



Universidade de Brasília - UnB

**Metodologia para a Análise de Eficiência
Energética de um Estabelecimento
Hospitalar com Aplicação de Geração
Distribuída Fotovoltaica**

Vinícius Fernandes Valadares

Brasília, fevereiro de 2023

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
Graduação em Engenharia Elétrica

Vinícius Fernandes Valadares

**Metodologia para a Análise de Eficiência Energética de um Estabelecimento
Hospitalar com Aplicação de Geração Distribuída Fotovoltaica**

Orientador(a): Prof. Dr. Fernando Cardoso Melo

Projeto apresentado para o Departamento de Energia Elétrica da Universidade de Brasília como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

**Brasília
2023**

Ficha Catalográfica

Fernandes Valadares, Vinícius

Metodologia para a Análise de Eficiência Energética de um Estabelecimento Hospitalar com Aplicação de Geração Distribuída Fotovoltaica. / Vinícius Fernandes Valadares; orientador Fernando Cardoso Melo. – Brasília, 2023. 66 p.

Monografia (Graduação - Engenharia Elétrica) - - Universidade de Brasília, 2023.

1. Eficiência Energética. 2. Estabelecimento hospitalar. 3. Geração distribuída. 4. Fotovoltaica. 5. Desempenho energético 6. Energia elétrica. 7. Gestão de energia.

Resumo

A eficiência energética começou a ser levada em consideração a partir das crises do petróleo da década de 1970, surgindo mundialmente a preocupação com o aumento da demanda de energia. Dessa forma, este trabalho apresenta formas de reduzir o consumo de energia elétrica em estabelecimentos hospitalares através de ações de eficiência energética. Para isso, uma metodologia de eficiência energética foi desenvolvida de modo a ajudar os gestores desses locais a otimizar o uso de energia elétrica, propondo o estudo de principais cargas demandantes de energia e a viabilidade de implementação de geração distribuída fotovoltaica. Um estudo de caso foi realizado para um estabelecimento hospitalar de modo a avaliar a viabilidade das ações sugeridas, com resultados satisfatórios e um retorno de investimento dentro da vida útil dos equipamentos. Assim, foi visto que ações relacionadas às cargas de iluminação e do sistema de condicionamento de ar se demonstram mais eficazes na redução do consumo total visto que são as principais demandantes de energia elétrica em um estabelecimento assistencial de saúde. Ademais, são analisadas maneiras de aprimoramento contínuo da eficiência energética com base nas normas NBR 16819:2020, NBR ISO 50001:2001 e NBR 13534:2008, tendo em vista a necessidade de uso eficiente de energia elétrica para garantir o funcionamento pleno de hospitais.

Palavras-chave: eficiência energética, hospital, energia renovável, energia elétrica.

Abstract

Energy efficiency began to be taken into consideration after the oil crises of the 1970s, with worldwide concern about the increase in energy demand. Thus, this paper presents ways to reduce electricity consumption in hospitals through energy efficiency actions. For this, an energy efficiency methodology was developed to help the managers of these places to optimize the use of electricity, proposing the study of the main energy-demanding loads and the feasibility of implementing distributed photovoltaic generation. A case study was carried out of a hospital establishment in order to evaluate the viability of the suggested actions, with satisfactory results and a return on investment within the useful life of the equipment. Thus, it was seen that actions related to lighting loads and the air conditioning system prove to be more effective in reducing total consumption since they are the main energy demanders in a healthcare facility. Furthermore, ways to continuously improve energy efficiency are analyzed based on standards NBR 16819:2020, NBR ISO 50001:2001 and NBR 13534:2008, considering the need for efficient use of electricity to ensure the full operation of hospitals.

Keywords: energy efficiency, hospital, renewable energy, electric energy.

Dedicatória

Aos meus pais, Valéria e Emerson, ao meu irmão, Víctor, e à minha namorada, Dani, sou grato por todo amor, incentivo e ajuda durante o período de minha graduação e execução deste trabalho.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a Deus por me guiar e me dar forças para finalizar este trabalho de conclusão de curso. Acredito que foi através de sua orientação e bênçãos que consegui superar os desafios e alcançar este objetivo.

Aos meus pais, Valéria e Emerson, e meu irmão, Víctor, agradeço por todo o amor, apoio e incentivo que me deram ao longo dos anos. Eles foram minha base, sempre acreditando em mim e me incentivando a alcançar meus sonhos.

A minha namorada, Dani, também merece um agradecimento especial, agradeço por toda a compreensão, paciência e amor que me ofereceu durante este processo. Ela foi uma fonte constante de inspiração e motivação para mim, visto que me acompanhou por todos os momentos de felicidade e desafios durante minha trajetória acadêmica.

Em seguida, aos meus amigos, Bruno, Xamps, Bianchi, Laritcha e Karicacifei, que também são importantes na minha vida, gostaria de agradecer a eles por toda a amizade, confiança e apoio que sempre me deram.

Aos meus colegas de faculdade, Luquinhas, Anne, Thiaguinho, Gustavo, Railson, Li, Thiagão e Xulinha, obrigado por toda a colaboração e aprendizado que tivemos juntos.

Gostaria de agradecer à ENETEC, que me permitiu desenvolver minhas habilidades profissionais e me preparou para os desafios da vida real, e colegas de empresa, Helenística, Rafele, Najulia, Paolitchas e Rafa, por terem me acompanhado nessa jornada.

Por fim, sou grato ao meu orientador Prof. Dr. Fernando Cardoso Melo pelo apoio técnico prestado durante o desenvolvimento deste trabalho.

Lista de Figuras

| | | |
|----|---|----|
| 1 | Composição setorial de eletricidade no Brasil. | 8 |
| 2 | Consumo de energia pelo setor comercial no Brasil. | 9 |
| 3 | Representação do selo PROCEL. | 14 |
| 4 | Energia elétrica consumida em hospitais. | 16 |
| 5 | Investimento em eficiência energética considerando o uso final do consumo de energia. | 17 |
| 6 | Componentes principais de um ar-condicionado. | 18 |
| 7 | Exemplificação de redundâncias com recurso reserva e ligação em paralelo, respectivamente. | 21 |
| 8 | Curva de custo da confiabilidade. | 21 |
| 9 | Eficiência energética e sistema de gestão de cargas. | 24 |
| 10 | Exemplo de consumo de um hospital entre os anos de 2019 e 2020. | 26 |
| 11 | Consumo de motores do sistema de HVAC do local. | 27 |
| 12 | Exemplo de simulação de troca de motores pelo <i>SEE+</i> | 31 |
| 13 | Irradiação solar no plano inclinado com localização no HUB. | 32 |
| 14 | Fluxograma dos métodos a serem realizados no trabalho a partir dos materiais utilizados. | 33 |
| 15 | Comparação de consumo e análise de retorno financeiro da ação de eficiência energética para a iluminação. | 39 |
| 16 | Comparação de consumo e análise de retorno financeiro da ação de eficiência energética para a troca de motores de HVAC. | 41 |
| 17 | Dimensionamento do sistema fotovoltaico utilizando o SAM. | 43 |
| 18 | Gráfico de geração mensal da usina fotovoltaica dimensionada pelo SAM. | 43 |
| 19 | <i>Layout</i> básico do sistema fotovoltaico dimensionado. | 44 |
| 20 | Comparação de consumo e análise de retorno financeiro da ação de eficiência energética para geração distribuída. | 45 |
| 21 | Exemplificação de um dispositivo de medição de energia, tensão e corrente elétrica. | 46 |
| 22 | Comparação da influência das ações de eficiência energética no consumo final. | 49 |
| 23 | Gráfico ilustrativo do período de <i>payback</i> simples acumulado. | 50 |

Lista de Tabelas

| | | |
|----|--|----|
| 1 | Especificação de motores do sistema de HVAC do local. | 27 |
| 2 | Carga de iluminação do local. | 28 |
| 3 | Perfil das medições de eficiência energética. | 29 |
| 4 | Níveis de desempenho de eficiência energética. | 29 |
| 5 | Considerações da avaliação da instalação elétrica atual. | 30 |
| 6 | Lâmpadas LED a serem utilizadas na substituição. | 38 |
| 7 | Consumo anual de iluminação antes e depois da ação de eficiência energética. . . | 39 |
| 8 | Resultado da simulação de troca de motores no <i>software</i> See+. | 40 |
| 9 | Características técnicas dos módulos fotovoltaicos selecionados. | 42 |
| 10 | Características técnicas dos inversores fotovoltaicos selecionados. | 42 |
| 11 | Sugestões de mudança para a melhoria da eficiência energética do estabelecimento hospitalar estudado e pontuação total obtida. | 47 |
| 12 | Perfil das medições de eficiência energética. A cor laranja representa a pontuação antes e a cor verde depois das ações de eficiência energética. | 48 |
| 13 | Níveis de desempenho de eficiência energética. A cor laranja representa a pontuação antes e a cor verde depois das ações de eficiência energética. | 48 |

Sumário

| | |
|--|----|
| 1 Introdução | 7 |
| 1.1 Motivação | 7 |
| 1.2 Justificativa | 8 |
| 1.3 Objetivos | 9 |
| 1.4 Estrutura do trabalho | 10 |
| 2 Revisão Bibliográfica | 11 |
| 2.1 Definição de eficiência energética | 11 |
| 2.2 Cenário global | 11 |
| 2.3 Cenário nacional | 12 |
| 2.3.1 Plano Nacional de Energia Elétrica (PNE 2030) | 12 |
| 2.3.2 Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf) | 13 |
| 2.3.3 Incentivo à eficiência energética | 15 |
| 2.4 Ações de eficiência energética em instalações hospitalares | 15 |
| 2.4.1 Uso de energia elétrica | 16 |
| 2.4.2 Geração distribuída fotovoltaica | 19 |
| 2.4.3 Nível de confiabilidade da rede elétrica | 20 |
| 2.5 Normas vigentes | 22 |
| 2.5.1 NBR ISO 50001:2001 | 22 |
| 2.5.2 NBR 13534:2008 | 22 |
| 2.5.3 NBR 16819:2020 | 23 |
| 2.6 Considerações finais | 24 |
| 3 Materiais e Métodos | 26 |
| 3.1 Materiais utilizados | 26 |
| 3.1.1 Consumo típico de um hospital | 26 |
| 3.1.2 Levantamento de carga | 26 |
| 3.1.3 Avaliação da instalação atual | 28 |
| 3.1.4 <i>Software</i> utilizados | 30 |
| 3.1.5 Dados para geração distribuída | 31 |

| | |
|--|-----------|
| 3.2 Métodos de eficiência energética | 32 |
| 3.2.1 Planejamento energético | 34 |
| 3.2.2 Iluminação | 34 |
| 3.2.3 Condicionamento de ar | 35 |
| 3.2.4 Geração distribuída fotovoltaica | 36 |
| 3.2.5 Avaliação final da instalação elétrica | 36 |
| 3.2.6 Monitoramento contínuo da instalação | 37 |
| 3.3 Considerações finais | 37 |
| 4 Discussão dos Resultados | 38 |
| 4.1 Análise de consumo | 38 |
| 4.2 Ações de eficiência energética | 38 |
| 4.2.1 Troca da iluminação | 38 |
| 4.2.2 Troca de motores de HVAC | 40 |
| 4.2.3 Geração distribuída | 41 |
| 4.2.4 Plano de manutenção da eficiência energética | 45 |
| 4.3 Análise final da instalação | 47 |
| 4.4 Efetividade das ações propostas | 49 |
| 4.5 Considerações finais | 50 |
| 5 Conclusão | 52 |
| 5.1 Sugestão para trabalhos futuros | 52 |
| Referências | 53 |
| A Apêndice - Relatório fornecido pelo SAM | 55 |
| B Requisitos do Anexo B da NBR 16819:2020 | 58 |

1 Introdução

O contexto da eficiência energética entrou à tona com as crises do petróleo de 1973-1974 e 1979-1981, trazendo a percepção da carência desse recurso para a projeção do aumento da demanda energética. Isso fez com que fossem buscadas diversas alternativas de diversificar a matriz energética e, principalmente, ações de conservação e melhor uso de energia (MME, 2021).

Além disso, destaca-se a 27^a sessão da Conferência do Clima das Nações Unidas, também denominada como COP 27, que reuniu representantes oficiais de vários países com o intuito de discutir sobre formas de combater as mudanças climáticas. Nesse encontro, o objetivo final foi planejar a implementação das promessas feitas anteriormente com o Acordo de Paris de modo a mitigar as emissões de gases do efeito estufa que influenciam nas mudanças climáticas. Assim, espera-se que sejam utilizadas novas tecnologias de geração de energia renovável, implementando ações de eficiência energética com mudança de equipamentos por mais eficientes ou práticas de gestão de energia (ONU, 2022a).

Ademais, com o advento da guerra na Ucrânia, a Organização das Nações Unidas (ONU) busca atitudes emergenciais sobre política energética devido à volatilidade dos preços da energia, associando a necessidade de urgência de desenvolvimento sustentável a longo prazo, ocasionando em uma crise que impacta diretamente pessoas em condições vulneráveis com renda familiar limitada, baixa qualidade de fornecimento energético, entre outros. Dessa forma, para lidar com emergências de curto prazo são realizadas políticas de eficiência energética e reduções de demanda de energia em que, para médio e longo prazo, a matriz energética mundial deve ser fortalecida e diversificada com a utilização de fontes renováveis de energia (ONU, 2022b).

Outrossim, segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), fontes de energia renovável correspondem à 2% da matriz energética mundial, inferindo que boa parte das fontes de energia não são renováveis. Assim, surge o movimento de descarbonização do meio ambiente para reduzir a emissão de carbono na atmosfera que está sendo incentivada na Europa com objetivos e políticas de regulamentação. A estratégia europeia é certificar o compromisso, a partir da Lei Climática de junho de 2021, de neutralizar a emissão de carbono até 2050, além de aumentar a meta de redução para 2030 de 40% para 50% (GIELEN et al., 2019).

1.1 Motivação

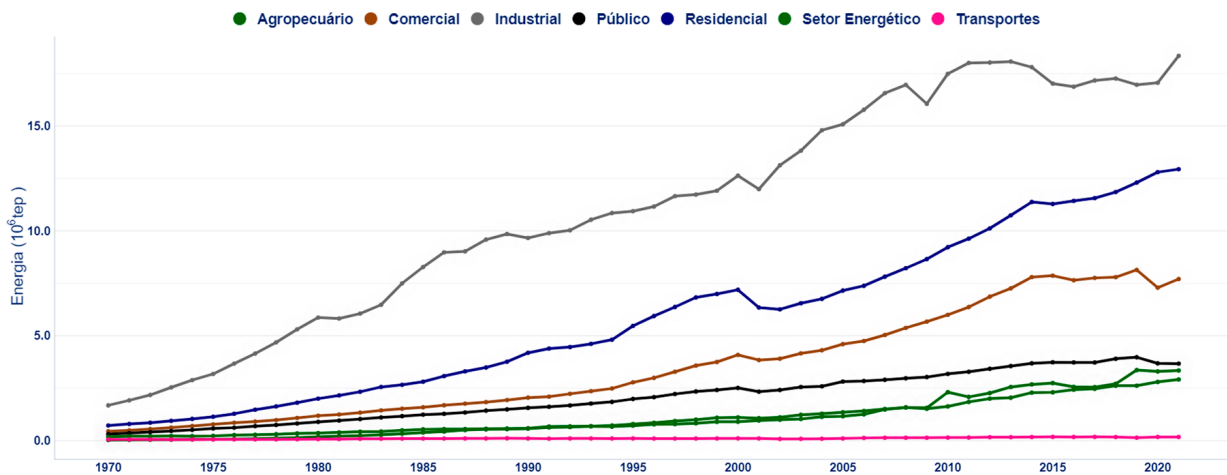
Como a demanda energética dos estabelecimentos tende a aumentar com o passar dos anos e reconhecendo a importância de se manter um funcionamento elétrico pleno em hospitais, motiva-se realizar um projeto que auxilie instituições hospitalares a promoverem a eficiência energética, visto que as cargas pertencentes às suas instalações elétricas operam durante longos períodos do dia, sendo consideradas cargas críticas. Para isso, buscam-se estímulos que o mundo utiliza para o incentivo de ser energeticamente eficiente.

As mudanças climáticas são causadas pela emissão de gases de efeito estufa que ocasiona

no aumento da temperatura da Terra e, para contornar essa situação, o mundo tem criado políticas de preservação do meio ambiente. A descarbonização do setor elétrico é uma atitude de transição energética da matriz elétrica para alcançar 65% de geração de energia renovável até 2030 e 85% até 2050. Para que isso ocorra, ações de gestão e conservação de energia são levados em consideração, como fomentar o mecanismos de armazenamento de energia (GIELEN et al., 2019).

Assim, a inclusão da eficiência energética no planejamento energético é importante para que seja possível minimizar de maneira significativa danos ao meio ambiente pela geração de energia elétrica. Tendo isso em vista, ao classificar um estabelecimento hospitalar no setor comercial, pode-se perceber pela Figura 1 que é o terceiro setor que demanda mais energia elétrica no Brasil, observando a relevância do estudo energético.

Figura 1: Composição setorial de eletricidade no Brasil.



Fonte:(EPE, 2022a).

1.2 Justificativa

De modo a atender esses pontos levantados anteriormente, este estudo busca externalizar melhorias nas instalações elétricas de edificações hospitalares de modo a diminuir sua demanda por energia de maneira segura e favorável para o meio ambiente.

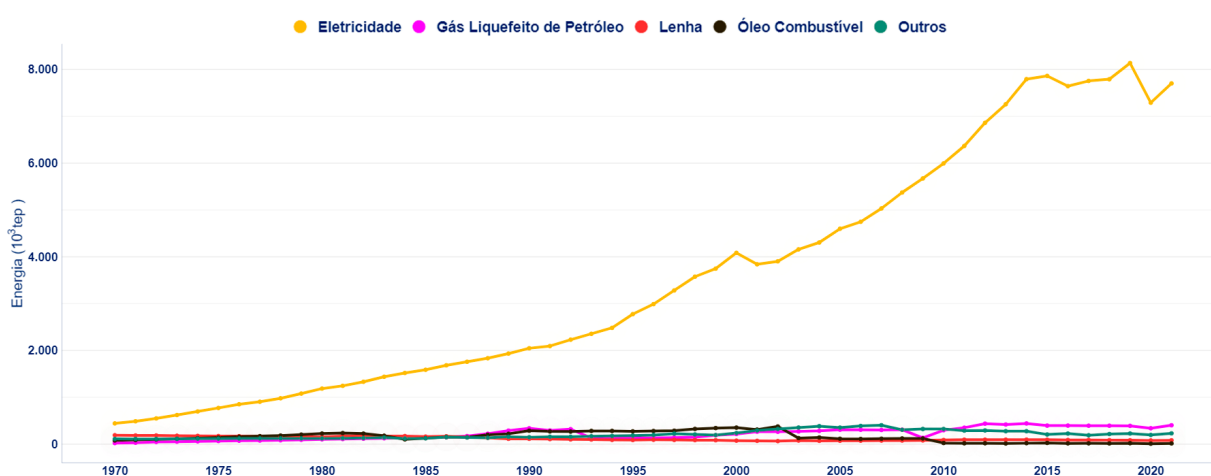
Assim, sabendo que a demanda energética de qualquer estabelecimento tende a aumentar com o passar dos anos, um estabelecimento hospitalar é colocado à prova por ter dificuldade de executar ações de eficiência energética por precisar reduzir o consumo de uma instalação elétrica sem diminuir a qualidade dos serviços prestados pelo edifício aos seus usuários e por se tratar de edificação que apresenta grande quantidade de cargas críticas, as quais requerem elevada confiabilidade no fornecimento de energia.

Por meio de projetos que apresentem a viabilidade econômica e a importância de melhoria da eficiência energética de usos finais de energia, a Agência Nacional de Energia Elétrica

(ANEEL) incentiva o Programa de Eficiência Energética (PEE) para promover o uso eficiente de energia elétrica. Assim, são promovidas transformações do mercado de eficiência energética por estimular o desenvolvimento de novas tecnologias e práticas de uso racional de energia elétrica.

Ademais, pelo gráfico da Figura 2 é possível observar a demanda de consumo de energia pelo setor comercial do Brasil. Infere-se que a demanda por eletricidade tem aumentado significativamente com o passar dos anos em relação ao Gás Liquefeito de Petróleo (GLP), a lenha e ao óleo combustível, demonstrando a necessidade de buscar novas alternativas para a conservação de energia e diversificar a matriz elétrica brasileira com fontes de energia renovável.

Figura 2: Consumo de energia pelo setor comercial no Brasil.



Fonte:(EPE, 2022a).

1.3 Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo geral determinar uma metodologia que apresente ações e práticas que auxiliem um estabelecimento hospitalar a ser energeticamente eficiente, seguindo as normatizações NBR 16819:2020 (Instalações elétricas de baixa tensão - Eficiência energética), NBR ISO 50001:2001 (Sistemas de gestão da energia - Requisitos com orientações para uso) e NBR 13534:2008 (Instalações elétricas de baixa tensão - Requisitos específicos para instalação em estabelecimentos assistenciais de saúde). Para isso, serão utilizados os objetivos específicos:

- Utilizar referências normativas para certificação das propostas;
- Embasar as ações de eficiência energética por meio de estudo de caso;
- Simular um sistema de geração distribuída pelo *software* da NREL *System Advisor Model* (SAM);
- Realizar um guia para gestores de energia em hospitais.

