. 15 apresenta os valores dos consumos mensais da edificação real e simulada da escola Ângelo Guasselli. A validação do modelo simulado foi feita a partir da comparação entre esses dados. A diferença entre os consumos anuais foi de cerca de 1%, sendo a maior diferença mensal negativa de -10,12% e a maior diferença mensal positiva de 12,07%. Considerando o módulo da maior diferença entre o consumo mensal real e o consumo mensal simulado, nota-se que o valor é de aproximadamente 186 kWh e aconteceu no mês de maio. Mesmo com as diferenças encontradas, o modelo foi considerado uma boa representação do comportamento real da edificação. Dentre os fatores que influenciam na diferença entre os consumos encontrada, destaca-se o fato de que os dados utilizados foram do ano de 2019, por ser o último ano sem a interferência da pandemia de Covid-19, e que podem ter ocorrido alterações dos equipamentos utilizados atualmente que podem ter sido esquecidas durante o levantamento realizado. Além disso, considerando a característica dos equipamentos presentes no local, qualquer pequena mudança no perfil de funcionamento de apenas um dia no mês dos equipamentos já pode causar um reflexo considerável no consumo da edificação.

Tabela 15 - Validação da simulação pelo consumo da edificação.

Mês	Consumo real [kWh]	Consumo simulado [kWh]	Diferença
Janeiro	465	462,34	-0,58%
Fevereiro	632	638,82	1,07%
Março	1561	1417,49	-10,12%
Abril	1532	1460,6	-4,89%
Maio	1357	1543,24	12,07%
Junho	1400	1332,25	-5,09%
Julho	1434	1465,28	2,13%
Agosto	1324	1462,03	9,44%
Setembro	1483	1372,19	-8,08%
Outubro	1386	1455,9	4,80%
Novembro	1547	1468,16	-5,37%
Dezembro	1551	1442,67	-7,51%
Consumo anual total	15672	15520,97	-0,97%

3.3. Análise energética

Considerando que os usos finais de energia elétrica que podem ser afetados pela envoltória são o sistema de iluminação e o sistema de condicionamento ambiental, e que a primeira parte do projeto propõe ações de eficiência

energética para o sistema de iluminação, nesta etapa do trabalho buscou-se analisar como podem ser diminuídos os gastos com o sistema de condicionamento ambiental na edificação a partir de ações realizadas na envoltória baseadas nos dados da simulação.

Como a edificação não apresenta equipamentos de condicionamento ambiental em todas os seus ambientes, foram analisados apenas os dados referentes aos ambientes condicionados para a proposição das ações de melhoria do sistema. A partir dessa análise, foi visto que os ganhos de calor nos ambientes provenientes da cobertura das salas são significativos perante aos números totais dos fluxos de calor. Com isso, a parte da envoltória que se apresenta como bom objeto de estudo para sofrer alterações é a cobertura da edificação.

A EMEF Ângelo Guasselli possui um telhado de aproximadamente 770 m², constituído por telhas onduladas de fibrocimento, as quais foram instaladas em 2014, pois a escola passou por reformas. Em relação ao teto das salas da edificação, são encontrados dois tipos de coberturas. A maioria dos ambientes possui teto de laje de cerâmica, porém, os ambientes que são climatizados artificialmente, que são o foco do projeto, possuem forros de PVC. A área de forro das salas com condicionamento ambiental é de aproximadamente 70 m².

As planilhas de cálculos disponibilizadas pela concessionária não consideram as modificações que podem ser realizadas na envoltória e focam na troca dos equipamentos. Portanto, teve-se que adaptar a forma de utilização delas para que fosse feita a análise dos benefícios do projeto. O parâmetro chave que foi utilizado para análise e preenchimento das tabelas foi a redução do consumo de energia elétrica que foi registrado a partir da simulação, para isso, considerou-se que os sistemas, atual e proposto, possuem os mesmos equipamentos de condicionamento ambiental e somente o fator de utilização destes sistemas foi alterado, fazendo com que o sistema proposto reduza o consumo de energia elétrica da maneira esperada. Apesar do sistema de condicionamento ambiental possuir tempo de utilização variável durante os dias do ano, para fins de análise, foi considerado que o sistema é utilizado durante 8 horas por dia em 100 dias do ano (metade do ano letivo). O fator de utilização do sistema atual foi considerado 0,19, pois é o valor que iguala o consumo anual da calculado com o consumo anual simulado. Da mesma forma, cada fator de utilização das propostas foi calculado para igualar o consumo encontrado com as simulações.

3.4. Resultados da proposta nº1 – Utilização de manta térmica refletiva sobre o forro.

O consumo de energia elétrica da edificação é o fator que será considerado para análise da eficiência energética que a proposta pode oferecer ao sistema de condicionamento de ar. A partir da simulação da proposta nº1 foi observado a queda no consumo de energia da edificação. A Tab. 16 apresenta os valores mensais e anual de consumo de energia elétrica após a modificação proposta.

Tabela 16 - Consumo simulado - Manta térmica refletiva.

Mês	Consumo (kWh)	
	Original	Manta térmica
Janeiro	462,34	462,34
Fevereiro	638,82	635,17
Março	1417,49	1406,51
Abril	1460,6	1453,19
Maio	1543,24	1540,98
Junho	1332,25	1331,89
Julho	1465,28	1464,96
Agosto	1462,03	1461,78
Setembro	1372,19	1370,42
Outubro	1455,9	1450,22
Novembro	1468,16	1456,13
Dezembro	1442,67	1426,86
Total	15520,97	15460,45
Redução anual (kWh)	-	60,52
Redução anual (%)	-	0,39%

Após o preenchimento da planilha (ANEXO 4), de acordo com a economia de energia anual simulada, pode-se calcular a energia economizada e o benefício anualizado para o sistema de condicionamento ambiental. Os resultados estão apresentados na Tab. 17. Neste sistema, assim como parte do sistema de iluminação, não há redução de demanda na ponta, pois a escola acaba não funcionando dentro do horário de ponta da distribuidora. Então, a energia economizada

pela modificação proposta para a envoltória é de 0,05 MWh/ano e o benefício anualizado, calculado a partir dos valores de CED e CEE, da mesma forma feita anteriormente, é de R\$ 15,19.

Da mesma forma que foi feito na parte do projeto relacionada ao sistema de iluminação, os custos com o sistema de condicionamento ambiental se resumem aos custos com matérias e equipamentos, pois considera-se que os demais custos podem ser apresentados como contrapartida da Prefeitura de Osório, porque ela já possui mão de obra que pode realizar as ações necessárias. Por isso, os custos considerados estão relacionados a aquisição da manta adesiva a ser aplicada.

Para o levantamento dos custos com os materiais e equipamentos foi realizada uma pesquisa de mercado e levantado mais de um orçamento para o produto necessário, sendo considerado para os cálculos o menor valor encontrado. Os custos do projeto de condicionamento ambiental são de R\$ 399,90, considerando que será adquirido um rolo de 100 m² de manta adesiva, apesar da área de forro ser de aproximadamente 70 m², pois foi o produto com a melhor relação de custo por m² encontrada. A Tab. 18 apresenta esses resultados.

