

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Escola Politécnica
PECE – Programa de Educação Continuada
Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética

Eficiência Energética e Energia Fotovoltaica como Tecnologias Complementares em Supermercados

Álvaro Augusto Valença de Melo Quadrado

São Paulo
2018

Dedicatória

Dedico este trabalho ao meu avô Erasmo que sempre foi meu espelho de sabedoria e persistência na busca pela solução de problemas, como deve ser um engenheiro de verdade. Gostaria que ele pudesse estar aqui para ver mais esta vitória, que com certeza começou com ele, quando me ensinou o gosto pelas olimpíadas de matemática, ainda no ensino infantil. Sei que elealaria: “Esse é o gênio!” e comemoraria mais essa vitória como se fosse dele. Este trabalho é mais um pedaço da sua conquista nesse mundo, meu vizinho querido. A saudade ainda é grande, mas você seguirá sempre vivo nas minhas vitórias. Eterna gratidão a Erasmo Sérgio de Melo.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus por ter me dado a oportunidade de finalizar mais uma etapa na minha vida. Minha filha Isabela, que tem sido o motivo pelo qual levanto e tento ser melhor sempre. Depois gostaria de agradecer a minha avó Maria José por ter confiado em mim e financiado meus estudos, mesmo morando em Brasília e estudando em São Paulo, essa loucura não seria possível sem seu apoio. Minha mãe, que é meu pilar desde que nasci e também financiou grande parte dessa loucura com passagens e hospedagens a cada 7 dias. Agradecer a todos os professores doutores e mestres do curso de Especialização em Energias Renováveis, Eficiência Energética e Geração Distribuída do PECE por todo o conhecimento e paciência desprendida para nós alunos. Mariana Areias, que foi por muito tempo um braço forte que me empurrou para São Paulo sempre que o cansaço batia um pouco mais forte às sextas feiras de manhã. A todos meus amigos que fiz neste curso pelo companheirismo com o qual me acolheram. Aos outros familiares e amigos de Brasília que tiveram que se contentar em me ver apenas aos Sábados e Domingos, mas nunca às sextas. Por fim, agradeço a todos que de certa forma contribuíram para que eu pudesse chegar até aqui.

RESUMO

O presente trabalho visa estudar a utilização da eficiência energética e da geração fotovoltaica como tecnologias complementares em supermercados. Foram realizados 2 estudos práticos em supermercados da região do DF para a comprovação da teoria. Os dados para o estudo prático foram obtidos durante visitas realizadas entre os meses de Julho e Novembro de 2017. As visitas realizadas tiveram o objetivo de comprovar o benefício prático da implementação de projetos de eficiência energética em supermercados. Os fatores analisados foram iluminação, sistemas de refrigeração (cargas térmicas) e outros equipamentos operacionais (neste grupo entram equipamentos como evaporadores, máquinas de resinite, forno de lastro, etc). Ao final do processo, foi possível observar que apesar de apresentarem relevância de forma independente, apenas com a utilização das duas tecnologias de forma complementar, os empreendimentos conseguem atingir uma redução significativa da demanda de energia elétrica.

Palavras Chave: Eficiência Energética, Energia Fotovoltaica, Supermercados, Sustentabilidade, Sistemas eficientes.

ABSTRACT

The present work aims to understand the use of energy efficiency projects and photovoltaic generation as complementary technologies for supermarkets. Two cases were carried out to prove the theory. The data for practical study were obtained during visits at the markets between July and November 2017. The visits had the objective of proving the practical benefit of the implementation of energy efficiency projects in supermarkets. The analyzed factors were lighting, cooling systems (thermal loads) and other operational equipment (in this group enter equipment such as evaporators, resinite machines, ballast furnace, etc). At the end of the process, we observed that, in spite of their relevance independently, only with both technologies in a complementary way, the projects managed to achieve a significant reduction of the electric energy demand.