1.4 Estrutura do trabalho

O trabalho está estruturado de forma a apresentar o estudo feito sobre eficiência energética para estabelecimentos hospitalares. Assim, apresenta-se a estrutura do trabalho:

- Introdução;
- Revisão bibliográfica;
- Materiais e métodos;
- Resultados;
- Conclusão;
- Referências;
- Apêndice.

Assim, continua-se para a Revisão Bibliográfica 2.

2 Revisão Bibliográfica

Este capítulo tem como objetivo apresentar o estudo teórico do trabalho. Assim, a partir das informações vistas anteriormente, pode-se explicitar a eficiência energética baseada na conjuntura atual das ações aplicadas em contextos diferentes. Além disso, serão especificadas as instalações elétricas em Estabelecimentos Assistenciais de Saúde (EAS), as normas vigentes no Brasil e detalhamento técnico de métodos que se encaixam no contexto de eficiência energética.

2.1 Definição de eficiência energética

Inicia-se o estudo com a definição de eficiência energética de modo a se obter parâmetros de ações que se caracterizem como um método. Dessa forma, de acordo com a NBR ISO 50001:2011, eficiência energética é dada pela relação quantitativa entre uma saída de desempenho, serviços ou energia e uma entrada de energia, ou seja, entende-se como uma razão mensurável da entrada e saída de energia.

Já a NBR 16819:2020, aborda o conceito de eficiência da energia elétrica como um procedimento sistemático para melhorar a eficiência da utilização dessa energia. Para isso, precisa-se levar em consideração o impacto ambiental e a relação do consumo e preço da tecnologia de geração de eletricidade.

Dessa maneira, entende-se que eficiência energética é dada tanto por uma relação física, razão entre energia de entrada e saída, quanto uma relação econômica, onde a economia de dinheiro se relaciona com o investimento da ação, levando em consideração em ambas o impacto causado no meio ambiente.

2.2 Cenário global

Tendo isso em vista, o mundo tem buscado medidas de redução da emissão de poluentes como os gases do efeito estufa, o que tem influência com o sistema elétrico ao buscar alterar a necessidade da utilização de combustíveis fósseis para fontes de energia limpa. Como isso não seria uma mudança rápida, países europeus estão buscando políticas e metas de redução do consumo de energia nas quais, pelo Protocolo de Quioto, seriam medidas para melhorar o desempenho no setor (CORREIA, 2016).

Essa preocupação mundial com as mudanças climáticas se certifica na Conferência do Clima das Nações Unidas em Glasgow, Escócia - COP26 - onde mais de 200 países se comprometeram pelo Pacto de Glasgow em reduzir o uso de combustíveis fósseis (ENGIE, 2021). Isso gera um incentivo aos países de acelerar a transição da geração de energia para fontes limpas e buscar alternativas para a diminuição do consumo, como no programa *Energy Conservation and Commercialization* (ECO) que tinha como objetivo o crescimento da viabilidade comercial e

desempenho da Índia no setor elétrico, além de promover a utilização de energia limpa e eficiente (MATHUR, 2009).

Destarte, no contexto de economia de energia, estabelecimentos hospitalares podem ter seu consumo reduzido com eficiência energética de suas instalações elétricas. Isso pode ser feito com uma gestão efetiva do sistema de climatização, que é um dos maiores consumidores de energia dentro de um hospital (FRASSANITO, 2022). Essa aplicação foi realizada no estudo de caso de hospitais do norte da Itália, visto que foi obtida uma redução de 5,2% ao mês com um sistema de controle e supervisão nos sistemas de condicionamento de ar (FRASSANITO, 2022).

Ademais, um estudo no hospital da Alexandria, no Egito, averiguou a diminuição do consumo de energia elétrica ao preocupar-se com a iluminação do local. Assim, foi visto que diminuindo a intensidade luminosa dos ambientes estudados há uma diferença significativa no consumo total de energia por ano (RADWAN, 2016).

2.3 Cenário nacional

Partindo para o cenário nacional, o Brasil também possui suas preocupações em relação ao futuro energético. Desse modo, foi criada na década de 2000, a Política Nacional de Conservação e Uso Nacional de Energia, promovendo a regulação da promoção da eficiência energética de máquinas e equipamentos nacionais (ALTOÉ, 2017).

Paralelamente a isso, planos nacionais foram criados para gerenciar e guiar projetos de conservação de energia, como o Plano Nacional de Energia Elétrica (PNE 2030) e o Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf) (MME, 2021).

2.3.1 Plano Nacional de Energia Elétrica (PNE 2030)

O PNE 2030 é um conjunto de estudos que fornecem informações para orientações de políticas energéticas em uma perspectiva integrada dos recursos disponíveis. Dessa forma, tem o objetivo de orientar tendências e evidenciar alternativas de expansão do setor energético do Brasil entre os períodos de 2005 e 2030 (EPE, 2022b).

Com isso, são traçados cenários que apresentam tanto uma análise do desenvolvimento da população brasileira quanto projeções de demanda por energia elétrica pelo país. Além disso, são feitos estudos sobre a evolução do consumo de energia, realizando um planejamento sobre os rumos do setor elétrico.

Dessa maneira, destaca-se a metodologia proposta pelo Ministério de Minas e Energia (MME) para a construção dos cenários. Essa técnica consiste na antecipação de futuros acontecimentos por lidar com incertezas e variáveis como aspectos sociais, econômicos, ambientais, dentre outras. Assim, torna-se uma importante ferramenta para o planejamento energético para visar a prospecção de oferta e demanda de energia.

2.3.2 Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf)

O Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf) surgiu como elaboração futura por parte do Plano Nacional de Energia (PNE 2030), ou seja, parte de um dos estudos realizados para a projeção e melhoria do setor energético brasileiro. Destarte, ele se torna um meio de traçar planos de conservação e aprimoramento da utilização de energia elétrica, reforçando as metas criadas no PNE 2030.

A princípio, o documento expõe a definição de eficiência energética como ações de diversas naturezas que culminam para a redução da energia necessária para atender as demandas da sociedade por serviços de energia (MME, 2021).

Com isso, são levantados dados de projeção do potencial de conservação de energia elétrica, especificando os setores da economia, assim como é apresentado o histórico de leis que promovem o desenvolvimento de projetos de eficiência energética. Percebe-se a distinção das competências dos agentes da legislação e regulamentação da eficiência energética no Brasil, como a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), que possui a finalidade de estudar e pesquisar de modo a contribuir com o planejamento do setor energético.

Ademais, o PNEf destaca estudos de casos para diferentes áreas de atuação, levantando contextos e impactos das ações de eficiência energética para cada uma delas. Dessa maneira, são descritas maneiras de se economizar energia em prédios públicos, iluminação pública, saneamento, dentre outras. Logo, são traçados orientações e dados que comprovam a realização de projetos de eficiência energética que obtiveram êxito na conservação de energia.

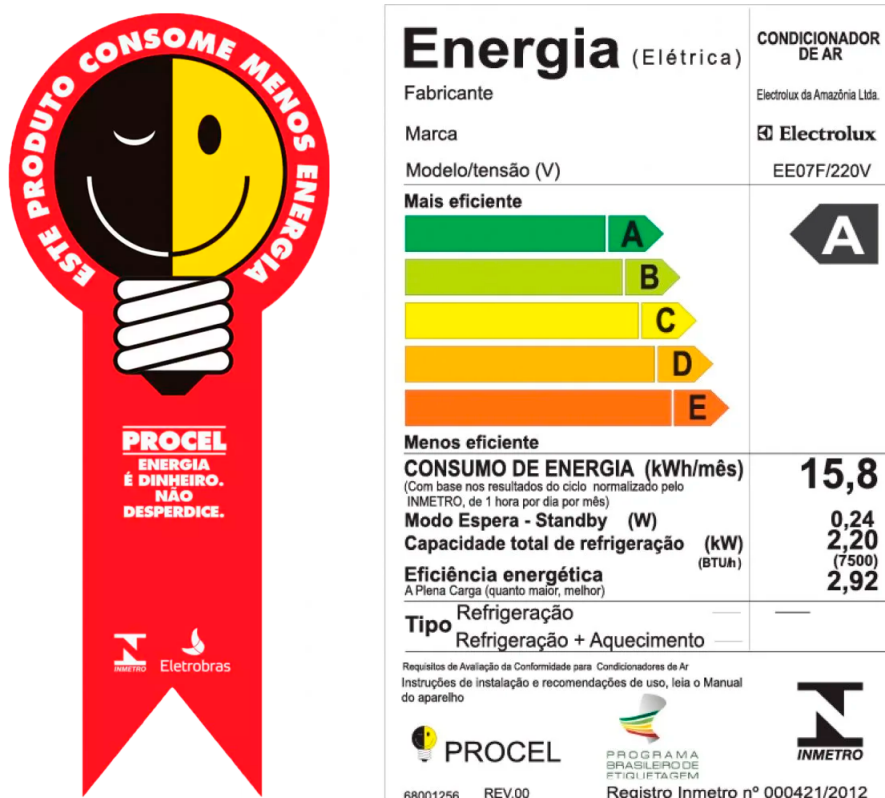
2.3.2.1 Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE)

O Programa Brasileiro de Etiquetagem tem como objetivo apresentar informações sobre o desempenho de funcionamento de produtos, levando em consideração aspectos de eficiência energética, de modo a influenciar os consumidores a realizarem compras de maneira mais consciente (MME, 2021). Com isso, tem-se o estímulo à competitividade do mercado de produzir equipamentos mais eficientes.

Os produtos analisados e regulamentados pelo PBE ainda são feitos de caráter voluntário, ou seja, não são todos os produtos que possuem essa regulamentação. Dessa forma, os incentivos à análise desses produtos se torna uma expectativa de mercado, onde possuir a etiqueta, conforme a representação da Figura 3, entende-se que seu equipamento é mais competitivo em relação aos outros.

De todo modo, para que o programa funcione, o INMETRO recebe a demanda de avaliação preliminar e periodicamente é divulgada uma tabela em que são classificados os produtos de acordo com seu nível de consumo. Com isso, equipamentos são coletados e fiscalizados periodicamente, para que novos índices mínimos de eficiência energética sejam criados e uma reclassificação seja feita com os novos produtos adicionados no mercado.

Figura 3: Representação do selo PROCEL.



Fonte: PROCEL.

2.3.2.2 Sondagem de projetos

Para que seja possível a obtenção de melhores resultados de eficiência energética, são realizadas medições e verificações de projetos seguindo diretrizes propostas pelo Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance (PIMVP). Esse protocolo é utilizado para a avaliação e acompanhamento dos resultados energéticos alcançados, sendo um guia de práticas usuais de medição e cálculos com elaboração de estrutura consistente (MME, 2021).

Assim, segundo o Plano Nacional de Eficiência Energética, a propósito do PIMVP é aumentar os investimentos em eficiência energética e geração de energia renovável em sete aspectos:

- Aumento de economia de energia;
- Redução do custo de financiamento de projetos;
- Incentivo ao aprimoramento de projetos de engenharia;
- Demonstração do impacto ambiental no investimento em eficiência energética e energia renovável;
- Aumento da credibilidade de projetos de gerenciamento de energia;

- Auxílio a organizações a promoverem o impacto positivo ao meio ambiente;
- Fornecimento de metodologias de análise da qualidade dos valores obtidos.

Dessa forma, para que os resultados das avaliações do impacto dos programas de eficiência energética tenham suas qualidades definidas, eles devem possuir um modelo conceitual que expressem adequadamente as relações entre variáveis técnicas e o mercado. Isso é pensado uma vez que a avaliação precisa ser meticulosa com base nos critérios previamente estabelecidos, uma vez que os projetos escolhidos são investidos cerca de 5 a 10% do custo dos programas de eficiência energética (MME, 2021).

2.3.3 Incentivo à eficiência energética

Traçando um panorama do uso de energia elétrica até o ano de 2026, percebe-se que o Brasil possui uma projeção de aumento de consumo total de cerca de 3,7% ao ano (EPE, 2017), o que mostra a necessidade de buscar vias de otimizar a utilização dessa energia.

Como previsto na Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000, as distribuidoras de energia que prestam serviço ao Estado devem destinar um valor equivalente a 0,50% da sua receita operacional líquida para o desenvolvimento e incentivo à eficiência energética em projetos dos consumidores (ANEEL, 2016).

O Brasil possui incentivos públicos para estabelecimentos que se tornam mais eficientes energeticamente pelo Programa de Eficiência Energética (PEE), nas quais a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) incentiva as distribuidoras de energia a abrirem chamadas públicas. O objetivo disso é democratizar e deixar mais transparente o processo de bonificação pelos projetos de eficiência energética de modo a incentivar a participação da sociedade.

Dessa maneira, a ANEEL criou guias para a apresentação de projetos de eficiência energética nas chamadas públicas das distribuidoras, onde apresentam consolidações de conceitos e premissas necessárias para isso. Além disso, são feitas orientações para que sejam melhores aplicadas as práticas de eficiência energética visando o desenvolvimento de projetos de qualidade.

De modo a estabelecer níveis mínimos de eficiência energética a serem atendidos por motores trifásicos, a NBR 17094-1:2018, máquinas elétricas girantes - motores de indução, especifica níveis mínimos de rendimento, nomeados em Índices de Rendimento(IR). Dessa forma, a exigência mínima estabelecida no Brasil seria de motores IR2 e IR3 e, de acordo com a norma, chamados de motores de alto rendimento e rendimento *premium*, respectivamente (SOUZA, 2017).

2.4 Ações de eficiência energética em instalações hospitalares

Após o estudo de como é pensado em eficiência energética no contexto mundial e nacional, especifica-se para o cenário de estabelecimentos hospitalares. Desse modo, é importante

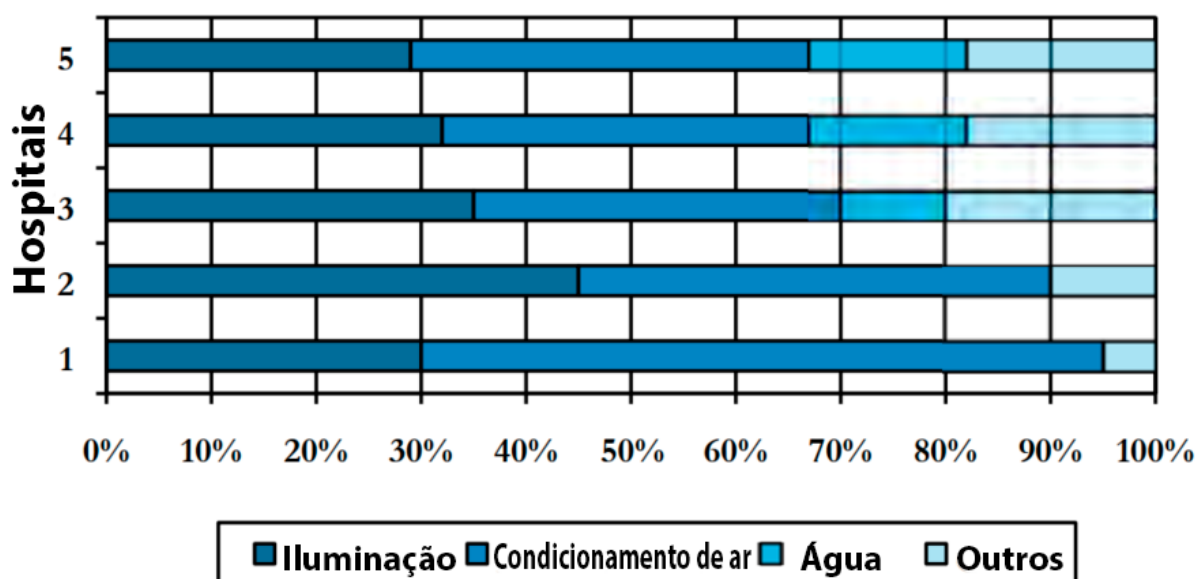
levar em consideração de como é feito o uso da energia elétrica, assim como possíveis alternativas de fornecimento de energia para a caracterização do local como eficiente energeticamente.

2.4.1 Uso de energia elétrica

Um estudo realizado em 2005 pelo PROCEL sobre a caracterização do uso de energia elétrica em hospitais, em que foram estudados cerca de 140 hospitais/clínicas distribuídas pelo Brasil, aproximadamente, 12,2% do custo total das empresas são com energia elétrica. Dentre essa informação, sobre o fornecimento de energia elétrica, 66% são consumidores convencionais, 34% são horossazonais (PROCEL, 2005).

Com isso, em um hospital, a maior parte do consumo de energia é advinda de eletricidade, onde os consumidores majoritários são os equipamentos de resfriamento, iluminação, compressores de ar, bombas d'água e ventiladores, o que pode ser vista na Figura 4. Observa-se a comparação do consumo de cinco hospitais, em que se referem ao consumo, em porcentagem, para cada hospital acerca de iluminação, sistema de condicionamento de ar, bombeamento de água e outras cargas.

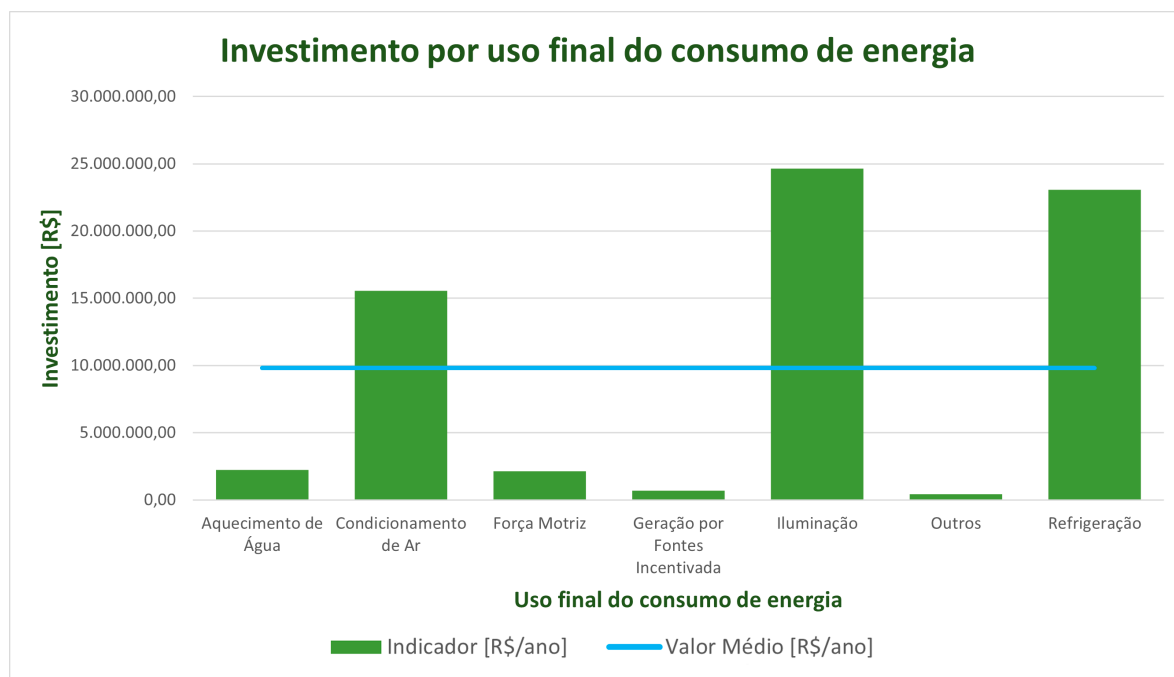
Figura 4: Energia elétrica consumida em hospitais.



Fonte: (MATHUR, 2009)

Da mesma forma, um estudo feito pelo PROCEL sobre a avaliação do mercado de eficiência energética do Brasil mostra que 12,5% do custo operacional total de um setor hospitalar são com energia elétrica, onde condicionadores de ar, iluminação e equipamentos eletromédicos equivalem a 88% desse consumo (PROCEL, 2005). Ademais, conforme visto na Figura 5, percebe-se que os investimentos em eficiência energética se concentram em ações relacionadas a esses usos finais.

Figura 5: Investimento em eficiência energética considerando o uso final do consumo de energia.

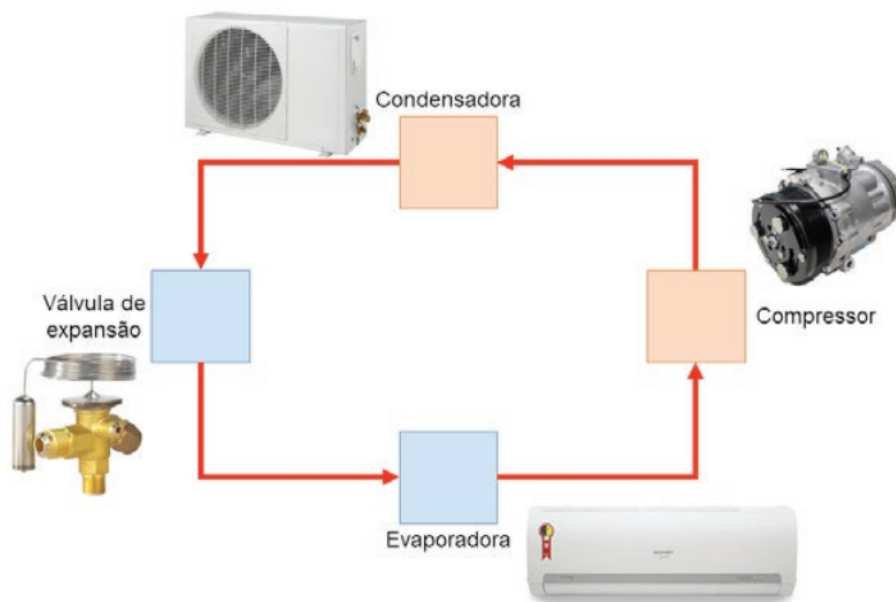


Fonte: (ANEEL, 2022).