Tabela 17 - Benefícios – Manta térmica refletiva.

			TOTAL	
Redução de demanda na ponta		kW	RDP _i	0,00
Custo evitado de demanda (CED)	880,45	%	RDP _i %	0,00%
Energia economizada		MWh/ano	EE _i	0,05
Custo da energia evitada (CEE)	277,00	%	EE _i %	4,74%
Benefício anualizado condicionamento ambiental - Ex ante			B _{COND}	15,19

Tabela 18 - Custos – Manta térmica refletiva.

Materiais e equipamentos	Vida útil	Quantidade	Valor unitário	PEE
Manta térmica adesiva para forro 100 m ²	30	1	R\$ 399,90	R\$ 399,90
Custo anualizado total condicionamento ambiental - Ex ante			CA	R\$ 35,52

O cálculo da relação custo-benefício do sistema de condicionamento ambiental foi realizado da mesma maneira que o RCB da iluminação e foi utilizada a planilha (ANEXO 6) disponibilizada pela CEEE-D para isso. A Tab. 19 apresenta a RCB calculada para a proposta do sistema de condicionamento ambiental que é de 2,34, fora da margem permitida pelo PEE.

Tabela 19 - RCB – Manta térmica.

Cálculo por uso final	Energia economizada (MWh/ano)	Redução de demanda na ponta (kW)	Custo anualizado	Benefício anualizado	RCB
Condicionamento ambiental	0,06	0,00	R\$ 35,52	R\$ 15,19	2,34

3.5. Resultados da proposta nº2 – Pintura do telhado de branco.

Da mesma forma como realizado na proposta nº1, a redução no consumo de energia elétrica, a partir da modificação programada, será a forma de analisar a eficiência energética da proposta. A partir da simulação da proposta nº2 nota-se a diminuição no consumo de energia da edificação. A Tab. 20 apresenta os valores mensais e anual de consumo de energia elétrica após a modificação proposta.

Os benefícios da proposta nº2 foram calculados da mesma forma que da proposta nº1. Para preenchimento das planilhas (ANEXO 7) de cálculo foram considerados os mesmos equipamentos para o sistema atual e proposto e apenas o fator de utilização foi modificado para encontrar a redução de consumo de energia elétrica igual ao simulado. Com as planilhas preenchidas, pode-se calcular a energia economizada e o benefício anualizado da proposta. A Tab. 21 apresenta os valores encontrados.

Nesta proposta também foram considerados apenas os custos relacionados aos materiais e equipamentos que precisam ser adquiridos. Todos os outros custos serão considerados contrapartida do proponente do projeto.

Também foi realizada uma pesquisa de mercado e levantamento de diferentes orçamentos nesta etapa do projeto. A melhor relação entre R\$/L de tinta encontrada foi de R\$13,49. Considerando que seria necessárias duas demãos de tinta no telhado, considera-se que é preciso cobrir 1540m². Um galão de 20L de tinta, ao preço de R\$ 269,90, possui rendimento de 550m²/demão, portanto, seriam necessários, no mínimo, 3 galões. Com isso, o custo para a proposição dessa modificação na cobertura é de R\$ 674,75. A Tab. 22 apresenta os custos desta proposta.

Tabela 20 - Consumo simulado - Telhado branco.

Mês	Consumo (kWh)	
	Original	Telhado branco
Janeiro	462,34	462,34
Fevereiro	638,82	631,86
Março	1417,49	1399,79
Abril	1460,6	1446,1
Mai	1543,24	1539,82
Junho	1332,25	1332,96
Julho	1465,28	1465,65
Agosto	1462,03	1462,18
Setembro	1372,19	1369,71
Outubro	1455,9	1445,63
Novembro	1468,16	1445,46
Dezembro	1442,67	1415,2
Total	15520,97	15416,7
Redução anual (kWh)	-	104,27
Redução anual (%)	-	0,67%

Tabela 21 - Benefícios - Telhado branco.

			TOTAL
Redução de demanda na ponta	kW	RDP _i	0,00
Custo evitado de demanda (CED)	880,45 %	RDP _i %	0,00%
Energia economizada	MWh/ano	EE _i	0,10
Custo da energia evitada (CEE)	277,00 %	EE _i %	8,95%
Benefício anualizado condicionamento ambiental - Ex ante	R\$	B _{COND}	28,70

Tabela 22 - Custos - Telhado branco.

Materiais e equipamentos	Vida útil	Quantidade	Valor unitário	PEE
Tinta Acrílica Branca 20L	5	3	R\$ 269,90	R\$ 674,75
Custo anualizado total condicionamento ambiental - Ex ante			CA	R\$ 169,00

O cálculo da relação custo-benefício do sistema de condicionamento ambiental foi realizado da mesma maneira que o RCB da proposta nº1. A Tab. 23 apresenta a RCB calculada para a pintura do telhado da edificação de branco que é de 5,89, maior que o da proposta nº 1 e também fora da margem permitida pelo PEE.

Tabela 23 - RCB - Telhado branco.

Cálculo por uso final	Energia economizada (MWh/ano)	Redução de demanda na ponta (kW)	Custo anualizado	Benefício anualizado	RCB
Condicionamento ambiental	0,10	0,00	R\$ 169,00	R\$ 28,70	5,89

3.6. Resultados da proposta nº3 – Utilização de lã de rocha sobre o forro.

Da mesma forma como realizado nas outras duas propostas já apresentadas, a redução no consumo de energia elétrica, decorrente da modificação na envoltória, será a variável utilizada para análise da eficiência energética da proposta. A Tab. 24 apresenta os valores obtidos para o consumo da edificação após as modificações propostas.

Para cálculo dos benefícios da proposta, da mesma forma que foi feita nas outras duas primeiras propostas apresentadas, foram considerados os mesmos equipamentos nos sistemas atual e projetado, apenas foram modificados os coeficientes de utilização, com o objetivo de atingir a redução do consumo de energia elétrica idêntica ao sistema simulado. A Tab. 25 apresenta os valores de energia economizada e benefício anualizado para a proposta apresentada.

Tabela 24 – Consumo simulado - Lã de rocha.

Mês	Consumo (kWh)	
	Original	Lã de Rocha
Janeiro	462,34	462,34
Fevereiro	638,82	633,71
Março	1417,49	1402,14
Abril	1460,6	1450,71
Maio	1543,24	1540,29
Junho	1332,25	1331,53
Julho	1465,28	1464,77
Agosto	1462,03	1461,66
Setembro	1372,19	1369,72
Outubro	1455,9	1448,2
Novembro	1468,16	1450,94
Dezembro	1442,67	1420,02
Total	15520,97	15436,03
Redução anual (kWh)	-	84,94
Redução anual (%)	-	0,55%

Tabela 25 - Benefícios - Lã de rocha.

			TOTAL	
Redução de demanda na ponta		kW	RDP _i	0,00
Custo evitado de demanda (CED)	880,45	%	RDP _i %	0,00%
Energia economizada		MWh/ano	EE _i	0,08
Custo da energia evitada (CEE)	277,00	%	EE _i %	6,84%
Benefício anualizado condicionamento ambiental - Ex ante		R\$	B _{COND}	21,95

Assim como nas outras propostas apresentadas anteriormente, foram considerados apenas os custos relacionados aos materiais e equipamentos que precisam ser adquiridos. Todos os outros custos serão considerados contrapartida do proponente do projeto.

A partir da análise de mercado e orçamento realizados, o menor valor por m² para a lã de rocha proposta a ser instalada sobre o forro das salas climatizadas artificialmente é de R\$ 15,57. Considerando que serão necessários 70m² para cobrir toda a área de forro dos ambientes, o custo total da proposta é de R\$ 1.095,02. A Tab. 26 apresenta a relação dos custos da proposta.

Tabela 26 - Custos - Lã de rocha.

Materiais e equipamentos	Vida útil	Quantidade	Valor unitário	PEE
Feltro lã de rocha - 32 Kg/m ³ x 50mm	30	70	R\$ 15,67	R\$ 1.095,02
Custo anualizado total condicionamento ambiental - Ex ante			CA	R\$ 97,27

O cálculo da relação custo-benefício da proposta nº3 também foi feito a partir das planilhas (ANEXO 12) disponibilizadas pela concessionária de distribuição de energia elétrica. A RCB calculada para essa proposta foi de 4,43, portanto, assim como as outras duas propostas de ações relacionadas a envoltória, ela possui RCB superior ao permitido pelo PEE. A Tab. 27 apresenta o resultado encontrado.

Tabela 27 - RCB - Lã de rocha.

Cálculo por uso final	Energia economizada (MWh/ano)	Redução de demanda na ponta (kW)	Custo anualizado	Benefício anualizado	RCB
Condicionamento ambiental	0,08	0,00	R\$ 97,27	R\$ 21,95	4,43

3.7. Resultados gerais

Analisando as propostas de ações de eficiência energética com base somente nos parâmetros apresentados pelo PEE, observa-se que, em relação a RCB das propostas, somente a ação relacionada a troca dos equipamentos do sistema de uso final de energia é a única que possui valor permitido pelas regras de aprovação de projetos do PEE. Todas as ações propostas relacionadas a envoltória obtiveram valores de RCB superior ao permitido. A Tab. 28 apresenta a comparação entre as RCB das propostas.

Tabela 28 - RCB das propostas.

	Troca de equipamentos de iluminação	Utilização de manta térmica sobre o forro	Pintura do telhado de branco	Utilização de lã de rocha sobre o forro
RCB	0,14	2,34	5,89	4,43

Fundamentando-se nos resultados encontrados para os benefícios e os custos dos projetos analisados, pode-se entender que o projeto para o sistema de iluminação, com a troca direta dos equipamentos de uso final de energia elétrica, apresenta melhores resultados que os projetos propostos para a eficiência energética do sistema de condicionamento de ar, focado em modificações da envoltória. Analisando os sistemas estudados, algumas características podem explicar essas diferenças encontradas entre os dois projetos.

Para a análise da melhoria de desempenho energético baseada somente na troca de equipamentos de uso final, a comparação que deve ser realizada é entre o consumo dos equipamentos atuais e o consumo dos equipamentos propostos. Não se faz necessária uma análise da eficiência energética do sistema onde o equipamento está inserido, pois as características dos ambientes são as mesmas e somente cada equipamento é individualmente substituído.

Já, para proposição de melhoria para o sistema a partir de ações na envoltória, é necessário encontrar a melhor forma de efficientizar o funcionamento dos equipamentos, sem modifica-los, ou seja, alterando as condições do ambiente para que o equipamento seja menos exigido. Mais de uma análise foi realizada e mesmo a melhor escolha dentre as opções apresentadas não consegue apresentar números tão expressivos quanto a simples troca dos equipamentos de iluminação. Normalmente, ações relacionadas com a envoltória apresentam mais opções quando se trata de edificações que ainda estão em fase de planejamento e construção. Para edificações já construídas, como neste estudo de caso, há um limite nas ações que podem ser realizadas e cada ação, normalmente, possui um valor maior, pois está relacionada a troca de materiais e obras que terão de ser feitas em ambientes já prontos.

4. CONCLUSÃO

Com base nos resultados encontrados, nota-se que o PEE é estritamente voltado para a questão financeira relacionada a expansão da rede, ou seja, se as ações propostas possuem valor menor que os custos de expansão na rede, elas se tornam vantajosas e conseqüentemente apresentarão RCB dentro do limite determinado. O fato de uma ação não possuir RCB dentro do limite não faz com que ela deixe de ser vantajosa para o proponente, ela apenas não é mais barata para a distribuidora de energia elétrica em relação a expansão da rede que deverá ser realizada para comportar o consumo atual.

Outra reflexão a ser feita com base no PEE é em relação a simulação energética, que atualmente não é exigida nos projetos. A partir das simulações pode-se entender melhor o comportamento energético das edificações e, principalmente, em projetos de condicionamento ambiental, analisar onde estão os pontos fracos da edificação e quais os melhores equipamentos que devem ser utilizados para cada característica de ambiente. O uso desta ferramenta de análise traz mais transparência e robustez as escolhas de projeto.

O PEE, sendo um programa de governo que distribui recursos voltados a projetos que evoluam a EE na sociedade para diversos tipos de consumidores, pode aprimorar a avaliação dos projetos, com o intuito de incentivar ainda mais a adoção de práticas que disseminem o uso de energia através de uma análise mais abrangentes, visando uma mudança de paradigma que pode estar inserida dentro do todo de uma sociedade que deve buscar sempre a EE e a sustentabilidade.

Após a avaliação dos resultados, pode-se concluir que o investimento na troca dos equipamentos de uso final apresenta melhor RCB que ações relacionadas a envoltória no estudo de caso realizado. Apesar disso, é necessário analisar cada caso, pois quando se trata de envoltória, muitas variáveis podem estar envolvidas e mais de uma ação pode ser realizada.

Para estudos futuros, sugere-se a realização de análises semelhantes as que foram realizadas, porém para diferentes tipos de edificações e consumidores. Analisar edificações onde a envoltória possa ser melhor explorada ou que o sistema

de condicionamento ambiental possui consumo de energia elétrica mais representativo em relação ao consumo geral da edificação podem ser alternativas que apresentem melhores resultados que os obtidos nesse estudo de caso.