2.4.1.1 Condicionamento de ar

Aparelhos de ar-condicionado funcionam de modo a criar de maneira artificial o conforto térmico pela variação de temperatura, retirando o calor interno do ambiente e o libera no ambiente externo. Para isso, eles possuem quatro componentes principais: condensadora (etapa que permite a troca de calor ambiente), evaporadora (componente que captura o calor), compressor de ar (eleva a pressão de modo a levar o ar quente para o condensador), e válvula de expansão (realiza a expansão do ar para a evaporadora) (FRONTIN, 2020). O exemplo de ciclo de funcionamento pode ser observado na Figura 6, em que os quadros vermelhos e azuis representam o estado quente e frio do ar, respectivamente.

Figura 6: Componentes principais de um ar-condicionado.



Fonte: (FRONTIN, 2020).

Com isso, percebe-se que o controle da temperatura, umidade e qualidade do ar por climatização artificial contribui consideravelmente no consumo de energia elétrica em Estabelecimento Assistenciais de Saúde (EAS), visto que essa engenharia se torna indispensável pela necessidade desse controle. Para isso, tanto fatores construtivos do estabelecimento quanto a eficiência do próprio equipamento são levados em consideração por influenciar diretamente na transferência de calor e no desempenho de realizar essa troca de energia.

Assim, para que fosse admitido um fator mínimo de eficiência energética, em 2007 foi criado o parâmetro dito como Coeficiente de Eficiência Energética (CEE) sendo a relação entre a energia térmica na saída pela energia elétrica fornecida (FRONTIN, 2020), no qual o resultado dessa razão fornece um valor a ser classificado por uma determinação do INMETRO de modo a avaliar a eficiência energética do equipamento estudado.

$$CEE = \frac{\text{Capacidade de refrigeração (kW)}}{\text{Potência elétrica fornecida (kW)}} \quad (2.4.1)$$

Os principais equipamentos que realizam o condicionamento de ar são os *split*, *fan-coil* e *Variable Refrigerant Flow* (VRF). O primeiro é o mais comum em residências e é o modelo que possui melhor eficiência entre os demais, possuindo apenas a opção de refrigeração básica. Já o segundo, por possuir uma condensadora geral, chamada de *chiller* que interliga com diversas evaporadoras, *fan-coil*, é utilizado para climatizar grandes ambientes por ter melhor eficiência energética quando o local possui contato com o exterior ou possui muita dissipação de carga térmica. Por fim, a climatização VRF é semelhante ao do *fan-coil*, diferindo no processo de transferência de calor, que é feito por um gás refrigerante presente na válvula de expansão em cada evaporadora. A vantagem de sua utilização está na maior facilidade de controle do sistema

por meio da automação (FRONTIN, 2020).

2.4.1.2 Iluminação

De acordo com a *Illuminating Engineering Society* (IESNA), a qualidade da iluminação precisa se basear em três fatores: na arquitetura local, custo econômico e a necessidade humana, o que leva a analisar as principais grandezas luminotécnicas como fluxo luminoso, intensidade luminosa, iluminância e luminância (VEITCH, 2006).

O fluxo luminoso é dito como a radiação total emitida que possui comprimento de onda entre 380 e 780 nm, sendo medida em lúmen (lm). Além disso, entende-se como intensidade luminosa, o fluxo luminoso irradiado por segundo em uma única direção medido em candela (cd), sendo semelhante à iluminância, diferindo que irradia-se em uma determinada superfície e é medida em lux (lúmen/m²). Por fim, destaca-se a luminância como a intensidade luminosa de uma fonte de luz emitida ou refletida por uma área iluminada (FRONTIN, 2020).

Dessa forma, atente-se que apenas a visibilidade não garante um ótimo dimensionamento da iluminação, precisando que sejam realizados estudos do ambiente que levem em consideração tanto o bem-estar do usuário quanto o seu desempenho energético. Assim, é preciso levar em consideração que o desenvolvimento da tecnologia voltada para aumentar a eficiência no consumo energético tem possibilitado que sejam produzidas lâmpadas com menor gasto de energia com o mesmo fluxo luminoso (FRONTIN, 2020).

2.4.2 Geração distribuída fotovoltaica

Na NBR 16819:2020, destaca-se sobre energia renovável e geração local de energia no ponto 10.2.3.7, que aborda acerca do papel dessa ação para a eficiência energética do local. Assim, mesmo que a instalação de fontes de energia renovável não impliquem no aumento da eficiência energética, elas auxiliam na redução de perdas totais da rede de distribuição por diminuir o consumo entre a edificação e o distribuidor de energia.

A instalação de um sistema fotovoltaico, por exemplo, torna-se uma medida indireta para a eficiência energética. Visto que, uma vez que se é analisada a instalação elétrica na medição de energia, existem meios de ser eficiente energeticamente com a redução de consumo final do estabelecimento.

Energia fotovoltaica é a conversão da luz solar em eletricidade através de células fotovoltaicas, sendo elas feitas de silício e classificadas em monocristalinas e policristalinas. Dessa forma, um sistema fotovoltaico ligado à rede funciona com um grupo que gera a energia advinda da radiação solar e um condicionador de potência, onde o primeiro é o conjunto de módulos fotovoltaicos juntamente com seu cabeamento elétrico e o segundo se trata dos inversores e conversores CC-CC (CRESESB, 2014).

Ademais, o Brasil possui vantagens para o investimento em energia solar por possuir

muita reserva da matéria-prima de fabricação do silício, ter o potencial energético para viabilizar projetos e ter incentivos estatais para a indústria fabricante dos materiais. Assim, a geração fotovoltaica se torna uma importante fonte alternativa energética para o Brasil, por ela ser considerada limpa e renovável (SANTOS, 2013).

Em um estudo realizado no hospital Taleghani no Irã, foi proposto o uso de um sistema híbrido que possui a geração de energia solar fotovoltaica juntamente com um sistema de cogeração. Dessa forma, o tempo de execução para a cogeração suprir a carga demandada foi reduzido com o uso do sistema solar, sendo possível ter uma economia de 55 a 62% de gás natural total que atendia o estabelecimento hospitalar. Isso mostra a efetividade de um sistema fotovoltaico para a melhoria no consumo total de um local de grande demanda energética (MOSTOFI, 2011).

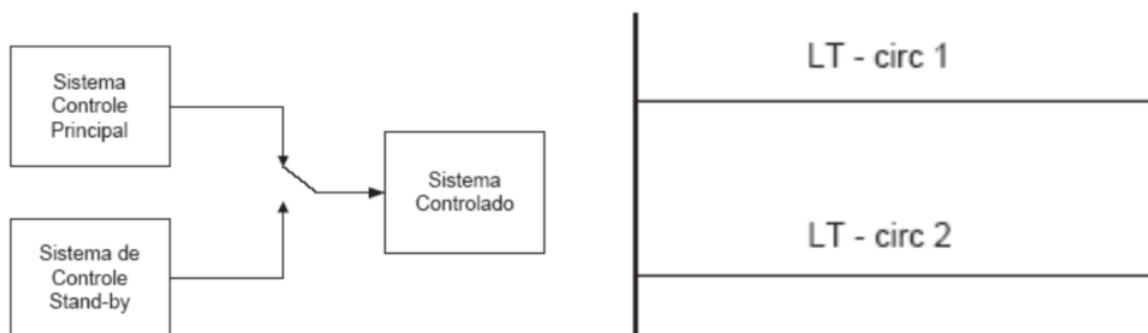
Com isso, como os hospitais são essenciais para a sociedade, busca-se mitigar os danos ao meio ambiente com a utilização de alternativas limpas e sustentáveis em suas instalações elétricas. Dessa maneira, estudos em energia solar fotovoltaica possuem casos bem-sucedidos em EAS visto que, além de preservar recursos naturais, reduz a demanda energética do local (SANTOS, 2013).

2.4.3 Nível de confiabilidade da rede elétrica

A previsão de falhas em um sistema elétrico de potência é muito importante de modo a minimizar danos à instalação e aos usuários. Assim, a confiabilidade em engenharia pode ser definida como a probabilidade de um componente, sistema ou equipamento executar funções previamente definidas durante um tempo determinado (ANDRADE, 2007).

De qualquer forma, a maneira clássica de aumentar a confiabilidade de um sistema é promovendo redundância, dando à rede elétrica recursos de reserva de energia e/ou recursos em paralelo. Entretanto, o incremento de componentes pode aumentar a complexidade do sistema e, por consequência, diminuir a confiabilidade dele. Esse sistema torna-se mais confiável dando complexidade tecnológica, alto grau de automação, eficácia e viabilidade financeira para a execução do projeto. (ANDRADE, 2007). A exemplificação desse sistema pode ser vista na Figura 7.

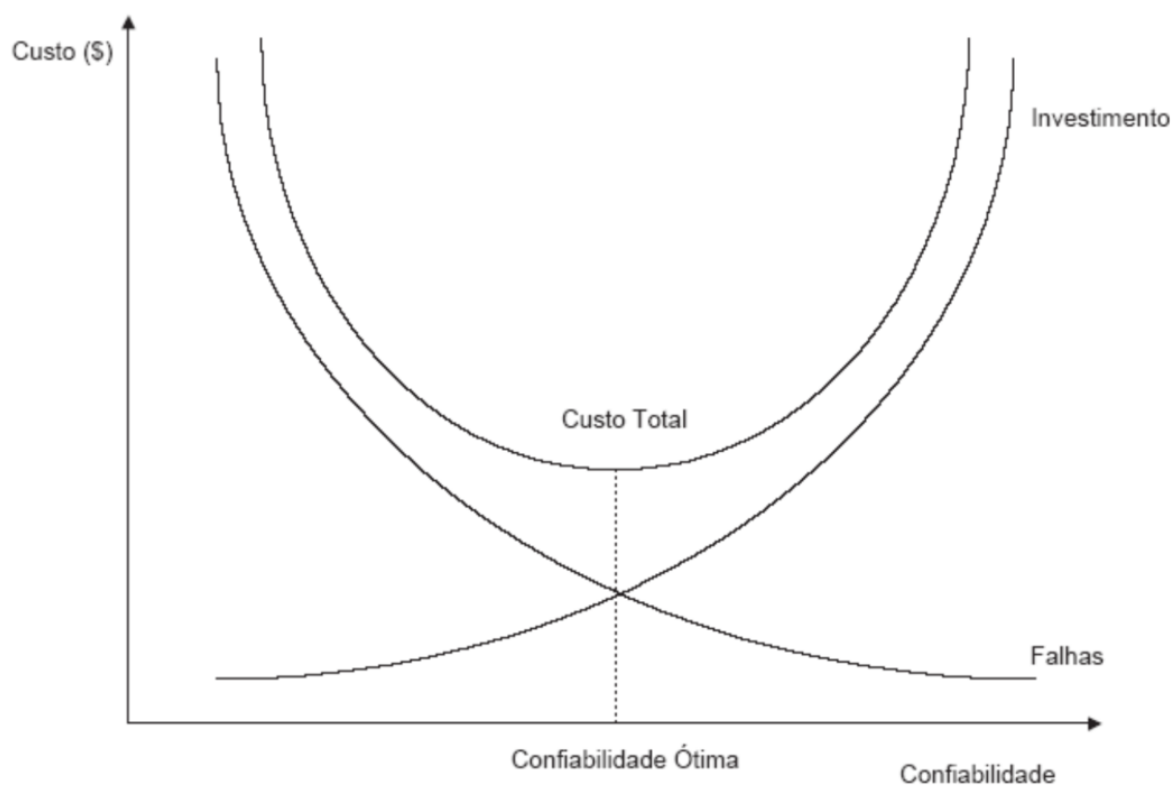
Figura 7: Exemplificação de redundâncias com recurso reserva e ligação em paralelo, respectivamente.



Fonte: (ANDRADE, 2007).

Em contrapartida, a confiabilidade de um sistema está diretamente relacionada com os custos de implementação, ou seja, quanto maior for o investimento menores serão os custos de falhas, conforme visto na Figura 8.

Figura 8: Curva de custo da confiabilidade.



Fonte: (ANDRADE, 2007).

Diferentemente de estabelecimentos residenciais, hospitais precisam ter um alto nível de confiabilidade da rede elétrica por envolver riscos à vida humana. Isso ocorre visto que há equipamentos que realizam o monitoramento de funções vitais do paciente e, em caso de queda de energia, o mesmo deve continuar em funcionamento até que retorne a alimentação da rede.

2.5 Normas vigentes

A Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT, é uma entidade reconhecida pela sociedade brasileira que é responsável por certificar regras e padrões de modo a solucionar ou evitar problemas técnicos. Assim, para que sejam feitas ações de eficiência energética, algumas normas precisam ser levadas em consideração, onde o responsável técnico possa se basear e padronizar ações.

2.5.1 NBR ISO 50001:2001

O propósito dessa norma seria auxiliar instituições a determinarem processos necessários para tornarem suas instalações elétricas mais eficientes energeticamente. Com isso, é especificado que um sistema de gestão da energia (SGE) se baseando na estrutura de melhoria contínua *Plan-Do-Check-Act* (PDCA) para determinar planos e políticas de ação.

Dessa maneira, mesmo não determinando métricas absolutas para um desempenho da instalação, a NBR ISO 50001 pode ser usada para certificar se o estabelecimento em questão possui uma boa gestão energética.

Ademais, é destacado o conceito de desempenho energético, sendo resultados mensuráveis relacionados à eficiência energética, uso de energia e consumo de energia. No contexto de gestão de energia, relaciona-se os resultados à política energética da organização, objetivos, metas ou outros requisitos de desempenho.

2.5.2 NBR 13534:2008

Em termos de regulamentação, essa norma se baseia na NBR 5410 para estabelecer requisitos específicos de segurança em instalações elétricas de estabelecimentos assistenciais de saúde. Dessa forma, para que o local médico seja devidamente classificado, deve-se estar relacionada com o tipo de contato entre as partes aplicadas e o paciente (ABNT, 2008).

Na NBR 13534:2008, o local médico pode ser classificado de três formas: grupo 0, grupo 1 e grupo 2. O primeiro é dado como região no qual não são utilizados equipamentos eletromédicos e os demais possuem esses dispositivos, porém se diferenciam pela aplicação no paciente.

Ademais, a alimentação elétrica deve ser feita de modo que haja uma fácil transferência entre a distribuição normal e a de segurança. Outro ponto a ser destacado seria sobre a alimentação de circuitos de iluminação, nos quais as luminárias precisam receber alimentação de, no mínimo, dois circuitos distintos, na qual uma deve ser necessariamente a de segurança.

Além disso, a norma diz que devem ser realizados procedimentos periódicos de manutenção das instalações. Dentre elas, destacam-se os ensaios de funcionamento de dispositivos de

comutação e de fontes de segurança com baterias.

2.5.3 NBR 16819:2020

A NBR 16819:2020 foi criada como um guia de projeto de instalações elétricas a partir de uma abordagem de gestão de eficiência energética, especificando requisitos de otimização do uso de energia elétrica. Um ponto a ser destacado, seria uma das fundamentações dadas de que as medidas ativas propostas no projeto de eficiência energética não devem suprimir as medidas passivas.

Outrossim, sobre a disponibilidade de energia elétrica e a decisão do usuário, a redução do fornecimento de energia não pode ser levada em consideração ao se tratar da gestão da eficiência energética. Além de que o usuário possui o poder de decisão em que, a qualquer momento, poderia utilizar as instalações conforme sua necessidade, mesmo que haja um aumento do consumo.

De acordo com o tópico 4.1.3 da norma, são levadas em consideração os seguintes pontos para a realização da gestão de eficiência energética:

- Perfil energético da carga;
- Disponibilidade de geração local;
- Redução das perdas de energia na instalação elétrica;
- Disposição dos circuitos quanto à eficiência energética;
- Utilização de energia de acordo com a necessidade do cliente;
- Estrutura tarifária oferecida pelo fornecedor de energia elétrica.

A partir disso, a norma destrincha esses princípios para a elaboração e execução de um projeto de instalação elétrica, considerando os pontos citados a depender do tipo de análise que é feita.

Em relação ao monitoramento da energia elétrica, é levado em consideração o nível de precisão na medição. Na maioria dos casos, segundo a norma, a precisão mais importante está na origem da instalação, ou seja, o ponto em que se é feita a cobrança de modo a avaliar a instalação elétrica como um todo. Já para o nível mais baixo, onde seriam os circuitos terminais, seria suficiente o fornecimento de informações para seguir tendências.

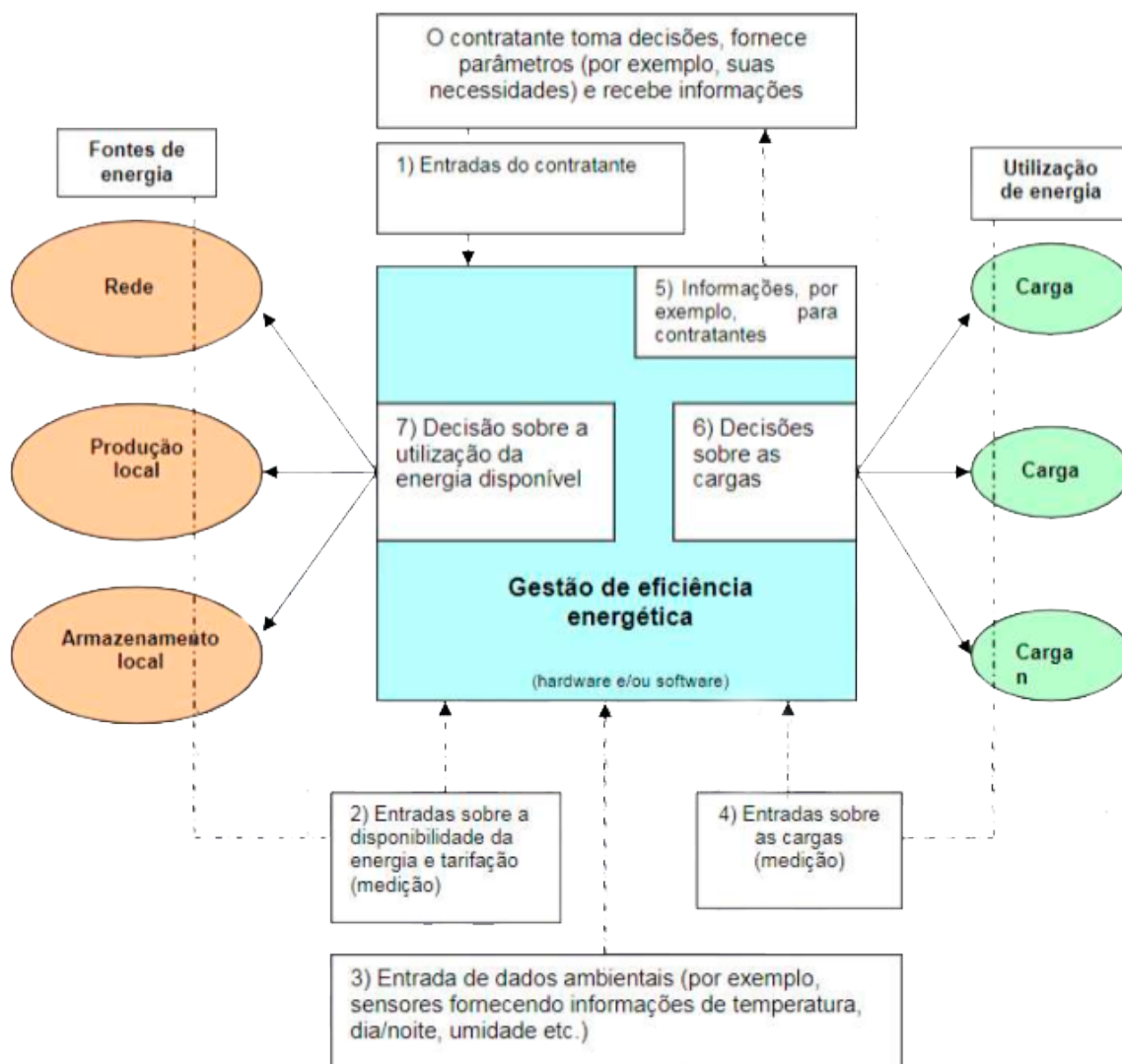
Assim, a norma anexa um exemplo de método de avaliação da eficiência energética de uma instalação elétrica, podendo classificá-la em cinco níveis, onde o nível quatro é considerado o mais alto.

Nele é feita uma explicação de cada parâmetro a depender do tipo de edificação analisado, no qual é possível determinar em que nível a instalação estaria alocada. Ao final, tendo

analisado cada parâmetro, é feito um somatório dos pontos que resultaria em uma classificação entre muito baixa eficiência até instalação de eficiência otimizada.

Além disso, como pode ser visto na Figura 9, a NBR 16819:2020 fornece orientações sobre a otimização do consumo de energia elétrica considerando consumo, geração e armazenamento local.

Figura 9: Eficiência energética e sistema de gestão de cargas.



Fonte: (ABNT, 2020).

2.6 Considerações finais

Por fim, após a realização do estudo bibliográfico sobre eficiência energética, percebeu-se que o tema é muito recorrente nos cenários global e nacional. Dessa maneira, é preciso ter um planejamento energético eficaz de modo a conseguir suportar o aumento gradativo da demanda

por energia elétrica juntamente com minimização dos impactos ambientais.

O Brasil tem criado incentivos para que a sociedade crie projetos de eficiência energética por meio de planos e programas que guiam os proponentes a terem um consumo de energia mais eficiente. Para isso, o PNEf e a NBR 16819:2020 se tornam os principais meios de orientação, em que o primeiro apresenta os incentivos e metas sobre eficiência energética, e o segundo com as normatizações e protocolos de segurança para a realização dos projetos.