REFERÊNCIAS

- ABNT, 2003. NBR. 15.220-2. Desempenho Térmico de Edificações Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, Brasil
- ABNT, 2003. NBR. 15.220-3. Desempenho Térmico de Edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, Brasil
- ABNT, 2013. NBR/ISSO 8995-1. Iluminação de Ambientes de Trabalho Parte 1: Interior. Rio de Janeiro.
- ANEEL, 2021. Procedimentos do Programa de eficiência energética.
- ASHRAE, 2017. ASHRAE Handbook – Fundamentals (SI edition). Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers.
- Brasil. Lei Nº 9.991, de 24 de julho de 2000. Realização de investimentos em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica. Brasília, DF, 2000. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/1999/leis/991.htm#:~:text=LEI%20No%209.991%2C%20DE%2024%20DE%202007JULHO%20DE%202000.&text=Disp%C3%B5e%20sobre%20realiza%C3%A7%C3%A3o%20de%20investime%20ntos,el%C3%A9trica%2C%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%A2ncias.%3E> Acesso em maio/2021.
- DOE, 2016. Output Input Reference EnergyPlus. Disponível em: < <https://energyplus.net/documentation> > Acesso em jan/2021.
- DOE, 2009. Building Energy Use and Cost Analysis Program. Volume 4: Libraries e Reports. Disponível em: < <https://doe2.com/Download/DOE-22/> > Acesso em: fev/2021.
- FERREIRA, C. C., PEREIRA, I. M., 2012. Avaliação do desempenho térmico de habitação de interesse social de acordo com a nbr 15575, para as diversas zonas bioclimáticas. XIV ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Juiz de Fora, Minas Gerais, Brasil.
- FMI, 2020. World Economic Outlook, 2020. Disponível em: <<https://www.imf.org/en/Publications/WEO/Issues/2021/03/23/world-economic-outlook-april-2021>> Acesso em: abr/2021.
- 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.
- IEA, 2019. World Energy Outlook, 2019. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019>> Acesso em jun/2021.
- IEA, 2020. World Energy Outlook. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020>> Acesso em jun/2021.
- INCOMPLAST, 2021. Polipropileno (PP). Disponível em: <<https://incomplast.com.br/polipropilenopp/>> Acesso em maio/2021.
- MME, 2019. Plano nacional de eficiência energética. Brasília. Disponível em: < <http://antigo.mme.gov.br/web/guest/secretarias/planejamento-e-desenvolvimento-energetico/publicacoes/plano-nacional-de-eficiencia-energetica> > Acesso em mar/2021.
- MME/ANEEL, 2021. Procedimento do Programa de Eficiência Energética. Disponível em: < https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-normativa-aneel-n-920-de-23-de-fevereiro-de-2021-*-306209537 > Acesso em abr/2021.
- MME/EPE, 2019. Atlas da eficiência energética. Brasília. Disponível em: < [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-461/Atlas%20da%20Efici%C3%A2ncia%20Energ%C3%A9tica%20do%20Brasil%20\(002\).pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-461/Atlas%20da%20Efici%C3%A2ncia%20Energ%C3%A9tica%20do%20Brasil%20(002).pdf) > Acesso em mar/2021.
- MME/EPE, 2020. Plano Decenal de Expansão de Energia 2029 / Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília. Disponível em: < <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2029> > Acesso em mar/2021.
- MME/EPE, 2021. Plano decenal de expansão de energia 2030. Brasília. Disponível em: < <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2030> > Acesso em abr/2021.
- MORENO, A. C. R., MORAIS, S. I., SOUZA, G. V. R., 2017. Thermal Performance of Social Housing– A Study Based on Brazilian Regulations. 8th International Conference on Sustainability in Energy and Buildings. Turim, Itália.
- UFSC, 2017. Desenvolvimento de um modelo equivalente de avaliação de propriedades térmicas para a elaboração de uma biblioteca de componentes construtivos brasileiros para o uso no programa EnergyPlus. Florianópolis.
- PROCEL, 2006. Manual de Aplicação dos Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) versão 2.1. Disponível em: < <http://www.pbefedifica.com.br/etiquetagem/comercial/manuais> > Acesso em: jun/2021.
- PROCEL, 2006. PROCEL EPP eficiência energética nos prédios públicos. Disponível em: < <http://www.procelinfo.com.br/data/Pages/LUMIS623FE2A5ITEMID5C0D828A5E894B4AA0280C96CCED1760> >

[PTBRIE.htm#:~:text=O%20Programa%20de%20Efici%C3%Aancia%20Energ%C3%A9tica,n%C3%ADveis%20federal%2C%20estadual%20e%20municipal.>](#) Acesso em: mar/2021.

PROCEL, 2020.PBE EDIFICA. Disponível em: < <http://www.pbeedifica.com.br/sobre>> Acesso em: mar/2021.

SILVA, A. S., GHISI, E., 2013. Análise de sensibilidade global dos parâmetros termofísicos de uma edificação residencial de acordo com o método de simulação do RTQ-R. Ambiente Construído, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

TRIANA, M. A., LAMBERTS, R., 2013. Proposta de incorporação de estratégias para melhoria de desempenho térmico e uso racional de energia em projeto de habitação de interesse social em Florianópolis. XII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. Brasília, Distrito Federal, Brasil.

VALDENEBRO, E., DIETRICH, U., INO, A., 2019. Thermal comfort analysis of a representative multi-story social housing unit with wood as an alternative construction material in Brazil. SBE 19 - Emerging Concepts for Sustainable Built Environment.

ANEXO 1 – Planilha para cálculo dos benefícios do sistema de iluminação.

ILUMINAÇÃO - SISTEMA ATUAL - EX ANTE					TOTAL	ilumin 1	ilumin 2		
1 Tipo de equipamento / tecnologia						Fluorescente tubular	Fluorescente		
Quantidade de luminárias					126	100	26		
2 Lâmpadas	Potência	W	pla_i			32,00	15,00		
3 Quantidade					226	200	26		
2 Reatores	Potência	W	pra_i			63,00	0,00		
3 Quantidade					100	100	0		
4 Potência instalada					kW	Pa_i	13,09	12,70	0,39
Tempo de utilização do sistema, em um dia					h/dia		8:00	12:00	
Dias de utilização do sistema, em um ano					dia/ano		200,00	365,00	
5 Funcionamento					h/ano	ha_i	1.600,00	4.380,00	
Horas de utilização em horário de ponta, em um dia					h/dia	$nupa_i$	nup < 3	3:00	
Dias úteis de utilização em horário de ponta, em um mês					dia/mês	nda_i	nd < 22	22,00	
Meses de utilização em horário de ponta, em um ano					mês/ano	nma_i	nm < 12	12,00	
Potência média na ponta					kW	da_i	0,39	0,00	0,39
6 Fator de coincidência na ponta						$FCPa_i$		0,00	1,00
7 Energia consumida					MWh/ano	Ea_i	22,03	20,32	1,71
8 Demanda média na ponta					kW	Da_i	0,39	0,00	0,39