Além disso, como os hospitais são locais que possuem funcionamento crítico por trabalharem diretamente com a saúde dos usuários, realizar um projeto de eficiência energética se torna um desafio, limitando o trabalho às ações que dependem do funcionamento de um equipamento. Com isso, estudou-se que as principais atitudes para o uso eficiente de energia estão relacionados à iluminação, condicionadores de ar e motores.

3 Materiais e Métodos

Neste tópico do trabalho, será utilizado um estudo de caso de um hospital, realizando um levantamento de suas instalações elétricas para que seja possível a aplicação de métodos de eficiência energética.

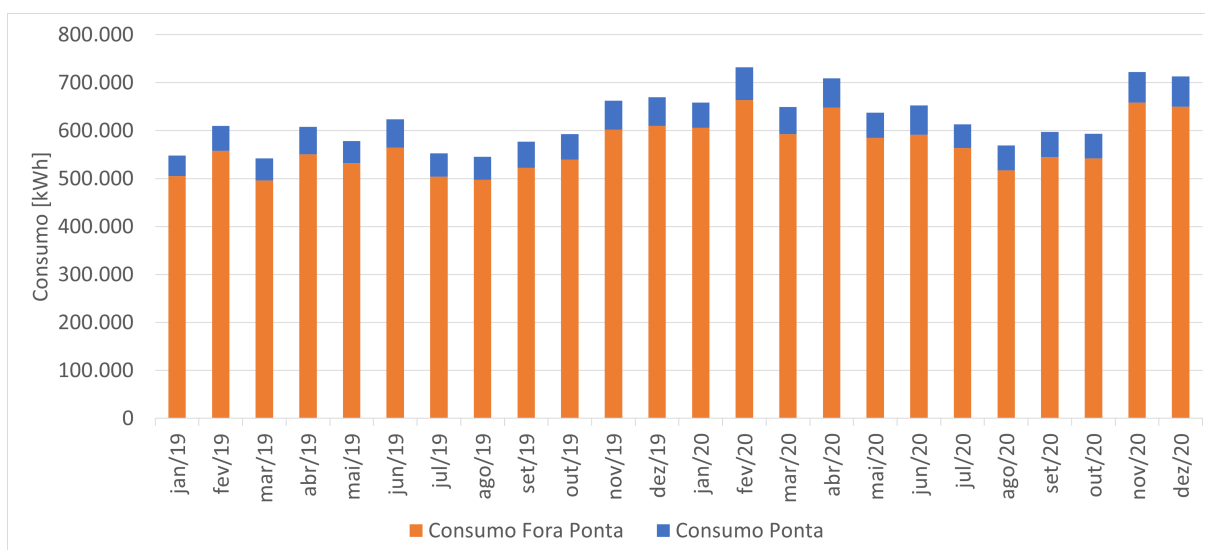
3.1 Materiais utilizados

Dessa forma, utilizaram-se dados tarifários do período de janeiro de 2019 a dezembro de 2020 de um hospital em Brasília e coletou-se dados de suas instalações elétricas para o estudo energético.

3.1.1 Consumo típico de um hospital

Para o estudo de caso de um estabelecimento hospitalar, utilizaram-se os dados de consumo conforme visto na Figura 10.

Figura 10: Exemplo de consumo de um hospital entre os anos de 2019 e 2020.



Fonte: dados do próprio autor.

3.1.2 Levantamento de carga

Das cargas do hospital analisado, as consideradas mais relevantes para o estudo de ações de eficiência energética estão as de iluminação e sistema de *Heating, Ventilating and Air Conditioning* (HVAC). Além disso, é importante destacar a diferença de local de utilização para a iluminação e o tipo de sistema de condicionamento de ar utilizado.

3.1.2.1 Carga de motores do HVAC

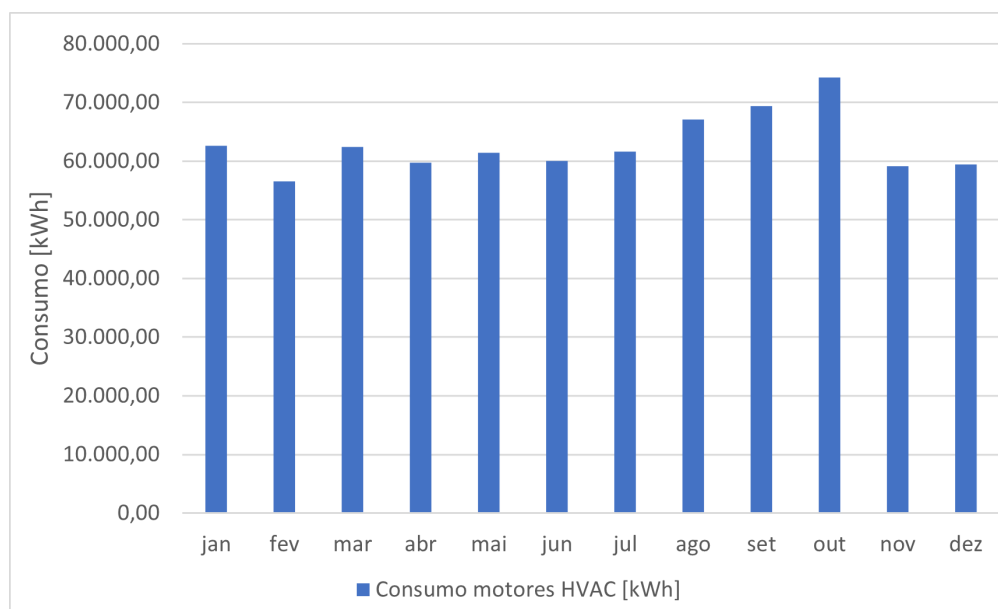
Para as cargas de HVAC, adquiriram-se as especificações dos principais motores que atual no sistema e dados de consumo do quadro que alimenta esses motores, possibilitando a análise da instalação. Ademais, o levantamento realizado sobre os motores estudados constatou que o Índice de Rendimento desses equipamentos são todos classificados, de acordo com a NBR 17094-1:2018, como IR3, ou seja, estão dentro do mínimo estabelecido pela NBR 17094-1:2008.

Tabela 1: Especificação de motores do sistema de HVAC do local.

| Potência (cv) | Número de polos | Rotação (rpm) | Quantidade |
|---------------|-----------------|---------------|------------|
| 1,5 | 4 | 1720 | 8 |
| 2 | 2 | 3385 | 4 |
| 3 | 2 | 3450 | 16 |
| 3,75 | 2 | 3475 | 4 |
| 4 | 4 | 1740 | 8 |
| 12,5 | 4 | 1755 | 4 |

Fonte: dados do próprio autor.

Figura 11: Consumo de motores do sistema de HVAC do local.



Fonte: dados do próprio autor.

3.1.2.2 Carga de iluminação

Para as cargas de iluminação, constataram-se a quantidade de lâmpadas internas e externas presentes no hospital. De modo a dar homogeneidade ao trabalho, consideram-se que as lâmpadas internas possuem um único modelo, assim como as externas, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2: Carga de iluminação do local.

| Local | Quantidade | Potência (W) | Modelo |
|---------|------------|--------------|-------------------------|
| Interna | 8.873 | 54 | HO 54 W/840 OSRAM |
| Externa | 376 | 250 | HQI-T 250 W/D PRO OSRAM |

Fonte: dados do próprio autor.

3.1.3 Avaliação da instalação atual

De modo a avaliar as instalações elétricas do estabelecimento hospitalar estudado, leva-se em consideração a análise feita utilizando o anexo B da NBR 16819:2020. Dessa maneira, é realizado um estudo dos níveis mínimos de *Efficiency Measurements* (EM) e *Energy Efficiency Performance Levels* (EEPL) de tal modo a gerar uma pontuação mínima para cada parâmetro sugerido pela norma.

Assim, após o levantamento do perfil da instalação, é realizado um preenchimento das tabelas de avaliação e o somatório dos pontos para cada requisito apontado pela norma. Com o estudo evidenciado nas tabelas 3 e 4, pode-se inferir que a *Electrical Installations Efficiency Class* (EIEC) é dita como EIEC0.

Tabela 3: Perfil das medições de eficiência energética.

| Tabela | Requisito | EM0 | EM1 | EM2 | EM3 | EM4 |
|--------|--|-----|-----|-----|-----|-----|
| B.1 | Perfil de carga | | | | | |
| B.2 | Localização da subestação principal | | | | | |
| B.3 | Motores | | | | | |
| B.4 | Iluminação | | | | | |
| B.5 | HVAC | | | | | |
| B.6 | Transformadores | | | | | |
| B.7 | Sistema de cabeamento | | | | | |
| B.8 | Correção do fator de potência | | | | | |
| B.9 | Medição do fator de potência | | | | | |
| B.10 | Medição de energia e potência | | | | | |
| B.11 | Medição de tensão | | | | | |
| B.12 | Medição de harmônicas e inter-harmônicas | | | | | |
| B.13 | Energia renovável | | | | | |

Fonte: dados do próprio autor.

Tabela 4: Níveis de desempenho de eficiência energética.

| Tabela | Requisito | EEPL0 | EEPL1 | EEPL2 | EEPL3 | EEPL4 |
|--------|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| B.14 | Distribuição do consumo anual | | | | | |
| B.15 | Fator de potência | | | | | |
| B.16 | Eficiência do transformador | | | | | |

Fonte: dados do próprio autor.

Dessa maneira, assumindo um hospital como um setor de atividade comercial, justifica-se a pontuação de cada requisito apontado pela NBR 16819:2020 na Tabela 5.

Tabela 5: Considerações da avaliação da instalação elétrica atual.

| Tabela | Estado atual | Pontuação |
|--------|--|-----------|
| B.1 | Possui-se o registro do perfil de consumo durante um dia | EM1 |
| B.2 | A localização da subestação que alimenta o hospital estudado está a pelo menos 60% de distância da carga mais distante | EM1 |
| B.3 | Os motores do local estão otimizados em menos de 50% da carga instalada | EM1 |
| B.4 | A única consideração foi a posição da lâmpada | EM1 |
| B.5 | Há apenas o controle da temperatura | EM1 |
| B.6 | Não houve considerações para a seleção de transformadores | EM0 |
| B.7 | O sistema de cabeamento está de acordo com os métodos 6.3 (Determinação da localização do transformador e do quadro de distribuição pelo método do baricentro) e 6.5 (Perdas nos condutores) da NBR 16819:2020 | EM2 |
| B.8 | Há uma compensação central do fator de potência | EM1 |
| B.9 | A medição do fator de potência é feita periodicamente | EM1 |
| B.10 | Há medição apenas de equipamentos que já foram instalados com medição | EM1 |
| B.11 | Medição feita periodicamente no quadro geral de distribuição | EM1 |
| B.12 | Nenhum requisito foi especificado | EM1 |
| B.13 | Não foi considerada a instalação de fontes renováveis de energia | EM0 |
| B.14 | É conhecido pelo menos 80% do consumo anual da instalação | EEPL1 |
| B.15 | Quando medido, o fator de potência apresentava valor dentre 0,85 e 0,90 | EEPL1 |
| B.16 | Não foram considerados requisitos mínimos de eficiência para o transformador | EEPL0 |

Fonte: dados do próprio autor.

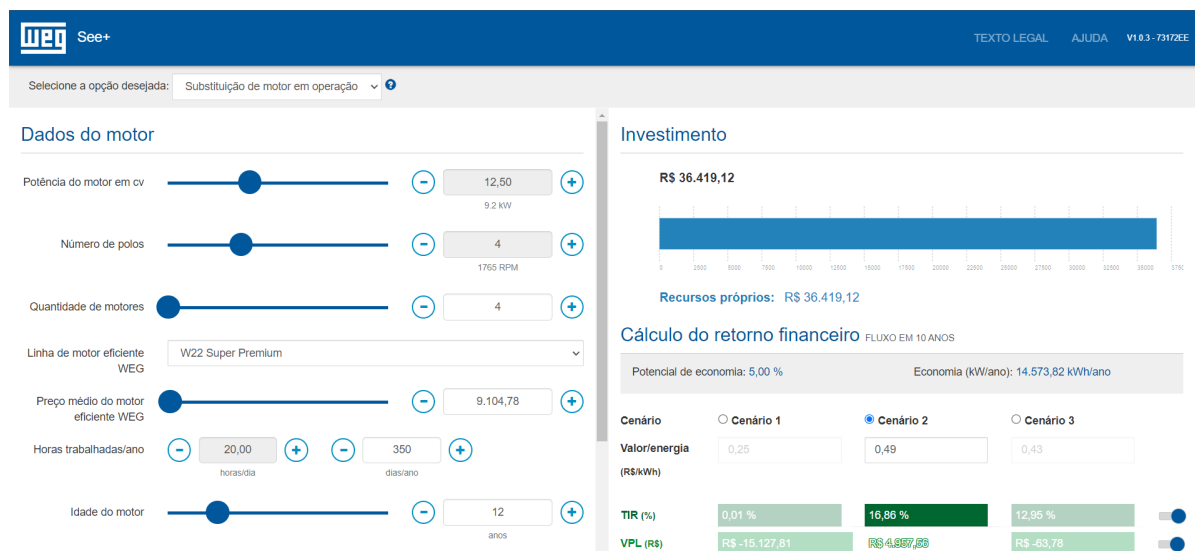
3.1.4 *Software utilizados*

Para que seja possível a realização de simulações que aproximem a metodologia elaborada com resultados reais de sua implementação, utilizam-se ferramentas computacionais que permitam auxiliar nos cálculos necessários para o trabalho. Dessa forma, para simular a viabilidade da troca dos motores de HVAC por outros mais eficientes, a WEG disponibiliza um *site* em que realiza a análise de investimento se baseando em dados empíricos (WEG, 2022).

Assim, adicionando alguns dados do motor a ser substituído, como potência, número de polos e o valor de tarifa paga pelo estabelecimento, calcula-se o retorno financeiro se baseando

no motor fornecido pela WEG. A exemplificação da simulação da troca de motores utilizando o *software* pode ser visualizado na Figura 12.

Figura 12: Exemplo de simulação de troca de motores pelo *SEE+*.



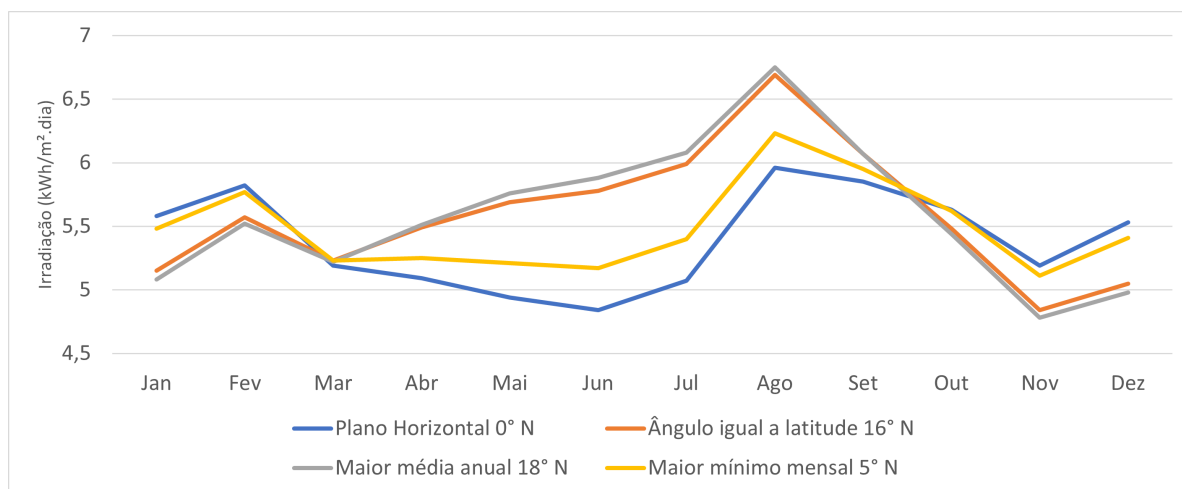
Fonte:(WEG, 2022).

Ademais, a simulação do sistema fotovoltaico é realizada utilizando o *software* gratuito *System Advisor Model* (SAM) da *National Renewable Energy Laboratory* (NREL) que permite a modelagem da usina utilizando equipamentos comerciais disponibilizados por empresas fabricantes. Dessa maneira, utilizando dados meteorológicos e da área disponível para a instalação, é possibilitada a verificação da viabilidade de se instalar um sistema de geração distribuída no estabelecimento hospitalar estudado.

3.1.5 Dados para geração distribuída

Para a realização do dimensionamento do sistema fotovoltaico a ser instalado no estabelecimento hospitalar estudado, é preciso considerar os dados de recurso solar do local. Assim, utilizaram-se os dados da CRESESB para a coleta desses dados considerando a localização do Hospital Universitário de Brasília (HUB).

Figura 13: Irradiação solar no plano inclinado com localização no HUB.



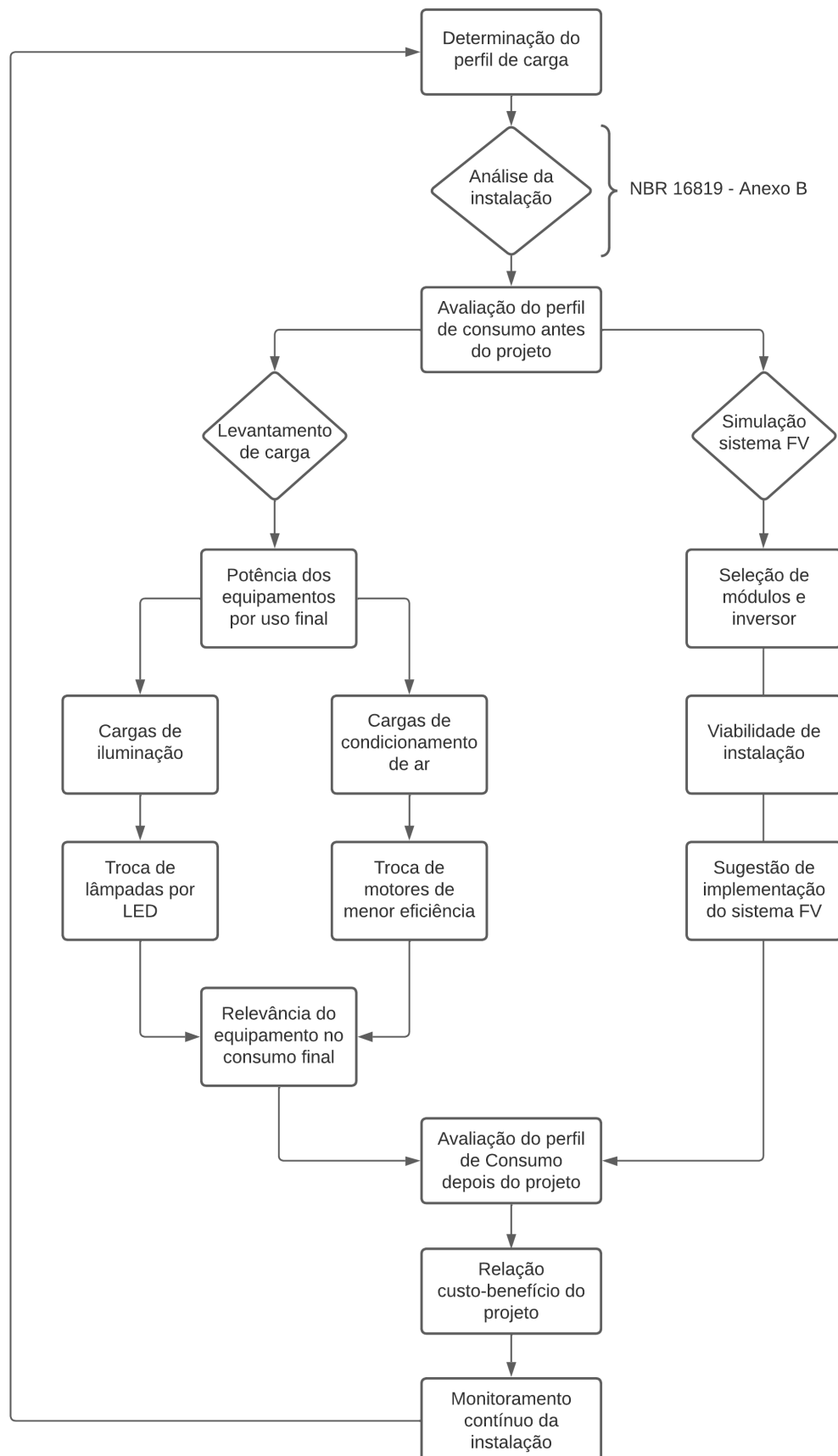
Fonte: (CEPEL, 2022).

A partir da Figura 13, é possível utilizar os dados de irradiação solar que possibilita a identificação do potencial de geração de energia pelo sistema fotovoltaico para cada mês do ano.

3.2 Métodos de eficiência energética

De modo a se ter um panorama do que será realizado no trabalho, montou-se um fluxograma, evidenciado na Figura 14, no qual apresenta os métodos que serão utilizados para se objetivo de tornar o estabelecimento energeticamente mais eficiente.

Figura 14: Fluxograma dos métodos a serem realizados no trabalho a partir dos materiais utilizados.



Fonte: dados do próprio autor.

3.2.1 Planejamento energético

Com base na NBR ISO 50001:2011, realiza-se um planejamento energético do estabelecimento hospitalar estudado tendo como objetivo melhorar o desempenho energético e determinar ferramentas que tornem contínuos os processos de aprimoramento do desempenho de uso da energia elétrica. Para isso, é necessário obter dados sobre as instalações elétricas do local de modo a indicar as principais variáveis relevantes no sistema.