ILUMINAÇÃO - SISTEMA PROPOSTO - EX ANTE					TOTAL	ilumin 1	ilumin 2		
11 Tipo de equipamento / tecnologia						LED tubular	LED		
Quantidade de luminárias					126	100	26		
12 Lâmpadas	Potência	W	plp_i			20,50	10,00		
13 Quantidade					226	200,00	26,00		
12 Reatores	Potência	W	prp_i			0,00	0,00		
13 Quantidade					0	0,00	0,00		
14 Potência instalada					kW	Pp_i	4,36	4,10	0,26
Tempo de utilização do sistema, em um dia					h/dia		8:00	12:00	
Dias de utilização do sistema, em um ano					dia/ano		200,00	365,00	
15 Funcionamento					h/ano	hp_i	1.600,00	4.380,00	
Horas de utilização em horário de ponta, em um dia					h/dia	$nupp_i$	nup < 3	0:00	3:00
Dias úteis de utilização em horário de ponta, em um mês					dia/mês	ndp_i	nd < 22	0,00	22,00
Meses de utilização em horário de ponta, em um ano					mês/ano	nmp_i	nm < 12	0,00	12,00
Potência média na ponta					kW	dp_i	0,26	0,00	0,26
16 Fator de coincidência na ponta						$FCPp_i$		0,00	1,00
17 Energia consumida					MWh/ano	Ep_i	7,70	6,56	1,14
18 Demanda média na ponta					kW	Dp_i	0,26	0,00	0,26

ILUMINAÇÃO - RESULTADOS ESPERADOS - EX ANTE					TOTAL	ilumin 1	ilumin 2			
21 Redução de demanda na ponta					kW	RDP_i	0,13	0,00	0,13	
22 Custo evitado de demanda (CED)					880,45	%	$RDP_i\%$	33,33%	0,00%	33,33%
23 Energia economizada					MWh/ano	EE_i	14,33	13,76	0,57	
24 Custo da energia evitada (CEE)					277,00	%	$EE_i\%$	65,05%	67,72%	33,33%
Benefício anualizado iluminação - Ex ante					R\$	B_{ILUM}	4.083,70	3.811,52	272,18	

ANEXO 2 – Planilha para cálculo dos custos do sistema de iluminação.

ILUMINAÇÃO - EX ANTE								
CUSTOS DIRETOS - EX ANTE								
MATERIAIS E EQUIPAMENTOS				ORIGEM DOS RECURSOS				
Materiais e equipamentos		Vida útil	Quantidade	Valor unitário	PEE	Terceiros	Consumidor	Total
1	Lâmpada LED tubular 20W	10,00	210	R\$ 17,50	R\$ 3.675,00			R\$ 3.675,00
2	Lâmpada LED bulbo 10W	4,57	26	R\$ 5,90	R\$ 153,40			R\$ 153,40
Materiais e equipamentos					R\$ 3.828,40	R\$ -	R\$ -	R\$ 3.828,40
Mão de obra própria					R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Mão de obra de terceiros		Quantidade	Horas	Valor da hora	PEE	Terceiros	Consumidor	Total
1				R\$ -	R\$ -			R\$ -
Diagnóstico energético e elaboração da proposta de projeto					R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Gestão de projeto					R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Mão de obra de terceiros					R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Transporte					R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Sub total - Custos diretos					R\$ 3.828,40	R\$ -	R\$ -	R\$ 3.828,40
CUSTOS INDIRETOS - EX ANTE								
CUSTOS INDIRETOS				ORIGEM DOS RECURSOS				
Administração própria					R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Marketing					R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Treinamento e capacitação					R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Descarte de materiais		Quantidade	Valor unitário	PEE	Terceiros	Consumidor	Total	
1			R\$ -	R\$ -			R\$ -	
Descarte de materiais					R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Medição e verificação					R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Outros custos indiretos		Quantidade	Valor unitário	PEE	Terceiros	Consumidor	Total	
1			R\$ -	R\$ -			R\$ -	
2			R\$ -	R\$ -			R\$ -	
3			R\$ -	R\$ -			R\$ -	
4			R\$ -	R\$ -			R\$ -	
5			R\$ -	R\$ -			R\$ -	
Auditoria					R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Publicação oficial					R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Outros custos indiretos					R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Sub total - Custos indiretos					R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Custos iluminação - Ex ante					R\$ 3.828,40	R\$ -	R\$ -	R\$ 3.828,40
ILUMINAÇÃO - EX ANTE								
CUSTOS ANUALIZADOS - EX ANTE								
MATERIAIS E EQUIPAMENTOS				ORIGEM DOS RECURSOS				
Materiais e equipamentos		Vida útil	FRC	CA _{PEE}	CA _{TOTAL}			
1	Lâmpada LED tubular 20W	10,00	0,14903	R\$ 547,68	R\$ 547,68			
2	Lâmpada LED bulbo 10W	4,57	0,26999	R\$ 41,42	R\$ 41,42			
Custo anualizado total iluminação - Ex ante				CA _{TILUM}	R\$ 589,10	R\$ 589,10		

ANEXO 3 – Planilha para cálculo da RCB do sistema de iluminação.

CÁLCULO DA RELAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO - EX ANTE						
Cálculo por uso final	EE Energia economizada MWh/ano	RDP Redução de demanda na ponta kW	CA_T PEE Custo anualizado PEE	BA_T Benefício anualizado total	RCB_{PEE} Por uso final PEE	RCB_{PEE} Custos relativos ao PEE
Iluminação	14,33	0,13	R\$ 589,10	R\$ 4.083,70	0,14	0,14
Condicionamento ambiental	0,00	0,00	R\$ -	R\$ -	0,00	
Sistemas motrizes	0,00	0,00	R\$ -	R\$ -	0,00	
Sistemas de refrigeração	0,00	0,00	R\$ -	R\$ -	0,00	
Aquecimento solar de água	0,00	0,00	R\$ -	R\$ -	0,00	
Equipamentos hospitalares	0,00	0,00	R\$ -	R\$ -	0,00	
Outros usos finais	0,00	0,00	R\$ -	R\$ -	0,00	
Fontes incentivadas	0,00	0,00	R\$ -	R\$ -	0,00	
Total	14,33	0,13	R\$ 589,10	R\$ 4.083,70	0,14	

Avaliação preliminar do projeto conforme chamada pública	RCB permitido
--	----------------------

ANEXO 4 – Planilha para cálculo dos benefícios da proposta nº1 para o sistema de condicionamento ambiental.

CONDICIONAMENTO AMBIENTAL - SISTEMA ATUAL - EX ANTE				TOTAL	cond 1
					Atual
1	Tipo de equipamento / tecnologia				78.000
2	Potência nominal de refrigeração	BTU/h	pa_i		
3	Coeficiente de eficiência energética	W/W	ca_i	3,00	3,00
4	Quantidade		qa_i	1	1
5	Potência instalada	kW	Pa_i	7,62	7,62
	Fator de utilização		fua_i	0,19	0,19
6	Potência média utilizada	kW	Pua_i	1,45	1,45
	Tempo de utilização do sistema, em um dia	h/dia			8:00
	Dias de utilização do sistema, em um ano	dia/ano			100,00
7	Funcionamento	h/ano	ha_i		800,00
	Horas de utilização em horário de ponta, em um dia	h/dia	$nupa_i$	nup < 3	
	Dias úteis de utilização em horário de ponta, em um mês	dia/mês	nda_i	nd < 22	
	Meses de utilização em horário de ponta, em um ano	mês/ano	nma_i	nm < 12	
	Potência média na ponta	kW	da_i	0,00	0,00
8	Fator de coincidência na ponta		$FCPa_i$		0,00
9	Energia consumida	MWh/ano	Ea_i	1,16	1,16
10	Demanda média na ponta	kW	Da_i	0,00	0,00