Dessa maneira, a partir do Anexo B da NBR 16819:2020, realiza-se uma avaliação da instalação elétrica do estabelecimento. Ao avaliar a composição mínima das Medições de Eficiência (EM), e dos níveis mínimos de Desempenho de Eficiência Energética (EEPL), gera-se um perfil de instalação a partir de uma pontuação que classifica a eficiência do local.

Para que seja possível encontrar a classificação de eficiência energética do estabelecimento hospitalar estudado, realiza-se a somatória da pontuação para cada requisito pela seguinte fórmula:

$$PEE = \sum_{i=0}^4 EM_i + \sum_{i=0}^4 EEPL_i \quad (3.2.1)$$

Assim, o valor de PEE equivale à pontuação total calculada. Os valores de EM e EEPL variam de 0 a 4 a depender das condições das instalações elétricas referentes a cada requisito estudado. Após isso, a partir da tabela B.19 do anexo B da NBR 16819:2020, obtém-se a classificação EIEC do local.

Assim, ao analisar as instalações elétricas do estabelecimento hospitalar tendo como base cada ponto apresentado, é possível diagnosticar a eficiência energética do local assim como determinar ações ativas e passivas de controle da utilização de energia elétrica. A partir do perfil de consumo levantado e da análise do uso de energia, detectam-se as áreas que possuem maior impacto no consumo e torná-las pontos-chave na identificação de oportunidades para melhora de desempenho energético.

Com isso, com base no perfil de consumo e na análise das instalações elétricas do local e nos referenciais bibliográficos estudados, é possível observar as principais cargas com uso significativo de energia elétrica no sistema e determinar planos de ações de economia. Desse modo, geralmente os principais consumidores de energia elétrica em um estabelecimento hospitalar são cargas de iluminação e de condicionamento de ar.

3.2.2 Iluminação

Como visto anteriormente, cargas de iluminação possuem um impacto importante a ser considerado no estudo energético das instalações elétricas de Estabelecimento Assistenciais de Saúde (EAS). Dessa forma, tendo em vista que há novas tecnologias de lâmpadas que possuem a mesma iluminância com menor potência, considera-se avaliar a troca delas por outras mais

eficientes.

Assim, para a realização do estudo da iluminação do local, é preciso realizar um levantamento das características e a quantidade de lâmpadas utilizadas. Os atributos específicos das lâmpadas estão relacionados ao estudo luminotécnico realizado anteriormente, ou seja, no planejamento de troca desses dispositivos por outros mais eficientes, deve-se considerar que as características da iluminação local precisam ser mantidas ou aprimoradas com a mudança.

Após a busca de dispositivos de iluminação com menor potência e que respeite o estudo luminotécnico do ambiente, deve ser analisado o investimento em realizar essa ação. Para isso, o tempo de utilização é considerado juntamente com a potência da lâmpada para visualizar o impacto dessa carga na utilização.

Com isso, é possível calcular o consumo diário da carga de iluminação do estabelecimento da seguinte forma:

$$C_{ilum} = N \cdot P \cdot t \quad (3.2.2)$$

Em, C_{ilum} é o consumo anual em kWh , N , P e t representam a quantidade, potência, em kW , e t é o tempo diário, em *horas*, de utilização de lâmpadas. Esse cálculo é feito para cada tipo de lâmpada presente na instalação elétrica e, após isso, faz-se uma comparação entre o consumo antes e depois das trocas previstas.

3.2.3 Condicionamento de ar

Já para o sistema de HVAC, foca-se no impacto dos motores no consumo das instalações elétricas do estabelecimento hospitalar. Partindo do pressuposto que todo o sistema de condicionamento de ar esteja dimensionado corretamente, faz-se como ação de eficiência energética a troca de equipamentos por outros mais eficientes. Como os motores são um dos principais demandantes de energia, realiza-se um estudo da viabilidade da troca de motores de menos eficiência por outros mais energeticamente eficientes.

Conforme visto na NBR 17094-1:2018, o Brasil os Índices de Rendimento (IR) mínimos de motores elétricos são IR2 e IR3, a troca dos motores é estudada de tal modo que aperfeiçoe o desempenho do sistema em que eles são utilizados. Dessa maneira, o levantamento dos novos motores devem, necessariamente, corresponder ao mínimo exigido pela norma, apesar disso, sugere-se que sejam pesquisados os modelos comerciais mais eficientes de modo a elevar a eficiência elétrica da instalação.

A partir do *software See+* (WEG, 2022), é possível realizar uma simulação sobre a troca de motores elétricos visando a eficiência energética. Nesse programa, é possível verificar a viabilidade de investimento na substituição de motores a partir dos dados atuais. Assim, ao utilizar os parâmetros necessários, coletam-se os resultados de investimento, em $R\$$, e economia de energia, em kWh/ano , para o estudo da ação de eficiência energética sugerida.

3.2.4 Geração distribuída fotovoltaica

Seguindo a bibliografia estudada, a instalação de um sistema fotovoltaico auxiliam na redução do consumo entre a edificação e o distribuidor de energia. Assim, tem-se como uma possível ação de eficiência energética o uso de fontes renováveis para a redução de perdas totais na distribuição de energia.

Para realizar o dimensionamento de sistema fotovoltaico, deve-se realizar uma avaliação do local a partir de suas características construtivas e o que há ao redor do estabelecimento. Esses fatores precisam ser levados em consideração devido à possibilidade de instalação dos módulos, visto que utiliza-se a área disponível.

Dessa maneira, propõe-se a utilização de toda a área disponível do estabelecimento hospitalar de modo a maximizar a geração, evitando os sombreamentos possíveis. Para módulos e inversores, suas quantidades e capacidades instaladas são determinadas visando aproveitar toda a área útil e levando em consideração a distância mínima entre os módulos.

Com isso, utiliza-se o *software* de modelagem técnica-econômica *System Advisor Model* (SAM) para a realização do estudo de instalação de um sistema fotovoltaico. Assim, é possível realizar o dimensionamento juntamente com a simulação da geração a partir dos módulos e inversores comerciais determinados dentro do programa gratuito disponibilizado pela *National Renewable Energy Laboratory* (NREL).

Para o dimensionamento do sistema, busca-se maximizar a geração de energia utilizando o máximo possível da área disponível. Dessa maneira, após a seleção do módulo fotovoltaico, preocupa-se com a quantidade de módulos em série de tal modo que tensão de saída esteja entre os valores de tensão de circuito aberto (V_{oc}) máximo e a tensão mínima de operação do inversor e, para o número de módulos de arranjos em paralelo, é estudada a corrente de curto-circuito (I_{sc}) que o inversor suporta (CRESESB, 2014).

3.2.5 Avaliação final da instalação elétrica

Com a realização das ações de eficiência energética propostas, verifica-se a viabilidade de sua implementação nas instalações elétricas estudadas. Para isso, deve-se realizar uma avaliação final das condições do local, utilizando o anexo B da NBR 16819:2020, de modo a obter uma relação entre o impacto causado no consumo e o investimento de sua aplicação. Além disso, pode-se verificar se essas medidas influenciariam na pontuação da composição entre as Medidas de Eficiência (EM) e o Desempenho de Eficiência Energética (EEPL), resultando na mudança de Classe de Eficiência das Instalações Elétricas (EIEC).

Dessa maneira, para cada ação de eficiência energética proposta para o estabelecimento hospitalar estudado, é realizado um cálculo de *payback* simples acumulado. Isso possibilita a observação da relação custo-benefício para que os gestores possam verificar a viabilidade de aplicação.

3.2.6 Monitoramento contínuo da instalação

Após o levantamento de possíveis ações de eficiência energética para o estabelecimento hospitalar estudado, é preciso determinar planos de gestão de modo a obter os dados de controle da instalação elétrica. Dessa forma, seguindo o que é proposto pela NBR ISO 50001:2001, deve-se propor planos de manutenção que permita o funcionamento do local em alto desempenho energético.

Assim, conforme citado na NBR ISO 50001:2008, o processo de estudo de parâmetros, como tensão, corrente e potência, viabiliza o acompanhamento contínuo da utilização de energia elétrica e podem resultar na maior vida útil dos equipamentos. Com o monitoramento e medição das instalações elétricas, permite-se que sejam feitas novas análises, tanto com a efetivação das ações realizadas anteriormente quanto a obtenção de outras ações possíveis para o aprimoramento da eficiência energética.

3.3 Considerações finais

Com base nos materiais a serem utilizados e na metodologia sugerida, é percebido que a depender dos dados adquiridos para análise da instalação, consegue-se sugerir ações de eficiência energética para um estabelecimento hospitalar. Assim, tendo o consumo de energia elétrica juntamente com o levantamento das principais cargas do local, pode-se avaliar as condições da instalação e classifica-se a eficiência energética do hospital.

Ademais, a partir da bibliografia estudada, as principais ações propostas demonstram as cargas mais significativas que podem tornar o estabelecimento hospitalar mais eficiente energeticamente. Dessa maneira, utilizam-se *software* de simulação para que seja concretizado o dimensionamento das mudanças e a viabilidade delas.

4 Discussão dos Resultados

Nessa etapa do trabalho, apresentam-se os resultados de eficiência energética obtidos para um estabelecimento hospitalar seguindo a metodologia estudada e utilizando os materiais adquiridos.

4.1 Análise de consumo

De modo a obter os dados de consumo do caso estudado, utilizaram-se valores apresentados na fatura de energia típica de um estabelecimento hospitalar representado pela Figura 10. Assim, é visto que o local tem maior consumo em horários fora ponta, podendo inferir uma influência do sistema de iluminação em todo o período do dia e noite por ser um EAS.

Por fim, nota-se que a demanda de energia aumentou de um ano para o outro, percebendo que a tendência com o passar dos anos seria de aumento de carga. O que leva a entender a necessidade de tomada de ações de eficiência energética que permitem a inserção de novas cargas nas instalações elétricas sem que aumente o consumo total.

4.2 Ações de eficiência energética

De modo a seguir a metodologia abordada, podem-se obter ações de eficiência energética para o estabelecimento hospitalar estudado a partir dos dados adquiridos.

4.2.1 Troca da iluminação

Sem que haja mudança nas características das lâmpadas, faz-se a previsão da troca de todas as lâmpadas por LED. Dessa maneira, utilizam-se os seguintes modelos apresentados na Tabela 6 como referência para os cálculos.

Tabela 6: Lâmpadas LED a serem utilizadas na substituição.

| Local | Quantidade | Potência (W) | Modelo |
|---------|------------|--------------|-----------------------------------|
| Interna | 8.873 | 16 | CorePro LEDtube 16W865 G5 Philips |
| Externa | 376 | 120 | CITYLED M 0,82A I2 120W Novalight |

Fonte: dados do próprio autor.

Assim, utilizando a equação 3.2.2, faz-se o cálculo do consumo para os modelos antigos e novos de modo a estudar a economia energética obtida. Na Tabela 7, são observados os resultados obtidos a partir dos cálculos feitos e multiplicando pelo número de dias no ano de modo a obter a previsão do consumo anual das cargas de iluminação.

Ademais, a partir de um levantamento dos preços de cada lâmpada, verifica-se a viabilidade de investimento nessa ação de eficiência energética pelo tempo de retorno financeiro. Dessa maneira, utilizando o consumo apresentado na Figura 10, calcula-se um *payback* simples acumulado a partir do valor total de investimento e o da tarifa de energia do local, que são 334.625,00 reais e 0,49 R\$/kWh, respectivamente.

Tabela 7: Consumo anual de iluminação antes e depois da ação de eficiência energética.

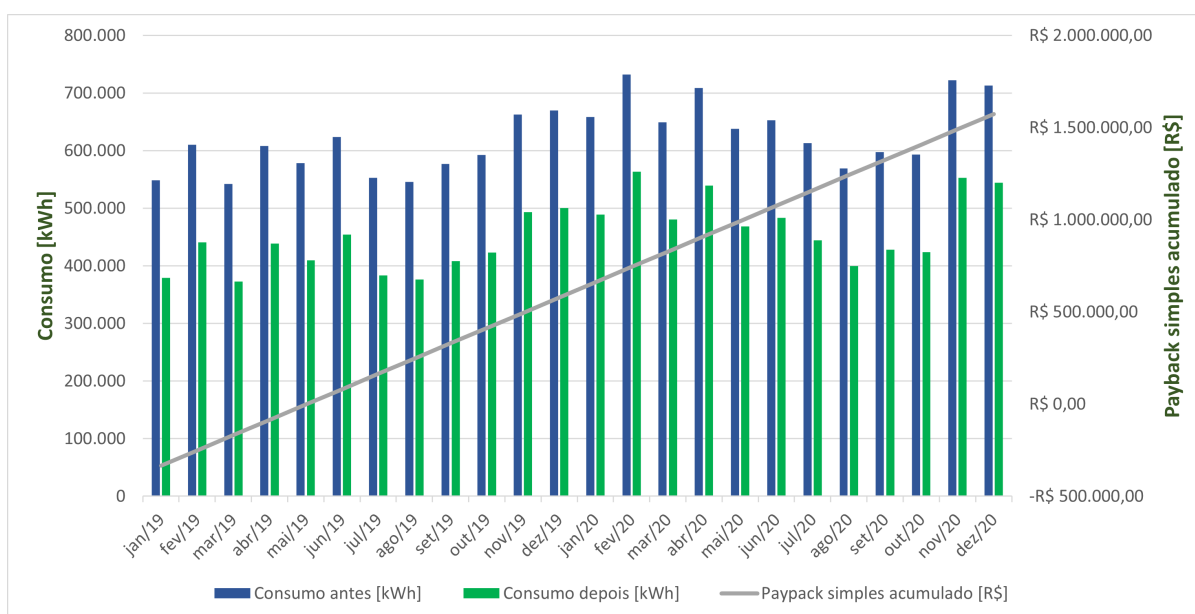
| Consumo antes [kWh] | Consumo depois [kWh] | Percentual de redução |
|---------------------|----------------------|-----------------------|
| 249.453,9 | 80.128,8 | 68% |

Fonte: dados do próprio autor.

Ademais, a partir de um levantamento dos preços de cada lâmpada, verifica-se a viabilidade de investimento nessa ação de eficiência energética pelo tempo de retorno financeiro. Dessa maneira, utilizando o consumo apresentado na Figura 10, calcula-se um *payback* simples acumulado a partir do valor total de investimento e da tarifa de energia do local, que são 334.625,00 reais e 0,49 R\$/kWh, respectivamente.

Logo, para o estabelecimento hospitalar estudado, a ação de eficiência energética de troca de todas as lâmpadas do local por LED obteve um *payback* de 6 meses e uma redução do consumo total de energia elétrica de, aproximadamente, 27%. Isso é evidenciado na Figura 15.

Figura 15: Comparação de consumo e análise de retorno financeiro da ação de eficiência energética para a iluminação.



Fonte: dados do próprio autor.

A partir da Figura 15, mostra que a iluminação tem grande participação no consumo do hospital e que a ação proposta possui uma boa efetividade devido ao rápido retorno financeiro e a facilidade de implementação. Além disso, destaca-se que o *payback* ocorre antes de terminar a vida útil do equipamento, de acordo com a fabricante, de pelo menos 2 anos.

4.2.2 Troca de motores de HVAC

O sistema de condicionamento de ar é uma das principais cargas presentes nas instalações elétricas de estabelecimentos hospitalares. Dessa maneira, realiza-se a simulação pelo *software* da WEG de modo a analisar a viabilidade da troca desses equipamentos por outros de maior eficiência energética. Para isso, são utilizados os dados dos motores levantados na Tabela 1 e um funcionamento de 20 horas durante 350 dias no ano para a obtenção dos resultados da Tabela 8.

Tabela 8: Resultado da simulação de troca de motores no *software* See+.

| Potência [cv] | Quantidade | Investimento [R\$] | Economia [kWh/ano] |
|---------------|------------|--------------------|--------------------|
| 1,5 | 8 | R\$ 19.410,80 | 6.559,95 |
| 2 | 4 | R\$ 10.198,52 | 3.231,57 |
| 3 | 16 | R\$ 48.245,60 | 17.558,22 |
| 3,75 | 4 | R\$ 14.819,52 | 5.504,59 |
| 4 | 8 | R\$ 32.976,08 | 10.349,09 |
| 12,5 | 4 | R\$ 36.419,12 | 14.573,82 |
| Total | | R\$ 162.069,64 | 57.777,24 |

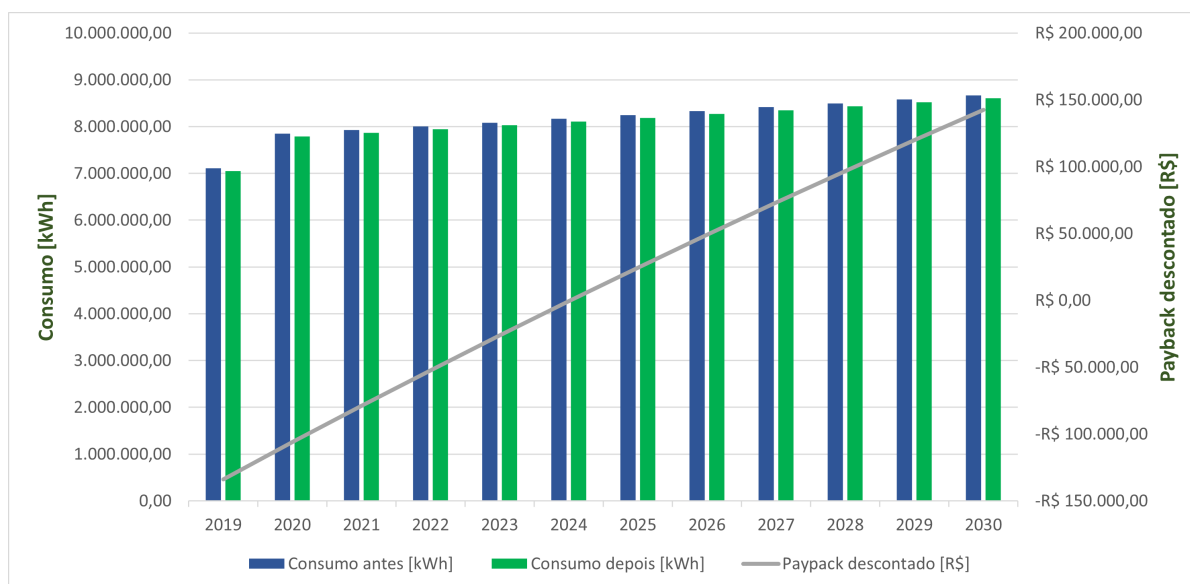
Fonte: (WEG, 2022).

Assim, ao somar os valores de investimento e economia, é possível inferir o investimento total de troca de todos os motores levantados e o quanto seria economizado de energia elétrica no ano após a efetivação dessa ação de eficiência energética. Esses valores podem ser vistos na Tabela 8.

Diferentemente do cálculo feito para a iluminação, como o retorno financeiro para a troca dos motores de HVAC levará mais que um ano para ser alcançado, realiza-se uma prospecção do aumento de consumo e do valor da tarifa de energia com o passar dos anos. Dessa maneira, é previsto um aumento de 1% para o consumo e de 5% para o valor tarifário (ANEEL, 2023).

Com isso, pode-se realizar um cálculo de *payback* descontado utilizando o valor de consumo apresentado na Figura 10, o valor total de investimento na compra dos motores, da tarifa de energia e do juros anuais com base dos dados do Banco Central resultando no gráfico da Figura 16. A fins de simulação dos cálculos, foi considerado um valor de juros médios de cerca de 7,16% anuais (ANEEL, 2014).

Figura 16: Comparação de consumo e análise de retorno financeiro da ação de eficiência energética para a troca de motores de HVAC.



Fonte: dados do próprio autor.

Analisando o gráfico da Figura 16, percebe-se que a ação de eficiência energética de troca de motores de HVAC para o estabelecimento hospitalar estudado resultou em uma redução de cerca de 1% do consumo total e atribui-se um retorno financeiro em, aproximadamente, 5 anos. Com isso, observa-se que o *payback* ocorre antes de finalizar a vida útil do equipamento, de acordo com a fabricante, de pelo menos 6 anos.

4.2.3 Geração distribuída

De modo a reduzir o consumo entre a edificação e o distribuidor de energia, será prevista a instalação de um sistema fotovoltaico no estabelecimento hospitalar estudado. Para isso, utiliza-se o consumo apresentado na Figura 10 e considerou-se uma área disponível de 920 m^2 tendo Brasília/DF como local de referência para o estudo.

Dessa maneira, simula-se um sistema que utilize quase toda a área útil disponível de modo a maximizar o potencial de geração do local. Pelo *software* SAM da NREL, foram selecionados módulos monocristalinos de 400 W_p da *Hyundai Energy Solutions CO. LTD* juntamente com o inversor da *Yaskawa Solectria Solar* de 50 kW cujas características estão apresentadas nas tabelas 9 e 10.

Tabela 9: Características técnicas dos módulos fotovoltaicos selecionados.

| Dados técnicos dos módulos fotovoltaicos | |
|--|--------------------------|
| Fabricante | Hyundai Energy Solutions |
| Modelo | HiS-S400PI |
| Tecnologia | Monocristalino |
| Potencia nominal | 400 W |
| Tensão de circuito aberto | 49,1 V |
| Corrente de curto-circuito | 10,3 A |
| Eficiência | 19,64 % |
| Dimensões | 2,039 x 1,001 x 40 mm |
| Peso | 22,2 kg |

Fonte: SAM.