CONDICIONAMENTO AMBIENTAL - SISTEMA PROPOSTO - EX ANTE				TOTAL	cond 1
					Manta Reflexiva
11	Tipo de equipamento / tecnologia				78.000
12	Potência nominal de refrigeração	BTU/h	pp_i		
13	Coeficiente de eficiência energética	W/W	cp_i	3,00	3,00
14	Quantidade		qp_i	1	1
15	Potência instalada	kW	Pp_i	7,62	7,62
	Fator de utilização		fup_i	0,18	0,18
16	Potência média utilizada	kW	Pup_i	1,38	1,38
	Tempo de utilização do sistema, em um dia	h/dia			8:00
	Dias de utilização do sistema, em um ano	dia/ano			100,00
17	Funcionamento	h/ano	hp_i		800,00
	Horas de utilização em horário de ponta, em um dia	h/dia	$nupp_i$	nup < 3	0:00
	Dias úteis de utilização em horário de ponta, em um mês	dia/mês	ndp_i	nd < 22	0,00
	Meses de utilização em horário de ponta, em um ano	mês/ano	nmp_i	nm < 12	0,00
	Potência média na ponta	kW	dp_i	0,00	0,00
18	Fator de coincidência na ponta		$FCPp_i$		0,00
19	Energia consumida	MWh/ano	Ep_i	1,10	1,10
20	Demanda média na ponta	kW	Dp_i	0,00	0,00

CONDICIONAMENTO AMBIENTAL - RESULTADOS ESPERADOS - EX ANTE				TOTAL	cond 1
21	Redução de demanda na ponta	kW	RDP_i	0,00	0,00
22	Custo evitado de demanda (CED)	880,45	%	$RDP_i\%$	0,00%
23	Energia economizada	MWh/ano	EE_i	0,05	0,05
24	Custo da energia evitada (CEE)	277,00	%	$EE_i\%$	4,74%
Benefício anualizado condicionamento ambiental - Ex ante			R\$	B_{COND}	15,19

ANEXO 5 – Planilha para cálculo dos custos da proposta nº1 para o sistema de condicionamento ambiental.

CONDICIONAMENTO AMBIENTAL - EX ANTE							
CUSTOS DIRETOS - EX ANTE							
MATERIAIS E EQUIPAMENTOS				ORIGEM DOS RECURSOS			
Materiais e equipamentos	Vida útil	Quantidade	Valor unitário	PEE	Terceiros	Consumidor	Total
1 Manta refletiva aluminizada	30,00	1	R\$ 399,90	R\$ 399,90			R\$ 399,90
Materiais e equipamentos				R\$ 399,90	R\$ -	R\$ -	R\$ 399,90
Mão de obra própria				R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Mão de obra de terceiros	Quantidade	Horas	Valor da hora	PEE	Terceiros	Consumidor	Total
1			R\$ -	R\$ -			R\$ -
Diagnóstico energético e elaboração da proposta de projeto				R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Gestão de projeto				R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Mão de obra de terceiros				R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Transporte				R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Sub total - Custos diretos				R\$ 399,90	R\$ -	R\$ -	R\$ 399,90
CUSTOS INDIRETOS - EX ANTE							
CUSTOS INDIRETOS				ORIGEM DOS RECURSOS			
Administração própria				R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Marketing				R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Treinamento e capacitação				R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Descarte de materiais	Quantidade	Valor unitário	PEE	Terceiros	Consumidor	Total	
1		R\$ -	R\$ -			R\$ -	
Descarte de materiais				R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Medição e verificação				R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Outros custos indiretos	Quantidade	Valor unitário	PEE	Terceiros	Consumidor	Total	
1		R\$ -	R\$ -			R\$ -	
Auditoria				R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Publicação oficial				R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Outros custos indiretos				R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Sub total - Custos indiretos				R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Custos condicionamento ambiental - Ex ante				R\$ 399,90	R\$ -	R\$ -	R\$ 399,90

CONDICIONAMENTO AMBIENTAL - EX ANTE							
CUSTOS ANUALIZADOS - EX ANTE							
MATERIAIS E EQUIPAMENTOS				ORIGEM DOS RECURSOS			
Materiais e equipamentos	Vida útil	FRC	CA _{PEE}	CA _{TOTAL}			
1 Manta refletiva aluminizada	30,00	0,08883	R\$ 35,52	R\$ 35,52			
Custo anualizado total condicionamento ambiental - Ex ante			CA_{TCOND}	R\$ 35,52	R\$ 35,52		

ANEXO 6 –Planilha para cálculo da RCB da proposta nº1 para o sistema de condicionamento ambiental.

CÁLCULO DA RELAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO - EX ANTE						
Cálculo por uso final	EE Energia economizada MWh/ano	RDP Redução de demanda na ponta kW	CA _T PEE Custo anualizado PEE	BA _T Benefício anualizado total	RCB _{PEE} Por uso final PEE	RCB _{PEE} Custos relativos ao PEE
Iluminação	0,00	0,00	R\$ -	R\$ -	0,00	2,34
Condicionamento ambiental	0,05	0,00	R\$ 35,52	R\$ 15,19	2,34	
Sistemas motrizes	0,00	0,00	R\$ -	R\$ -	0,00	
Sistemas de refrigeração	0,00	0,00	R\$ -	R\$ -	0,00	
Aquecimento solar de água	0,00	0,00	R\$ -	R\$ -	0,00	
Equipamentos hospitalares	0,00	0,00	R\$ -	R\$ -	0,00	
Outros usos finais	0,00	0,00	R\$ -	R\$ -	0,00	
Fontes incentivadas	0,00	0,00	R\$ -	R\$ -	0,00	
Total	0,05	0,00	R\$ 35,52	R\$ 15,19	2,34	

Avaliação preliminar do projeto conforme chamada pública	RCB não permitido
--	--------------------------

ANEXO 7 – Planilha para cálculo dos benefícios da proposta nº2 para o sistema de condicionamento ambiental.

CONDICIONAMENTO AMBIENTAL - SISTEMA ATUAL - EX ANTE				TOTAL	cond 1
1	Tipo de equipamento / tecnologia				Atual
2	Potência nominal de refrigeração	BTU/h	pa_i		78.000
3	Coeficiente de eficiência energética	W/W	ca_i	3,00	3,00
4	Quantidade		qa_i	1	1
5	Potência instalada	kW	Pa_i	7,62	7,62
	Fator de utilização		fua_i	0,19	0,19
6	Potência média utilizada	kW	Pua_i	1,45	1,45
	Tempo de utilização do sistema, em um dia	h/dia			8:00
	Dias de utilização do sistema, em um ano	dia/ano			100,00
7	Funcionamento	h/ano	ha_i		800,00
	Horas de utilização em horário de ponta, em um dia	h/dia	$nupa_i$	nup < 3	
	Dias úteis de utilização em horário de ponta, em um mês	dia/mês	nda_i	nd < 22	
	Meses de utilização em horário de ponta, em um ano	mês/ano	nma_i	nm < 12	
	Potência média na ponta	kW	da_i	0,00	0,00
8	Fator de coincidência na ponta		$FCPa_i$		0,00
9	Energia consumida	MWh/ano	Ea_i	1,16	1,16
10	Demanda média na ponta	kW	Da_i	0,00	0,00

CONDICIONAMENTO AMBIENTAL - SISTEMA PROPOSTO - EX ANTE				TOTAL	cond 1
11	Tipo de equipamento / tecnologia				Telhado Branco
12	Potência nominal de refrigeração	BTU/h	pp_i		78.000
13	Coeficiente de eficiência energética	W/W	cp_i	3,00	3,00
14	Quantidade		qp_i	1	1
15	Potência instalada	kW	Pp_i	7,62	7,62
	Fator de utilização		fup_i	0,17	0,17
16	Potência média utilizada	kW	Pup_i	1,32	1,32
	Tempo de utilização do sistema, em um dia	h/dia			8:00
	Dias de utilização do sistema, em um ano	dia/ano			100,00
17	Funcionamento	h/ano	hp_i		800,00
	Horas de utilização em horário de ponta, em um dia	h/dia	$nupp_i$	nup < 3	0,00
	Dias úteis de utilização em horário de ponta, em um mês	dia/mês	ndp_i	nd < 22	0,00
	Meses de utilização em horário de ponta, em um ano	mês/ano	nmp_i	nm < 12	0,00
	Potência média na ponta	kW	dp_i	0,00	0,00
18	Fator de coincidência na ponta		$FCPp_i$		0,00
19	Energia consumida	MWh/ano	Ep_i	1,05	1,05
20	Demanda média na ponta	kW	Dp_i	0,00	0,00

CONDICIONAMENTO AMBIENTAL - RESULTADOS ESPERADOS - EX ANTE				TOTAL	cond 1
21	Redução de demanda na ponta	kW	RDP_i	0,00	0,00
22	Custo evitado de demanda (CED)	880,45	% $RDP_i\%$	0,00%	0,00%
23	Energia economizada	MWh/ano	EE_i	0,10	0,10
24	Custo da energia evitada (CEE)	277,00	% $EE_i\%$	8,95%	8,95%
Benefício anualizado condicionamento ambiental - Ex ante			R\$ B_{COND}	28,70	28,70

ANEXO 8 – Planilha para cálculo dos custos da proposta nº2 para o sistema de condicionamento ambiental.

CONDICIONAMENTO AMBIENTAL - EX ANTE							
CUSTOS DIRETOS - EX ANTE							
MATERIAIS E EQUIPAMENTOS				ORIGEM DOS RECURSOS			
Materiais e equipamentos	Vida útil	Quantidade	Valor unitário	PEE	Terceiros	Consumidor	Total
1 Tinta Acrílica Branca 20L	5,00	3	R\$ 269,90	R\$ 674,75			R\$ 674,75
2			R\$ -	R\$ -			R\$ -
3			R\$ -	R\$ -			R\$ -
Materiais e equipamentos				R\$ 674,75	R\$ -	R\$ -	R\$ 674,75
Mão de obra própria				R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Mão de obra de terceiros	Quantidade	Horas	Valor da hora	PEE	Terceiros	Consumidor	Total
1			R\$ -	R\$ -			R\$ -
Diagnóstico energético e elaboração da proposta de projeto				R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Gestão de projeto				R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Mão de obra de terceiros				R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Transporte				R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Sub total - Custos diretos				R\$ 674,75	R\$ -	R\$ -	R\$ 674,75
CUSTOS INDIRETOS - EX ANTE							
CUSTOS INDIRETOS				ORIGEM DOS RECURSOS			
Administração própria				R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Marketing				R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Treinamento e capacitação				R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Descarte de materiais	Quantidade	Valor unitário	PEE	Terceiros	Consumidor	Total	
1		R\$ -	R\$ -			R\$ -	
Descarte de materiais				R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Medição e verificação				R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Outros custos indiretos	Quantidade	Valor unitário	PEE	Terceiros	Consumidor	Total	
1		R\$ -	R\$ -			R\$ -	
Auditoria				R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Publicação oficial				R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Outros custos indiretos				R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Sub total - Custos indiretos				R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Custos condicionamento ambiental - Ex ante				R\$ 674,75	R\$ -	R\$ -	R\$ 674,75
CONDICIONAMENTO AMBIENTAL - EX ANTE							
CUSTOS ANUALIZADOS - EX ANTE							
MATERIAIS E EQUIPAMENTOS				ORIGEM DOS RECURSOS			
Materiais e equipamentos	Vida útil	FRC	CA _{PEE}	CA _{TOTAL}			
1 Tinta Acrílica Branca 20L	5,00	0,25046	R\$ 169,00	R\$ 169,00			
2		0,00000	R\$ -	R\$ -			
3		0,00000	R\$ -	R\$ -			
Custo anualizado total condicionamento ambiental - Ex ante			CA _{TCOND}	R\$ 169,00	R\$ 169,00		

ANEXO 9 – Planilha para cálculo da RCB da proposta nº2 para o sistema de condicionamento ambiental.

CÁLCULO DA RELAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO - EX ANTE						
Cálculo por uso final	EE Energia economizada MWh/ano	RDP Redução de demanda na ponta kW	CA _T PEE Custo anualizado PEE	BA _T Benefício anualizado total	RCB _{PEE} Por uso final PEE	RCB _{PEE} Custos relativos ao PEE
Iluminação	0,00	0,00	R\$ -	R\$ -	0,00	5,89
Condicionamento ambiental	0,10	0,00	R\$ 169,00	R\$ 28,70	5,89	
Sistemas motrizes	0,00	0,00	R\$ -	R\$ -	0,00	
Sistemas de refrigeração	0,00	0,00	R\$ -	R\$ -	0,00	
Aquecimento solar de água	0,00	0,00	R\$ -	R\$ -	0,00	
Equipamentos hospitalares	0,00	0,00	R\$ -	R\$ -	0,00	
Outros usos finais	0,00	0,00	R\$ -	R\$ -	0,00	
Fontes incentivadas	0,00	0,00	R\$ -	R\$ -	0,00	
Total	0,10	0,00	R\$ 169,00	R\$ 28,70	5,89	

Avaliação preliminar do projeto conforme chamada pública	RCB não permitido
--	--------------------------

ANEXO 10 – Planilha para cálculo dos benefícios da proposta nº3 para o sistema de condicionamento ambiental.