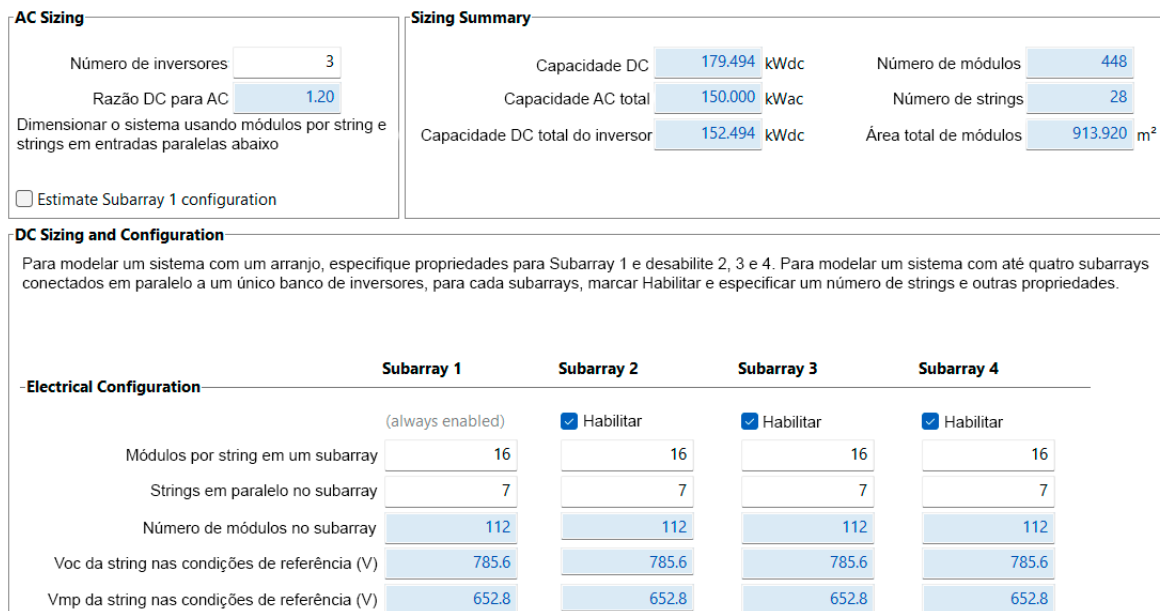
Tabela 10: Características técnicas dos inversores fotovoltaicos selecionados.

| Dados técnicos dos inversores fotovoltaicos | |
|---|-------------------------|
| Fabricante | Yaskawa Solectria Solar |
| Modelo | PVI 50TL-480 |
| Entradas MPPT | 1 |
| Potência máxima CA | 50 kW |
| Potência máxima CC | 50,8315 kW |
| Faixa de tensão CC MPPT | 480 - 850 V |
| Tensão Nominal CA | 480 V |
| Tensão Máxima CC | 850 V |
| Corrente máxima CC | 69,6321 A |

Fonte: SAM.

Dessa maneira, dimensionou-se um sistema fotovoltaico com 448 módulos e 3 inversores, ou seja, foram utilizados $913,92 m^2$ de ocupação dos módulos com potência de $179,494 kW_p$, conforme apresentado no projeto do sistema do SAM da Figura 17.

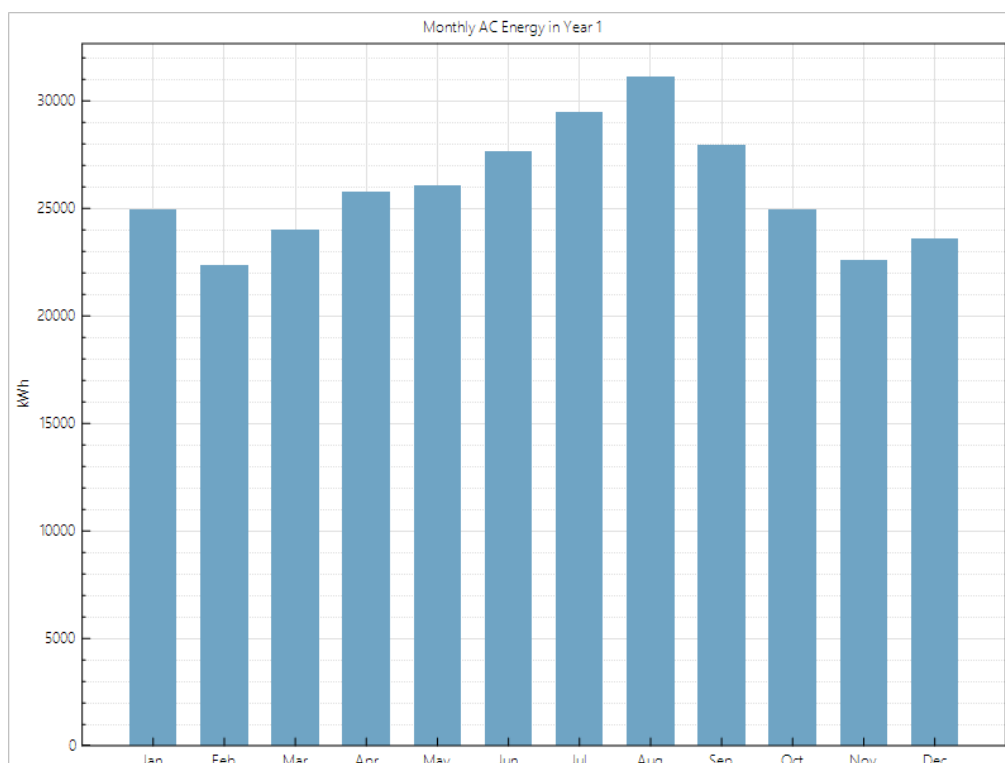
Figura 17: Dimensionamento do sistema fotovoltaico utilizando o SAM.



Fonte: SAM.

Com a simulação realizada, consegue-se adquirir os valores de geração mensal de energia elétrica produzida pela usina fotovoltaica. Assim, evidencia-se a Figura 18 com a produção de energia durante um ano.

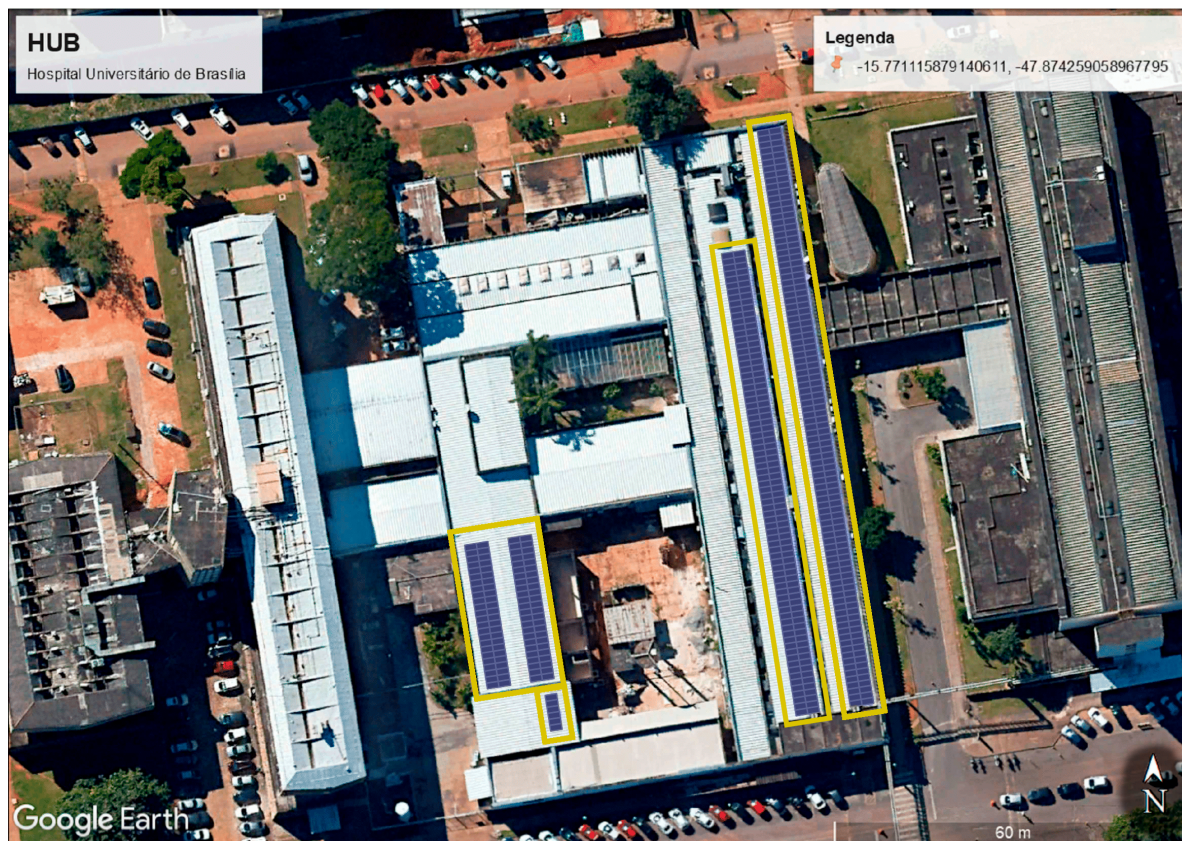
Figura 18: Gráfico de geração mensal da usina fotovoltaica dimensionada pelo SAM.



Fonte: SAM.

Para que seja possível a visualização do espaço físico necessário para a instalação dos equipamentos, utilizou-se o Hospital Universitário de Brasília (HUB) para apresentar a disposição dos módulos fotovoltaicos. Assim, a partir da imagem de satélite do *Google Earth*[®], evidencia-se a Figura 19.

Figura 19: *Layout* básico do sistema fotovoltaico dimensionado.

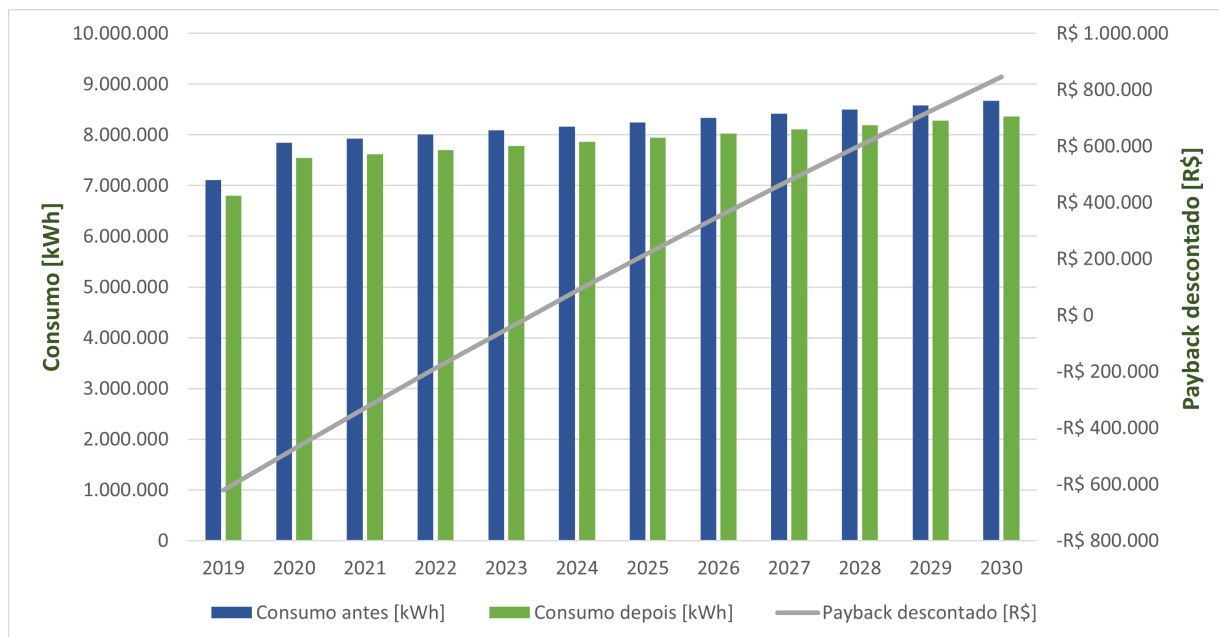


Fonte: *Google Earth*[®].

Pelo SAM, pode-se realizar uma análise de investimento ao apresentar o perfil da carga e a tarifa energética, o que permite atribuir um valor de referência para o preço de compra da usina como sendo 147.902,96 em dólares e, assumindo a contação do dólar em R\$ 5,22 de 26 de dezembro de 2022, 772.053,45 reais na conversão direta.

Assim, da mesma forma feita anteriormente para a ação de troca de motores de HVAC, realizou-se um cálculo de *payback* descontado e a comparação entre o consumo com e sem a realização da ação de implementação de geração distribuída nas instalações elétricas do estabelecimento hospitalar estudado. Esse resultado é evidenciado na Figura 20.

Figura 20: Comparação de consumo e análise de retorno financeiro da ação de eficiência energética para geração distribuída.



Fonte: dados do próprio autor.

Dessa maneira, na Figura 20, é visto que caso o estabelecimento estudado faça o investimento de instalação de um sistema fotovoltaico, seria obtido um *payback* de, aproximadamente, 5 anos com 5% de redução no consumo de energia elétrica. Assim, percebe-se que o retorno financeiro ocorre antes de finalizar a vida útil do equipamento, de acordo com a fabricante, de pelo menos 20 anos.

4.2.4 Plano de manutenção da eficiência energética

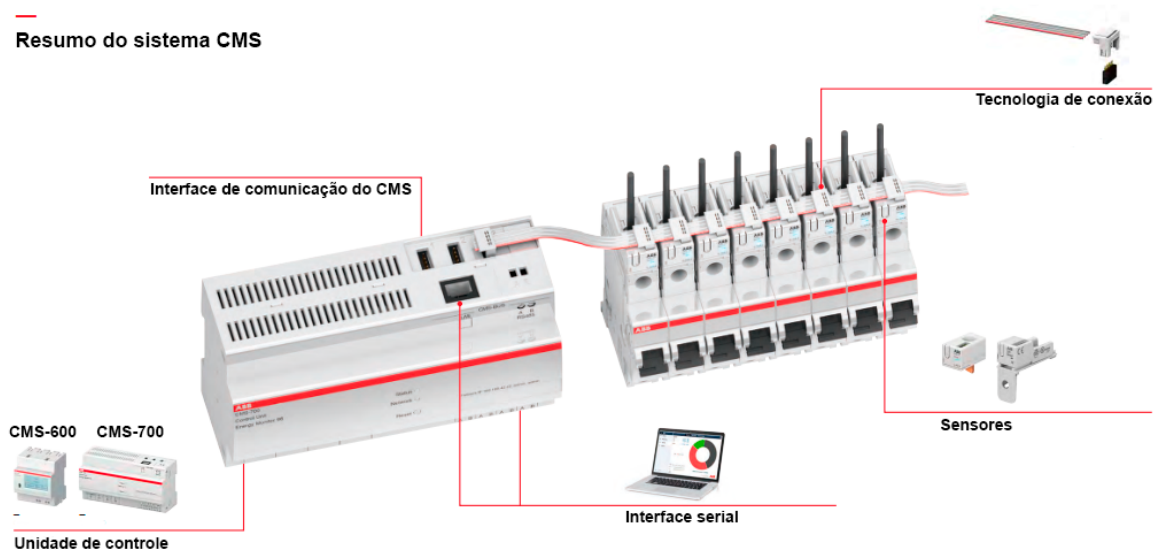
Além das ações citadas anteriormente, existem maneiras indiretas de economia de energia que podem auxiliar um estabelecimento hospitalar a ser mais eficiente energeticamente. Dentre elas, vale ressaltar a conscientização e educação sobre o consumo energético das pessoas que utilizam o local como, por exemplo, priorizar a abertura de janelas em vez de utilizar aparelhos de ar-condicionado para a refrigeração do ambiente.

Ademais, fatores construtivos auxiliam na economia de energia elétrica de um ambiente hospitalar, ou seja, sugere-se o estudo de conceitos de eficiência energética no planejamento do projeto de construção do estabelecimento. Isso possibilita o uso de recursos naturais para, por exemplo, iluminação e refrigeração dos ambientes do estabelecimento.

Além disso, baseando-se na NBR ISO 50001:2011, a obtenção de dados para a análise contínua da instalação pode auxiliar na identificação e no planejamento de novas ações de eficiência energética em estabelecimentos hospitalares. Dessa maneira, a instalação de multimedidores juntamente com um sistema supervisorio, os quais permitam o controle e levantamento

de parâmetros sobre a rede elétrica, torna-se uma ação de eficiência energética. Um exemplo dessa aplicação é apresentada na Figura 21 que possui características que permitem o monitoramento de principais cargas e de quadros elétricos.

Figura 21: Exemplificação de um dispositivo de medição de energia, tensão e corrente elétrica.



Fonte: (ABB, 2018)

Conforme é visto na NBR 16819:2020, há uma preocupação com o fator de potência devido às perdas relacionadas à energia reativa nas instalações elétricas. De modo a minimizar essa questão, é sugerida a instalação de banco de capacitores nos principais quadros e cargas de modo a diminuir a corrente que percorre pela instalação.

Outra ação passiva de eficiência energética pode ser a consideração da localização ótima de quadros e transformadores. Para isso, a NBR 16819:2020 apresenta um método de cálculo do baricentro que permite determinar a posição de quadros de distribuição e transformadores no estabelecimento estudado de modo a minimizar as perdas elétricas pela distância da alimentação final.

Por fim, vale destacar que obter o conhecimento das instalações elétricas do estabelecimento auxilia no estudo da eficiência energética. No caso de um EAS, foi visto pelo estudo bibliográfico que muitas cargas não podem ser interferidas por interrupções para a economia de energia. Assim, a realização de uma análise qualitativa e quantitativa da instalação de modo a setorizar, por meio de um estudo da posição das cargas em relação ao quadro alimentador, todo o consumo do local se torna uma ação passiva de eficiência energética.

4.3 Análise final da instalação

De modo a deixar o estabelecimento hospitalar com um melhor desempenho energético, é feita uma análise final das instalações elétricas concatenando as ações apresentadas anteriormente com outras sugestões de mudança. Essas informações são exibidas na tabela 11.

Tabela 11: Sugestões de mudança para a melhoria da eficiência energética do estabelecimento hospitalar estudado e pontuação total obtida.

| Tabela | Sugestão de mudança | Pontuação antes | Pontuação depois |
|-----------------|--|-----------------|------------------|
| B.1 | Instalação de um sistema supervisorio que guarde os dados coletados permanentemente | EM1 | EM4 |
| B.2 | - | EM1 | EM1 |
| B.3 | Troca de motores por outros de eficiência IR5 | EM1 | EM4 |
| B.4 | Troca de lâmpadas por LED juntamente com dispositivos dimerizáveis | EM1 | EM4 |
| B.5 | Automação do sistema de HVAC com sensores e desligamentos programados | EM1 | EM4 |
| B.6 | - | EM0 | EM0 |
| B.7 | - | EM2 | EM2 |
| B.8 | Instalação de banco de compensação de energia reativa por quadro e em principais cargas | EM1 | EM4 |
| B.9 | Instalação de medidores de energia, em todos os quadros e principais cargas | EM1 | EM4 |
| B.10 | Instalação de medidores de energia, em todos os quadros e principais cargas | EM1 | EM4 |
| B.11 | Instalação de medidores de energia, em todos os quadros e principais cargas | EM1 | EM4 |
| B.12 | Instalação periódica de analisadores de energia no quadro geral | EM1 | EM4 |
| B.13 | Instalação de um sistema fotovoltaico que gere de energia 4% da potência total instalada | EM0 | EM3 |
| B.14 | Realizar uma análise qualitativa e quantitativa da instalação de modo a setorizar 99% do consumo | EEPL1 | EEPL4 |
| B.15 | Instalação de um banco de compensação de energia reativa | EEPL1 | EEPL4 |
| B.16 | - | EEPL0 | EEPL0 |
| Pontuação total | | 13 | 42 |

Fonte: dados do próprio autor.

Os requisitos que não receberam sugestões de ações de eficiência energética receberam um traço (-). Com as novas pontuações apresentadas a partir do anexo B da NBR 16819:2020, apresenta-se um novo perfil de medições e níveis de desempenho de eficiência energética pelas tabelas 12 e 13.

Tabela 12: Perfil das medições de eficiência energética. A cor laranja representa a pontuação antes e a cor verde depois das ações de eficiência energética.

| Tabela | Requisito | EM0 | EM1 | EM2 | EM3 | EM4 |
|--------|--|-----|-----|-----|-----|-----|
| B.1 | Perfil de carga | | | | | |
| B.2 | Localização da subestação principal | | | | | |
| B.3 | Motores | | | | | |
| B.4 | Iluminação | | | | | |
| B.5 | HVAC | | | | | |
| B.6 | Transformadores | | | | | |
| B.7 | Sistema de cabeamento | | | | | |
| B.8 | Correção do fator de potência | | | | | |
| B.9 | Medição do fator de potência | | | | | |
| B.10 | Medição de energia e potência | | | | | |
| B.11 | Medição de tensão | | | | | |
| B.12 | Medição de harmônicas e inter-harmônicas | | | | | |
| B.13 | Energia renovável | | | | | |

Fonte: dados do próprio autor.

Tabela 13: Níveis de desempenho de eficiência energética. A cor laranja representa a pontuação antes e a cor verde depois das ações de eficiência energética.

| Tabela | Requisito | EEPL0 | EEPL1 | EEPL2 | EEPL3 | EEPL4 |
|--------|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| B.14 | Distribuição do consumo anual | | | | | |
| B.15 | Fator de potência | | | | | |
| B.16 | Eficiência do transformador | | | | | |

Fonte: dados do próprio autor.