CONDICIONAMENTO AMBIENTAL - SISTEMA ATUAL - EX ANTE				TOTAL	cond 1
1	Tipo de equipamento / tecnologia				Atual
2	Potência nominal de refrigeração	BTU/h	pa_i		78.000
3	Coeficiente de eficiência energética	W/W	ca_i	3,00	3,00
4	Quantidade		qa_i	1	1
5	Potência instalada	kW	Pa_i	7,62	7,62
	Fator de utilização		fua_i	0,19	0,19
6	Potência média utilizada	kW	Pua_i	1,45	1,45
	Tempo de utilização do sistema, em um dia	h/dia			8:00
	Dias de utilização do sistema, em um ano	dia/ano			100,00
7	Funcionamento	h/ano	ha_i		800,00
	Horas de utilização em horário de ponta, em um dia	h/dia	$nupa_i$	nup < 3	
	Dias úteis de utilização em horário de ponta, em um mês	dia/mês	nda_i	nd < 22	
	Meses de utilização em horário de ponta, em um ano	mês/ano	nma_i	nm < 12	
	Potência média na ponta	kW	da_i	0,00	0,00
8	Fator de coincidência na ponta		$FCPa_i$		0,00
9	Energia consumida	MWh/ano	Ea_i	1,16	1,16
10	Demanda média na ponta	kW	Da_i	0,00	0,00

CONDICIONAMENTO AMBIENTAL - SISTEMA PROPOSTO - EX ANTE				TOTAL	cond 1
11	Tipo de equipamento / tecnologia				Lã Rocha
12	Potência nominal de refrigeração	BTU/h	pp_i		78.000
13	Coeficiente de eficiência energética	W/W	cp_i	3,00	3,00
14	Quantidade		qp_i	1	1
15	Potência instalada	kW	Pp_i	7,62	7,62
	Fator de utilização		fup_i	0,18	0,18
16	Potência média utilizada	kW	Pup_i	1,35	1,35
	Tempo de utilização do sistema, em um dia	h/dia			8:00
	Dias de utilização do sistema, em um ano	dia/ano			100,00
17	Funcionamento	h/ano	hp_i		800,00
	Horas de utilização em horário de ponta, em um dia	h/dia	$nupp_i$	nup < 3	0:00
	Dias úteis de utilização em horário de ponta, em um mês	dia/mês	ndp_i	nd < 22	0,00
	Meses de utilização em horário de ponta, em um ano	mês/ano	nmp_i	nm < 12	0,00
	Potência média na ponta	kW	dp_i	0,00	0,00
18	Fator de coincidência na ponta		$FCPp_i$		0,00
19	Energia consumida	MWh/ano	Ep_i	1,08	1,08
20	Demanda média na ponta	kW	Dp_i	0,00	0,00

CONDICIONAMENTO AMBIENTAL - RESULTADOS ESPERADOS - EX ANTE				TOTAL	cond 1
21	Redução de demanda na ponta	kW	RDP_i	0,00	0,00
22	Custo evitado de demanda (CED)	880,45	%	$RDP_i\%$	0,00%
23	Energia economizada	MWh/ano	EE_i	0,08	0,08
24	Custo da energia evitada (CEE)	277,00	%	$EE_i\%$	6,84%
Benefício anualizado condicionamento ambiental - Ex ante			R\$	B_{COND}	21,95

ANEXO 11 – Planilha para cálculo dos custos da proposta nº3 para o sistema de condicionamento ambiental.

CONDICIONAMENTO AMBIENTAL - EX ANTE								
CUSTOS DIRETOS - EX ANTE								
MATERIAIS E EQUIPAMENTOS				ORIGEM DOS RECURSOS				
Materiais e equipamentos		Vida útil	Quantidade	Valor unitário	PEE	Terceiros	Consumidor	Total
1	Lã de rocha	30,00	70	R\$ 15,67	R\$ 1.095,02			R\$ 1.095,02
2				R\$ -	R\$ -			R\$ -
3				R\$ -	R\$ -			R\$ -
Materiais e equipamentos					R\$ 1.095,02	R\$ -	R\$ -	R\$ 1.095,02
Mão de obra própria					R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Mão de obra de terceiros		Quantidade	Horas	Valor da hora	PEE	Terceiros	Consumidor	Total
1				R\$ -	R\$ -			R\$ -
Diagnóstico energético e elaboração da proposta de projeto					R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Gestão de projeto					R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Mão de obra de terceiros					R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Transporte					R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Sub total - Custos diretos					R\$ 1.095,02	R\$ -	R\$ -	R\$ 1.095,02
CUSTOS INDIRETOS - EX ANTE								
CUSTOS INDIRETOS				ORIGEM DOS RECURSOS				
Administração própria					R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Marketing					R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Treinamento e capacitação					R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Descarte de materiais		Quantidade	Valor unitário	PEE	Terceiros	Consumidor	Total	
1			R\$ -	R\$ -			R\$ -	
Descarte de materiais					R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Medição e verificação					R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Outros custos indiretos		Quantidade	Valor unitário	PEE	Terceiros	Consumidor	Total	
1			R\$ -	R\$ -			R\$ -	
Auditoria					R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Publicação oficial					R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Outros custos indiretos					R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Sub total - Custos indiretos					R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Custos condicionamento ambiental - Ex ante					R\$ 1.095,02	R\$ -	R\$ -	R\$ 1.095,02
CONDICIONAMENTO AMBIENTAL - EX ANTE								
CUSTOS ANUALIZADOS - EX ANTE								
MATERIAIS E EQUIPAMENTOS				ORIGEM DOS RECURSOS				
Materiais e equipamentos		Vida útil	FRC	CA _{PEE}		CA _{TOTAL}		
1	Lã de rocha	30,00	0,08883	R\$ 97,27	R\$ 97,27	R\$ 97,27	R\$ 97,27	
2			0,00000	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	
3			0,00000	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	
Custo anualizado total condicionamento ambiental - Ex ante				CA _{T COND}	R\$ 97,27	R\$ 97,27	R\$ 97,27	

ANEXO 12 – Planilha para cálculo da RCB da proposta nº3 para o sistema de condicionamento ambiental.

CÁLCULO DA RELAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO - EX ANTE						
Cálculo por uso final	EE Energia economizada MWh/ano	RDP Redução de demanda na ponta kW	CA _T PEE Custo anualizado PEE	BA _T Benefício anualizado total	RCB _{PEE} Por uso final PEE	RCB _{PEE} Custos relativos ao PEE
Iluminação	0,00	0,00	R\$ -	R\$ -	0,00	4,43
Condicionamento ambiental	0,08	0,00	R\$ 97,27	R\$ 21,95	4,43	
Sistemas motrizes	0,00	0,00	R\$ -	R\$ -	0,00	
Sistemas de refrigeração	0,00	0,00	R\$ -	R\$ -	0,00	
Aquecimento solar de água	0,00	0,00	R\$ -	R\$ -	0,00	
Equipamentos hospitalares	0,00	0,00	R\$ -	R\$ -	0,00	
Outros usos finais	0,00	0,00	R\$ -	R\$ -	0,00	
Fontes incentivadas	0,00	0,00	R\$ -	R\$ -	0,00	
Total	0,08	0,00	R\$ 97,27	R\$ 21,95	4,43	

Avaliação preliminar do projeto conforme chamada pública	RCB não permitido
--	--------------------------