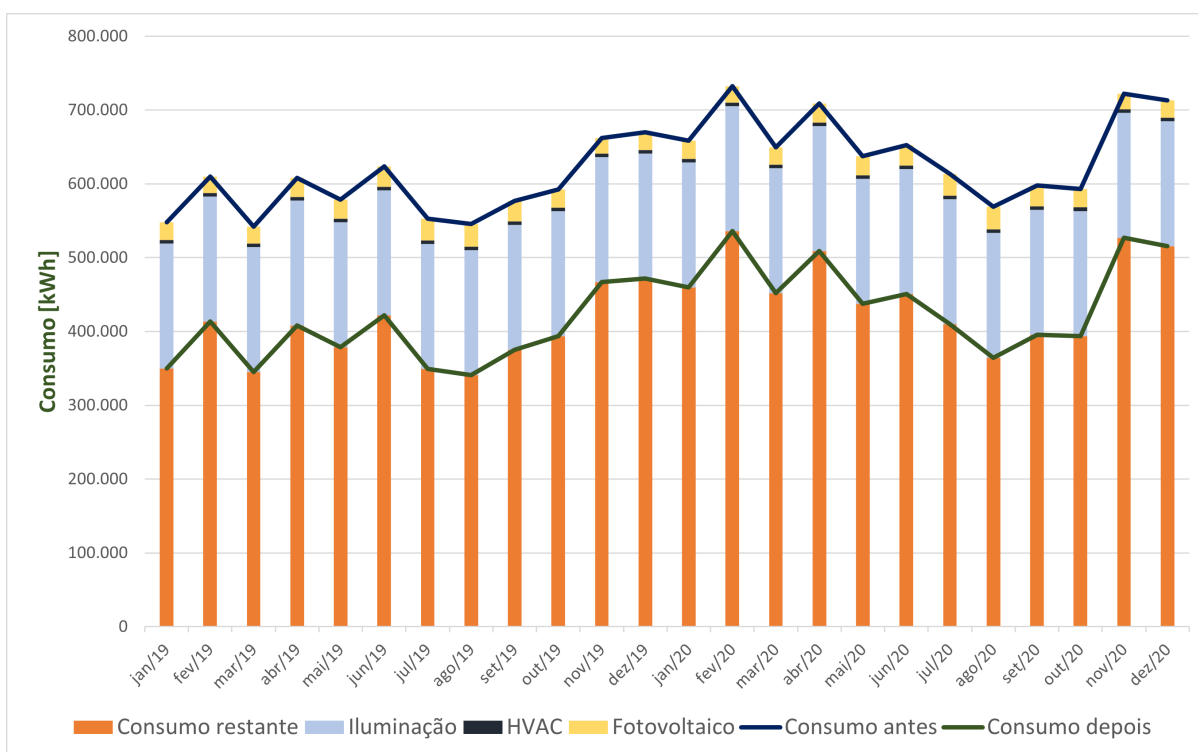
Dessa maneira, pode-se observar a relevância para um projeto de eficiência energética de se instalar dispositivos que permitem a coleta de dados sobre as instalações elétricas do estabelecimento hospitalar estudado. Isso é constatado visto que a pontuação foi acrescida de 4 para 12 com a proposta de instalação de medidores de energia no quadros e principais cargas.

Com a somatória dos pontos obtidos, infere-se que realizando as mudanças sugeridas nas instalações elétricas do estabelecimento hospitalar estudado, a Classe de Eficiência das Instalações Elétricas (EIEC) passaria de EIEC0, uma instalação de muito baixa eficiência, para EIEC4, considerada como instalação de eficiência otimizada.

4.4 Efetividade das ações propostas

De modo a ilustrar a efetividade das ações de eficiência energética propostas para o estabelecimento hospitalar estudado, apresenta-se a Figura 22 com a influência de cada ação proposta no consumo total final encontrado.

Figura 22: Comparação da influência das ações de eficiência energética no consumo final.

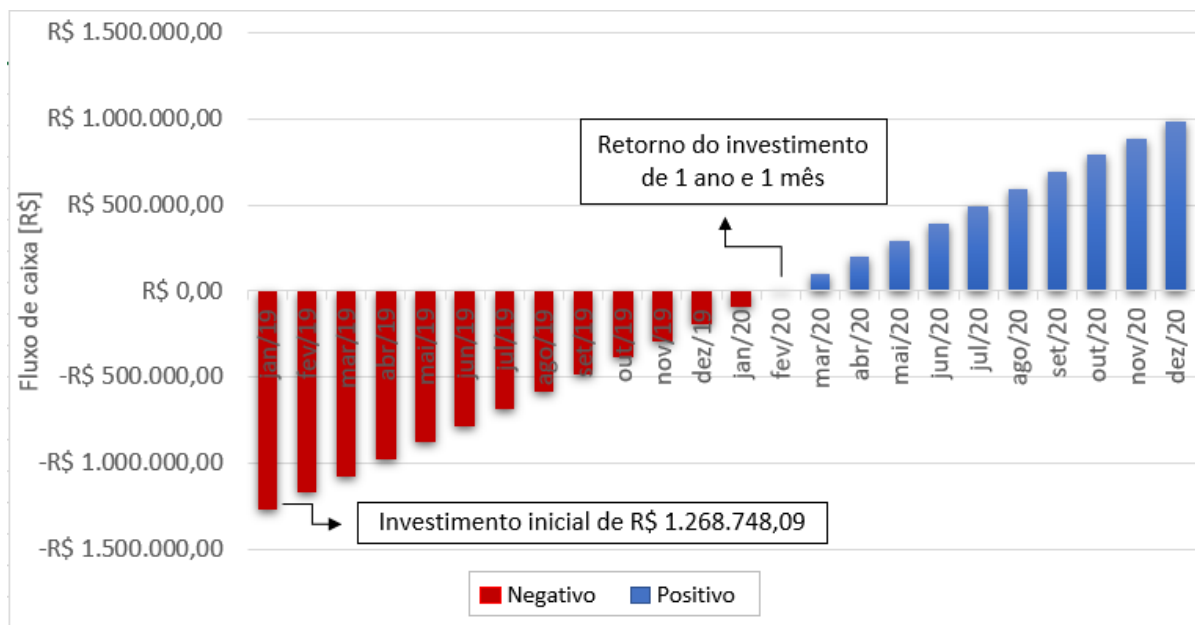


Fonte: dados do próprio autor.

Observando, na Figura 22, a relação entre o consumo antes e depois da análise das ações de eficiência energética propostas, tem-se um redução média mensal de, aproximadamente, 32%. Utilizando o valor da tarifa energética como sendo $0,49 \text{ R\$/kWh}$, é obtido o valor de economia mensal média de 97.862,83 reais.

A partir dos valores de investimento para cada ação de eficiência energética proposta, é possível realizar um cálculo de retorno financeiro sobre as trocas dos equipamentos de iluminação, dos motores de HVAC e da compra do sistema fotovoltaico. Assim, obtém-se um valor total de R\$ 1.268.748,09 e um *payback* de 1 ano e 1 mês, conforme visto na Figura 23.

Figura 23: Gráfico ilustrativo do período de *payback* simples acumulado.



Fonte: dados do próprio autor.

Dessa forma, percebe-se que o investimento em ações de eficiência energética relacionadas à iluminação, condicionamento de ar e geração distribuída fotovoltaica impacta significativamente o consumo. Além disso, obteve-se um retorno financeiro compatível com a vida útil, de acordo com cada fabricante, dos equipamentos sugeridos para instalação.

4.5 Considerações finais

A partir da metodologia proposta, foi possível a obtenção de resultados comparativos com base em dados de um estabelecimento hospitalar arbitrário. Com isso, realizou-se uma análise do consumo do local, observando o comportamento do consumo em relação a fatores climáticos, observando que o aumento do consumo apresentado na Figura 10 é evidenciado nos meses com temperaturas elevadas no ano.

Dessa maneira, com a caracterização das cargas de iluminação e dos motores do sistema de condicionamento de ar, consegue-se mensurar a relevância das ações de eficiência energética propostas. Sobre a troca das lâmpadas, foi visto que há um potencial de redução de 27% do consumo total de energia elétrica. Já para a troca dos motores de HVAC, houve uma economia de 1% da energia total consumida pelo hospital estudado. Assim, conclui-se que,

para o estabelecimento hospitalar estudado, a ação voltada para a iluminação se torna mais atrativa do que a troca dos motores, visto que o retorno de investimento na troca de lâmpadas é menor.

Ademais, para diminuir o consumo do estabelecimento hospitalar a partir de uma ação sustentável, foi feito o dimensionamento de um sistema fotovoltaico utilizando toda a área disponível para a instalação. Dessa forma, com uma potência de 179,49 *kWp*, obteve-se uma geração que possibilita o abatimento de 5% do consumo total do hospital com um *payback* de cinco anos.

Por fim, vale destacar a importância de se realizar uma análise final das instalações elétricas do estabelecimento estudado, visto a necessidade de avaliar a efetividade das ações de eficiência energética propostas. Assim, o monitoramento contínuo no plano de manutenção auxilia na identificação de novas ações a serem implementadas.

5 Conclusão

Com o contexto mundial e nacional na busca de formas de redução da demanda de energia elétrica, esse trabalho apresentou formas de otimização e diminuição do consumo em estabelecimentos hospitalares a partir de ações de eficiência energética. Dessa maneira, foram utilizadas as principais normatizações como ferramenta e referência de estudo das situações analisadas.

Foi desenvolvida uma metodologia de eficiência energética para estabelecimentos hospitalares de tal forma a auxiliar os gestores desses locais na otimização de energia elétrica juntamente com a implementação de um sistema de geração distribuída fotovoltaica às instalações. Para isso, é necessário seguir o fluxograma apresentado na Figura 14 de modo a realização do estudo energético do Estabelecimento Assistencial de Saúde (EAS).

Dessa maneira, seguindo a metodologia sugerida, realizou-se um estudo de caso de um estabelecimento hospitalar onde foi possível analisar a viabilidade das ações sugeridas. Os resultados obtidos foram satisfatórios visto que o retorno de investimento encontrado está dentro da vida útil dos equipamentos.

Ademais, com as propostas de eficiência energética realizadas para o estabelecimento hospitalar estudado, foi possível obter uma melhoria da Classe de Eficiência das Instalações Elétricas (EIEC) de EIEC0 para EIEC4, sendo considerada como uma instalação de eficiência otimizada. Além de visualizar que o investimento de R\$ 1.268.748,09 teria um retorno de investimento de 1 ano e 1 mês.

Por fim, ressalta-se a importância em se considerar parâmetros de eficiência energética e da gestão contínua do uso de energia elétrica para quaisquer projetos de engenharia. No trabalho, foram estudados hospitais no quesito de utilização energética, observando a necessidade do uso eficiente de energia elétrica devido à importância do funcionamento pleno desses locais, e economia de dinheiro, uma vez que a questão energética está atrelada a questões monetárias.

5.1 Sugestão para trabalhos futuros

De modo a aprimorar os conhecimentos acerca de eficiência energética em estabelecimentos hospitalares, apresenta-se sugestões para estudos futuros com alinhamento com esse trabalho:

- Estudo da setorização de cargas elétricas em um estabelecimento hospitalar;
- Estudo de dados de multimedidores para estudo de eficiência energética em EAS;
- Estudo de eficiência energética no controle de motores em sistema de HVAC;
- Estudo de viabilidade da instalação de bancos de compensação de energia reativa em quadros e principais cargas.

Referências

- ABB. *CMS – Circuit Monitoring System*. [S.l.]: ABB Group, 2018. 46
- ABNT. *NBR 13534 - Instalações elétricas de baixa tensão - Requisitos específicos para instalação em estabelecimentos assistenciais de saúde*. Segunda edição. [S.l.], 2008. 22
- ABNT. *NBR 16819 - Instalações elétricas de baixa tensão - Eficiência Energética*. Primeira edição. [S.l.], 2020. 24
- ALTOÉ, L. Políticas públicas de incentivo à eficiência energética. 2017. 12
- ANDRADE, W. dos S. Avaliação da confiabilidade de sistemas de distribuição e sub-transmissão considerando geração distribuída. 2007. 20, 21
- ANEEL. *Nota Técnica n89/2014-SRE/ANEEL*. 2014. Disponível em: http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2014/002/resultado/wacc_geracao_3_-fechamento_ap_v5. 40
- ANEEL. *Observatório do Programa de Eficiência Energética (OPEE)*. 2022. Disponível em: <https://siase.aneel.gov.br/WebOpee/>. 17
- ANEEL. *Luz na Tarifa*. 2023. Disponível em: <https://antigo.aneel.gov.br/luz-na-tarifa>. 40
- ANEEL, A. N. d. E. E. Guia prático de chamadas públicas do pee para proponentes. 2016. 15
- CEPEL. *Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio Brito*. 2022. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/>. 32
- CORREIA, L. M. O. Eficiência energética, gestão de energia e integração de renováveis em instalações hospitalares. 2016. 11
- CRESESB. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. 2014. 19, 36
- ENGIE. *COP26: confira as principais decisões do Pacto Climático de Glasgow*. 2021. Disponível em: <https://www.alemdaenergia.engie.com.br/cop26-confira-as-principais-decisoes-do-pacto-climatico-de-glasgow/>. 11
- EPE, E. d. P. E. Projeção da demanda de energia elétrica para os próximos 10 anos (2017-2026). 2017. 15
- EPE, E. d. P. E. *BEN Interativo*. 2022. Disponível em: <http://shinyepe.brazilsouth.cloudapp.azure.com:3838/ben/>. 8, 9
- EPE, E. d. P. E. *Plano Nacional de Energia - 2030*. 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-PNE-2030>. 12
- FRASSANITO, R. How iot and artificial intelligence can improve energy efficiency in hospitals - a north italian case study. 2022. 12
- FRONTIN, S. d. O. *Ações de eficiência energética associadas à geração distribuída: estudo de caso: Campus Darcy Ribeiro da Universidade de Brasília*. [S.l.]: Centro de Documentação – CEDOC / ANEEL, 2020. 17, 18, 19
- GIELEN, D. et al. Global energy transformation: a roadmap to 2050. Hydrogen Knowledge Centre, 2019. 7, 8
- MATHUR, A. *Energy Efficiency in Hospitals*. [S.l.]: USAID ECO-III Project, 2009. 12, 16

- MME, M. d. M. e. E. Plano nacional de eficiência energética (pnef). 2021. 7, 12, 13, 14, 15
- MOSTOFI, M. Institutional scale operational symbiosis of photovoltaic and cogeneration energy systems. 2011. 20
- ONU. *COP27: o que você precisa saber sobre a Conferência do Clima da ONU*. 2022. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/205789-cop27-o-que-voce-precisa-saber-sobre-conferencia-do-clima-da-onu>). 7
- ONU. *Global Crisis Response Group on Food, Energy and Finance*. 2022. Disponível em: <https://news.un.org/pages/global-crisis-response-group/>). 7
- PROCEL. Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso - relatório setorial: Hospitais/clínicas. 2005. 16
- RADWAN, A. F. Retrofitting of existing buildings to achieve better energy-efficiency in commercial building case study: Hospital in egypt. 2016. 12
- SANTOS, J. B. d. Adoção da energia solar fotovoltaica em hospitais: revisando a literatura e algumas experiências internacionais. 2013. 20
- SOUZA, E. S. d. Eficiência energética: substituição dos motores convencionais por motores de alto rendimento na indústria, estudo de caso. 2017. 15
- VEITCH, J. Lighting for well-being: a revolution in lighting? 2006. 19
- WEG. *Software para simulação da aplicação de motores elétricos*. 2022. Disponível em: www.weg.net/see+). 30, 31, 35, 40

A Apêndice - Relatório fornecido pelo SAM

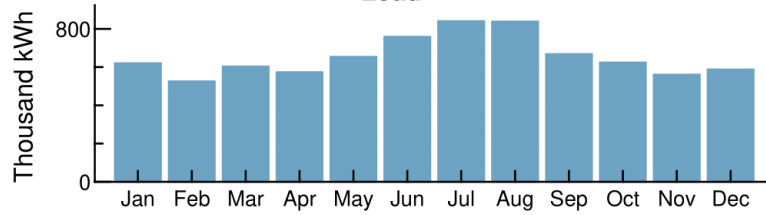
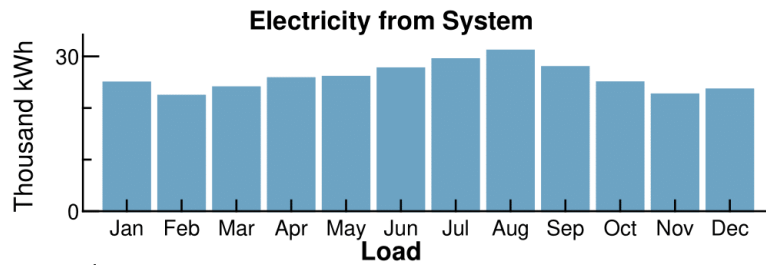
System Advisor Model Report

Detailed Photovoltaic Commercial 179 DC kW Nameplate \$0.82/W Installed Cost -15.75, -47.86 UTC -3

| Performance Model | | | | | Financial Model | |
|--|---------------------|----------|----------|----------|--|---------------|
| Modules | | | | | Project Costs | |
| HYUNDAI ENERGY SOLUTIONS CO. LTD. HiS-S400PI | | | | | Total installed cost | \$147,902 |
| Cell material | Mono-c-Si | | | | Salvage value | \$0 |
| Module area | 2.04 m ² | | | | Analysis Parameters | |
| Module capacity | 400.66 DC Watts | | | | Project life | 25 years |
| Quantity | 448 | | | | Inflation rate | 2.5% |
| Total capacity | 179.49 DC kW | | | | Real discount rate | 0% |
| Total area | 913 m ² | | | | Project Debt Parameters | |
| Inverters | | | | | Debt fraction | 100% |
| Yaskawa Solectria Solar: PVI 50TL-480 | | | | | Amount | \$147,902 |
| Unit capacity | 50 AC kW | | | | Term | 25 years |
| Input voltage | 480 - 850 VDC DC V | | | | Rate | 5% |
| Quantity | 3 | | | | Tax and Insurance Rates | |
| Total capacity | 150 AC kW | | | | Federal income tax | 21 %/year |
| DC to AC Capacity Ratio | 1.20 | | | | State income tax | 7 %/year |
| AC losses (%) | 0.00 | | | | Sales tax (% of indirect cost basis) | 5% |
| Four subarrays: | | | | | Insurance (% of installed cost) | 0.5 %/year |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | Property tax (% of assessed val.) | 0 %/year |
| Strings | 7 | 7 | 7 | 7 | Incentives | |
| Modules per string | 16 | 16 | 16 | 16 | None | |
| String Voc (DC V) | 785.60 | 785.60 | 785.60 | 785.60 | Electricity Usage and Rate Summary | |
| Tilt (deg from horizontal) | -15.75 | -15.75 | -15.75 | -15.75 | Annual peak demand | 2,963.5 kW |
| Azimuth (deg E of N) | 0 | 0 | 0 | 0 | Annual total usage | 7,847,771 kWh |
| Tracking | no | no | no | no | Generic Commercial | |
| Backtracking | - | - | - | - | Fixed charge: \$30/month | |
| Self shading | no | no | no | no | Monthly excess with kWh rollover | |
| Rotation limit (deg) | - | - | - | - | Tiered TOU energy rates: 4 periods, 1 tier | |
| Shading | no | no | no | no | Results | |
| Snow | no | no | no | no | Nominal LCOE | 3.6 cents/kWh |
| Soiling | yes | yes | yes | yes | Net present value | \$273,200 |
| DC losses (%) | 4.44 | 4.44 | 4.44 | 4.44 | Payback period | 5.8 years |
| Performance Adjustments | | | | | | |
| Availability/Curtailment | none | | | | | |
| Degradation | none | | | | | |
| Hourly or custom losses | none | | | | | |
| Annual Results (in Year 1) | | | | | | |
| GHI kWh/m ² /day | 5.71 | 5.71 | 5.71 | 5.71 | | |
| POA kWh/m ² /day | 140.00 | 140.00 | 140.00 | 140.00 | | |
| Net to inverter | 319,000 DC kWh | | | | | |
| Net to grid | 310,000 AC kWh | | | | | |
| Capacity factor | 19.7 | | | | | |
| Performance ratio | 0.79 | | | | | |

Detailed Photovoltaic 179 DC kW Nameplate -15.75, -47.86
 Commercial \$0.82/W Installed Cost UTC -3

Year 1 Monthly Generation and Load Summary



Year 1 Monthly Electric Bill and Savings (\$)

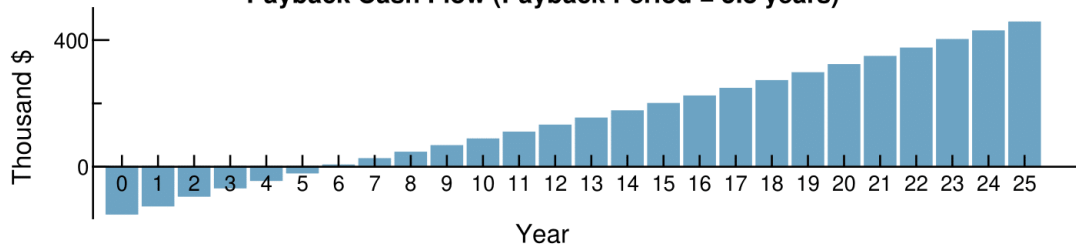
| Month | Without System | With System | Savings |
|--------|----------------|-------------|---------|
| Jan | 55,797 | 53,553 | 2,243 |
| Feb | 47,256 | 45,242 | 2,013 |
| Mar | 54,251 | 52,091 | 2,160 |
| Apr | 51,591 | 49,272 | 2,318 |
| May | 58,833 | 56,490 | 2,342 |
| Jun | 68,259 | 65,769 | 2,490 |
| Jul | 75,608 | 72,957 | 2,650 |
| Aug | 75,458 | 72,659 | 2,799 |
| Sep | 60,129 | 57,616 | 2,512 |
| Oct | 56,140 | 53,894 | 2,245 |
| Nov | 50,453 | 48,418 | 2,035 |
| Dec | 52,878 | 50,756 | 2,122 |
| Annual | 706,659 | 678,723 | 27,936 |

NPV Approximation using Annuities

| Annuities, Capital Recovery Factor (CRF) = 0.0543 | | |
|---|-----------|------------------|
| Investment | \$0 | Sum: |
| Expenses | \$-15,200 | \$14,800 |
| Savings | \$4,500 | NPV = Sum / CRF: |
| Energy value | \$25,500 | \$273,000 |

Investment = Installed Cost - Debt Principal - IBI - CBI
 Expenses = Operating Costs + Debt Payments
 Savings = Tax Deductions + PBI
 Energy value = Tax Adjusted Net Savings
 Nominal discount rate = 2.5%

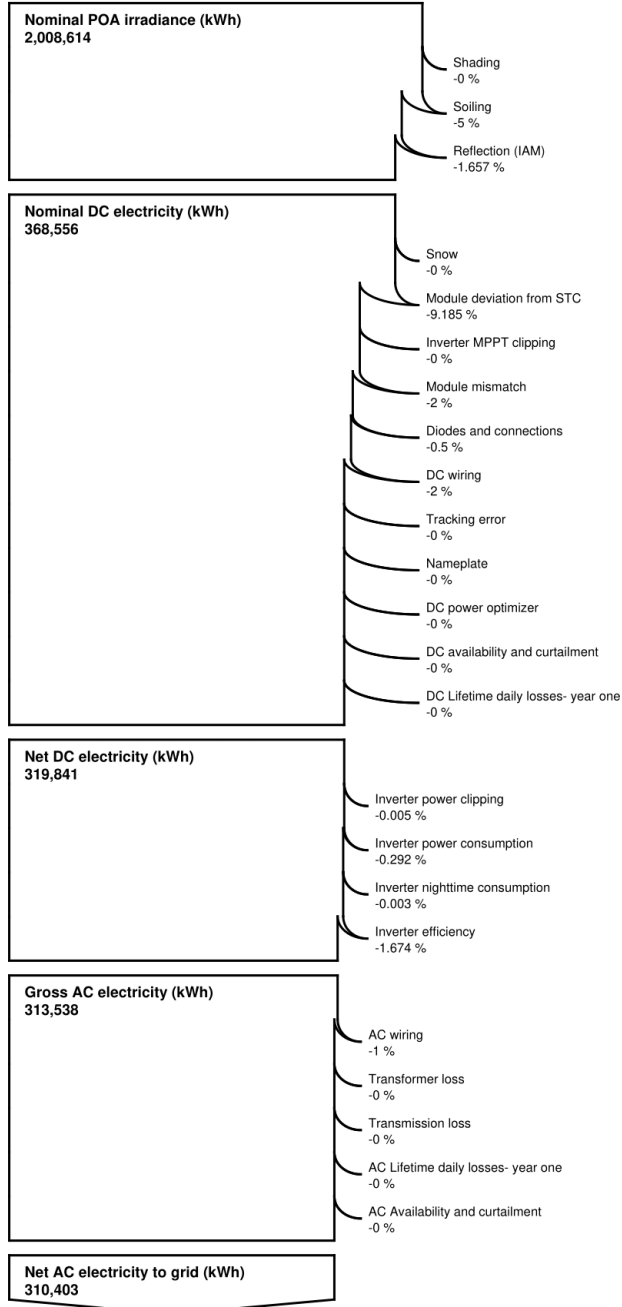
Payback Cash Flow (Payback Period = 5.8 years)



Detailed Photovoltaic
Commercial

179 DC kW Nameplate
\$0.82/W Installed Cost

-15.75, -47.86
UTC -3



B Requisitos do Anexo B da NBR 16819:2020

Tabela B.1- Determinação do perfil de carga, em quilowatt-hora (kWh)

| Setor de atividade | EM0 | EM1 | EM2 | EM3 | EM4 |
|---------------------------------------|-----------------|---|--|--|---|
| Edificações residenciais (habitações) | Não considerado | Perfil do consumo de carga da Instalação por um dia | Perfil do consumo de carga da instalação para cada dia de uma semana | Perfil do consumo de carga da Instalação para cada dia de um ano | Registro permanente dos dados do perfil de consumo de carga da Instalação |
| Comercial | | | | | |
| Industrial | | | | | |
| Infraestrutura | | | | | |

Tabela B.2 - Localização da subestação principal

| Setor de | EM0 | EM1 | EM2 | EM3 | EM4 |
|---------------------------------------|-----------------|---|---|---|---|
| Edificações residenciais (habitações) | Não considerado | A posição da subestação principal está dentro de 60 % da distância a partir da posição ótima para a carga mais distante | A posição da subestação principal está dentro de 40 % da distância a partir da posição ótima para a carga mais distante | A posição da subestação principal está dentro de 25 % da distância a partir da posição ótima para a carga mais distante | A posição da subestação principal está dentro de 10 % da distância a partir da posição ótima para a carga mais distante |
| Comercial | | | | | |
| Industrial | | | | | |
| Infraestrutura | | | | | |

NOTA A posição ótima é determinada de acordo com o método descrito no Anexo A.

Tabela B.3 - Análise da otimização requerida para motores

| Setor de atividade | EM0 | EM1 | EM2 | EM3 | EM4 |
|---------------------------------------|-----------------|---|---|--|--|
| Edificações residenciais (habitações) | Não considerado | Analisar e monitorar a classe de eficiência de motores ou acionamentos para 30 % da potência instalada em partes comuns, se existir | Analisar e otimizar a classe de eficiência de motores ou acionamentos para 30 % da potência instalada em partes | Analisar e otimizar a classe de eficiência de motores ou acionamentos para 50 % da potência instalada em | Analisar e otimizar a classe de eficiência de motores ou acionamentos para 70 % da potência instalada em |
| Comercial | Não considerado | Analisar e otimizar a classe de eficiência de motores ou acionamentos para menos de 50 % da potência instalada | Analisar e otimizar a classe de eficiência de motores ou acionamentos para 50 % da potência instalada | Analisar e otimizar a classe de eficiência de motores ou acionamentos para 70 % da potência instalada | Analisar e otimizar a classe de eficiência de motores ou acionamentos para 90 % da potência instalada |
| Industrial | Não considerado | Analisar e otimizar a classe de eficiência de motores ou acionamentos para menos de 50 % da potência instalada | Analisar e otimizar a classe de eficiência de motores ou acionamentos para mais de 50 % da potência instalada | Analisar e otimizar a classe de eficiência de motores ou acionamentos para 70 % da potência instalada | Analisar e otimizar a classe de eficiência de motores ou acionamentos para 90 % da potência instalada |
| Infraestrutura | Não considerado | Analisar e otimizar a classe de eficiência de motores ou acionamentos para menos de 50 % da potência instalada | Analisar e otimizar a classe de eficiência de motores ou acionamentos para 50 % da potência instalada | Analisar e otimizar a classe de eficiência de motores ou acionamentos para 70 % da potência | Analisar e otimizar a classe de eficiência de motores ou acionamentos para 90 % da potência instalada |

Tabela B.4 - Análise da otimização requerida para Iluminação

| Setor de atividade | EM0 | EM1 | EM2 | EM3 | EM4 |
|---------------------------------------|-----------------|--|---|--|--|
| Edificações residenciais (habitações) | Não considerado | Considerar o tipo e a posição da lâmpada | Considerar o tipo e a posição da lâmpada com a iluminação natural | Controle de acordo com a fonte de iluminação natural, ou utilização da edificação ou tipo de lâmpada | Controle de acordo com a fonte de iluminação natural, e utilização da edificação, considerando o tipo de lâmpada |
| Comercial | | | | | |
| Industrial | | | | | |
| Infraestrutura | | | | | |

Tabela B.5 - Análise da otimização requerida para HVAC

| Setor de atividade | EM0 | EM1 | EM2 | EM3 | EM4 |
|---|-----------------|-------------------------|--|--|--|
| Edificações residenciais (habitações) | Não considerado | Não considerado | Controle da temperatura | Controle da temperatura no nível de uma zona | Controle do tempo e da temperatura na zona |
| Comercial | Não considerado | Controle da temperatura | Controle da temperatura no nível da zona | Controle do tempo e da temperatura na zona | Controle do tempo e pleno controle por sensores por zona |
| Industrial | Não considerado | Controle da temperatura | Controle da temperatura da zona | Controle do tempo e da temperatura da zona | Controle do tempo e pleno controle por sensores por zona |
| Infraestrutura | Não considerado | Controle da temperatura | Controle da temperatura da zona | Controle do tempo e da temperatura da zona | Controle do tempo e pleno controle por sensores por zona |
| NOTA Pleno controle por sensores inclui temperatura, umidade, luz do dia, CO2 etc | | | | | |

Tabela B.6 - Análise da otimização requerida para transformadores

| Setor de atividade | EM0 | EM1 | EM2 | EM3 | EM4 |
|---------------------------------------|-----------------|-----------------|---|--|--|
| Edificações residenciais (habitações) | Não considerado | Não considerado | Seleção de todos os transformadores de acordo com o custo do ciclo de vida, conforme estimativa de perdas magnéticas e perdas no cobre ou perdas no ponto de operação | Seleção de todos os transformadores de acordo com o custo do ciclo de vida conforme estimativa de perdas magnéticas e perdas no cobre ou perdas no ponto de operação | Seleção de todos os transformadores de acordo com o custo do ciclo de vida conforme estimativa de perdas magnéticas e perdas no cobre ou perdas no ponto de operação |
| Comercial | | | | | |
| Industrial | | | | | |
| Infraestrutura | | | | | |

Tabela B.7 - Análise da otimização requerida para o sistema de cabeamento

| Setor de atividade | EM0 | EM1 | EM2 | EM3 | EM4 |
|---------------------------------------|-----------------|--|--|---|--|
| Edificações residenciais (habitações) | Não considerado | o sistema de cabeamento foi otimizado com os métodos descritos em 6.3 ou 6.5 | o sistema de cabeamento foi otimizado com os métodos descritos em 6.3 ou 6.5 | o sistema de cabeamento foi otimizado com os métodos descritos em 7.3 | o sistema de cabeamento foi otimizado com os métodos descritos em 6.3, 6.5 e 7.3 |
| Comercial | | | | | |
| Industrial | | | | | |
| Infraestrutura | | | | | |

Tabela B.8 - Análise da otimização requerida para correção do fator de potência

| Setor de atividade | EM0 | EM1 | EM2 | EM3 | EM4 |
|---------------------------------------|-----------------|---|---|--|--|
| Edificações residenciais (habitações) | Não considerado | Não considerado | O nível de potência reativa máxima é definido | Compensação para grandes motores em partes comuns, se existirem | Compensação para grandes motores em partes comuns, se existirem |
| Comercial | Não considerado | O nível de potência reativa máxima é definido | Compensação central | Compensação central (pequena edificação comercial) ou compensação por zona (com automação) (para grandes edificações) | Compensação por zona (com automação) e compensação Individual |
| Industrial | Não considerado | O nível de potência reativa máxima é definido | Compensação central | Compensação por zona ou utilização (com automação) | Compensação por zona e utilização (com automação) e compensação Individual |
| Infraestrutura | Não considerado | O nível de potência reativa máxima é definido | Compensação central | Compensação central (pequena edificação comercial) ou compensação por zona (com automação) (para grandes edificações comerciais) | Compensação por zona (com automação) e compensação Individual |

Tabela B.9 - Requisitos de medição do fator de potência (PF)

| Setor de | EM0 | EM1 | EM2 | EM3 | EM4 |
|---------------------------------------|-----------------|---|--|--|---|
| Edificações residenciais (habitações) | Não considerado | Não considerado | Medições ocasionais | Medições ocasionais | Medição permanente no quadro de distribuição principal |
| Comercial | Não considerado | Medição periódica no quadro de distribuição principal | Medição permanente no quadro de distribuição principal | Medição permanente no quadro de distribuição principal e nos quadros de distribuição | Medição permanente no quadro de distribuição principal, nos quadros de distribuição e nas principais cargas |
| Industrial | Não considerado | Medição periódica no quadro de distribuição principal | Medição permanente no quadro de distribuição principal | Medição permanente no quadro de distribuição principal e nos quadros de distribuição | Medição permanente no quadro de distribuição principal, nos quadros de distribuição e nas principais cargas |
| Infraestrutura | Não considerado | Medição periódica no quadro de distribuição principal | Medição permanente no quadro de distribuição principal | Medição permanente no quadro de distribuição principal e nos quadros de distribuição | Medição permanente no quadro de distribuição principal, nos quadros de distribuição e nas principais cargas |

Tabela B.10 - Requisitos de medição da energia elétrica (kWh) e da potência (kW)

| Setor de atividade | EM0 | EM1 | EM2 | EM3 | EM4 |
|---------------------------------------|-----------------|---|---|---|---|
| Edificações residenciais (habitações) | Não considerado | Medição de equipamentos de grande porte em áreas comuns, se existirem | Medição de equipamentos de grande porte em áreas comuns, se existirem, e medição por zona ou por utilização | Medição de equipamentos de grande porte em áreas comuns, se existirem, e medição por zona ou por utilização | Medição de equipamentos de grande porte em áreas comuns, se existirem, e medição por zona, por utilização e por malha |
| Comercial | Não considerado | Medição de equipamentos de grande porte | Medição de equipamentos de grande porte e medição por zona ou por utilização | Medição de equipamentos de grande porte e medição por zona e por utilização | Medição de equipamentos de grande porte e medição por zona, por utilização e por malha |
| Industrial | Não considerado | Medição de equipamentos de grande porte | Medição de equipamentos de grande porte e medição por zona ou por utilização | Medição de equipamentos de grande porte e medição por zona e por utilização | Medição de equipamentos de grande porte e medição por zona, por utilização e por malha |
| Infraestrutura | Não considerado | Medição de equipamentos de grande porte | Medição de equipamentos de grande porte e medição por zona ou por utilização | Medição de equipamentos de grande porte e medição por zona e por utilização | Medição de equipamentos de grande porte e medição por zona, por utilização e por malha |

Tabela B.11- Requisitos de medição de tensão (V) *

| Setor de atividade | EMO | EM1 | EM2 | EM3 | EM4 |
|---------------------------------------|-----------------|---|--|--|---|
| Edificações residenciais (habitações) | Não considerado | Não considerado | Medições ocasionais | Medições ocasionais | Medição permanente no quadro de distribuição principal |
| Comercial | Não considerado | Medição periódica no quadro de distribuição principal | Medição permanente no quadro de distribuição principal | Medição permanente no quadro de distribuição principal e nos quadros de distribuição | Medição permanente no quadro de distribuição principal, nos quadros de distribuição e nas principais cargas |
| Industrial | Não considerado | Medição periódica no quadro de distribuição principal | Medição permanente no quadro de distribuição principal | Medição permanente no quadro de distribuição principal e nos quadros de distribuição | Medição permanente no quadro de distribuição principal, nos quadros de distribuição e nas principais cargas |
| Infraestrutura | Não considerado | Medição periódica no quadro de distribuição principal | Medição permanente no quadro de distribuição principal | Medição permanente no quadro de distribuição principal e nos quadros de distribuição | Medição permanente no quadro de distribuição principal, nos quadros de distribuição e nas principais cargas |

* Para a medida da tensão, o equipamento de medição deve ser conforme a IEC 61557-12.

Tabela B.12- Requisitos de medição de harmônicas e inter-harmônicas ^a

| Setor de | EM0 | EM1 | EM2 | EM3 | EM4 |
|---------------------------------------|-----------------|--|--|---|--|
| Edificações residenciais (habitações) | Não considerado | Não considerado | Não considerado | Não considerado | Não considerado |
| Comercial | Não considerado | Nenhum requisito específico | Medição ocasional de DTT e DTC na origem da instalação | Medição periódica de DTT e DTC e espectro harmônico detalhado na origem da instalação | Medição permanente de DTT e DTC e espectro harmônico detalhado na origem da instalação e para cada cabo de alimentação principal |
| Industrial | Não considerado | Medição ocasional de DTT e DTC na origem da instalação | Medição ocasional de DTT e DTC na origem da instalação e em cada cabo de alimentação principal | Medição periódica de DTT e DTC e espectro harmônico detalhado na origem da instalação (incluindo as inter-harmônicas) | Medição permanente de DTT e DTC e espectro harmônico detalhado na origem da instalação e para cada cabo de alimentação principal (incluindo as inter-harmônicas) |
| Infraestrutura | Não considerado | Medição ocasional de DTT e DTC na origem da instalação | Medição ocasional de DTT e DTC na origem da instalação e em cada cabo de alimentação principal | Medição periódica de DTT e DTC e espectro harmônico detalhado na origem da instalação (incluindo as inter-harmônicas) | Medição permanente de DTT e DTC e espectro harmônico detalhado na origem da instalação e para cada cabo de alimentação principal (incluindo as inter-harmônicas) |

^a Caso sejam medidas harmônicas ou inter-harmônicas, a medição deve ser conforme a IEC 61557-12.

Tabela B.13- Requisitos de energia renovável

| Setor de | EM0 | EM1 | EM2 | EM3 | EM4 |
|---------------------------------------|-----------------|---|---|---|--|
| Edificações residenciais (habitações) | Não considerado | Não considerado | Considerar a fonte de energia renovável | Instalar a fonte de energia renovável fornecendo pelo menos 4% do total de potência elétrica instalada disponível | Instalar a fonte de energia renovável fornecendo pelo menos 6% do total de potência elétrica instalada disponível |
| Comercial | Não considerado | Considerar a fonte de energia renovável | Instalar a fonte de energia renovável | Instalar a fonte de energia renovável fornecendo pelo menos 5% do total de potência elétrica instalada disponível | Instalar a fonte de energia renovável fornecendo pelo menos 10% do total de potência elétrica instalada disponível |
| Industrial | Não considerado | Considerar a fonte de energia renovável | Instalar a fonte de energia renovável | Instalar a fonte de energia renovável fornecendo pelo menos 1% do total de potência elétrica instalada disponível | Instalar a fonte de energia renovável fornecendo pelo menos 2% do total de potência elétrica instalada disponível |
| Infraestrutura | Não considerado | Considerar a fonte de energia renovável | Instalar a fonte de energia renovável | Instalar a fonte de energia renovável fornecendo pelo menos 2% do total de potência elétrica instalada disponível | Instalar a fonte de energia renovável fornecendo pelo menos 4% do total de potência elétrica instalada disponível |

Tabela B.14 - Requisitos mínimos para a distribuição do consumo anual

| Setor de atividade | EEPL0 | EEPL1 | EEPL2 | EEPL3 | EEPL4 |
|---------------------------------------|-----------------|--|--|--|--|
| Edificações residenciais (habitações) | Não considerado | 80 % do consumo anual pode ser dividido entre as utilizações (iluminação, HVAC, processo etc.) | 90 % do consumo anual pode ser dividido entre as utilizações (iluminação, HVAC, processo etc.) | 95 % do consumo anual pode ser dividido entre as utilizações (iluminação, HVAC, processo etc.) | 99 % do consumo anual pode ser dividido entre as utilizações (iluminação, HVAC, processo etc.) e entre zonas |
| Comercial | Não considerado | 80 % do consumo anual pode ser dividido entre as utilizações (iluminação, HVAC, processo etc.) | 90 % do consumo anual pode ser dividido entre as utilizações (iluminação, HVAC, processo etc.) | 95 % do consumo anual pode ser dividido entre as utilizações (iluminação, HVAC, processo etc.) | 99 % do consumo anual pode ser dividido entre as utilizações (iluminação, HVAC, processo etc.) e entre zonas |
| Industrial | | | | | |
| Infraestrutura | | | | | |

Tabela B.15 - Requisitos mínimos de redução da potência reativa

| Setor de atividade | EEPL0 | EEPL1 | EEPL2 | EEPL3 | EEPL4 |
|---------------------------------------|-----------------|-------|-------|-------|-------|
| Edificações residenciais (habitações) | Não considerado | >0,85 | >0,90 | >0,93 | >0,95 |
| Comercial | Não considerado | >0,85 | >0,90 | >0,93 | >0,95 |
| Industrial | Não considerado | >0,85 | >0,90 | >0,93 | >0,95 |
| Infraestrutura | Não considerado | >0,85 | >0,90 | >0,93 | >0,95 |

Tabela B.16 - Requisitos mínimos para a eficiência do transformador

| Setor de atividade | EEPL0 | EEPL1 | EEPL2 | EEPL3 | EEPL4 |
|---------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Edificações residenciais (habitações) | Não considerado | Não considerado | Não considerado | Não considerado | Não considerado |
| Comercial | Não considerado | >95 % | >97 % | >98 % | >99 % |
| Industrial | Não considerado | >95 % | >97 % | >98 % | >99 % |
| Infraestrutura | Não considerado | >95 % | >97 % | >98 % | >99 % |

NOTA Os países podem adaptar os valores desta Tabela aos requisitos locais.