Key Words: Energy Efficiency, Photovoltaics, Supermarkets, Sustainability, Sustainable, Efficient systems.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	1
1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO	1
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	2
2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	3
2.1 CONTEXTO ENERGÉTICO	3
2.2 SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO	5
2.3 SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO	5
2.4 DEMAIS EQUIPAMENTOS OPERACIONAIS	6
3 ENERGIA FOTOVOLTAICA	7
3.1 FUNDAMENTOS DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	7
3.1.1 Efeito Fotoelétrico	7
3.1.2 Geometria Solar	7
3.1.3 Potencial Solarimétrico	8
3.2 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	10
3.2.1 Sistema On-Grid	10
3.2.2 Sistema Off-Grid	11
3.2.3 Sistemas de Back-up	12
3.2.4 Aplicações	13
3.3 DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS ON-GRID	14
3.3.1 Demanda Energética	14
3.3.2 Capacidade de Geração por Localidade	15
3.3.3 Seleção dos Painéis Fotovoltaicos	16
3.3.4 Seleção do Inversor	16
3.3.5 Definição das Strings	17
3.3.6 Demais Equipamentos	18
3.4 LEGISLAÇÃO PARA SISTEMAS CONECTADOS A REDE	18
4 ESTUDOS DE CASOS	20
4.1 SUPERMERCADO A	20
4.1.0 Caso Base	20
4.1.1 Sistema Fotovoltaico sem Eficiência Energética	21
4.1.2 Projeto de Eficiência Energética	24
4.1.3 Sistema Fotovoltaico com Eficiência Energética	28
4.2 SUPERMERCADO B	32
4.2.0 Caso Base	32
4.2.1 Sistema Fotovoltaico sem Eficiência Energética	33
4.2.2 Projeto de Eficiência Energética	35
4.2.3 Sistema Fotovoltaico com Eficiência Energética Implementada	40
4.2.4 Sistema Fotovoltaico com Eficiência Energética Projetada	45
5 ANÁLISE DE RESULTADOS	46
5.1 METODOLOGIA DE ANÁLISE	46
5.2 SISTEMA FOTOVOLTAICO	46
5.2.1 Supermercado A	46
5.2.2 Supermercado B	49
5.3 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	51
5.3.1 Supermercado A	51
5.3.2 Supermercado B	51
5.4 TECNOLOGIAS COMPLEMENTARES	53
5.4.1 Supermercado A	53
5.4.2 Supermercado B	54

6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES	55
6.1 CONCLUSÕES	55
6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	55
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56
APÊNDICES	58
APÊNDICE 1 – DATASHEET CANADIAN SOLAR MAXPOWER CS6X 320W	58
APÊNDICE 2 – DATASHEET ABB TRIO-50.0-TL-OUTD 50kW	60
APÊNDICE 3 - FLUXO DE CAIXA SUPERMERCADO A.....	64
APÊNDICE 4 - FLUXO DE CAIXA SUPERMERCADO B.....	66
APÊNDICE 5 – RESULTADO SISTEMA CRESESB	68
APÊNDICE 6 – RESULTADO SISTEMA NREL - SWERA	69
APÊNDICE 7 – LUMINÁRIA T8 – FS-840.....	70

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 Oferta Interna de Energia Elétrica.....	3
Gráfico 2.1 Matriz Energética Brasileira (Consumidores).....	4
Gráfico 2.2 – Perfil de consumo de supermercados.....	4
Figura 3.1 Sistema On-Grid.....	11
Figura 3.2 Sistema Off-Grid Residencial.....	12
Figura 3.3 Sistema Back-up.....	13
Figura 3.4 Dados de Irradiação Brasília.....	15
Gráfico 4.1 – Gastos com conta de energia Supermercado A.....	20
Gráfico 4.2 – Consumo por setor Supermercado A.....	21
Gráfico 4.3 Matriz Energética do Sistema de Refrigeração A.....	26
Gráfico 4.4 – Comparação de consumo supermercado A.....	28
Figura 4.1 – Dimensão 1 supermercado A.....	31
Figura 4.2 – Dimensão 2 supermercado A.....	31
Gráfico 4.5 – Gastos com conta de energia Supermercado B.....	32
Gráfico 4.6 – Consumo por setor Supermercado B.....	33
Gráfico 4.7 Matriz Energética do Sistema de Refrigeração B.....	38
Gráfico 4.8 – Comparação de consumo supermercado B.....	39
Figura 4.3 – Dimensão 1 supermercado B.....	43
Figura 4.4 – Dimensão 2 supermercado B.....	44
Gráfico 5.1 Fluxo de caixa Sistema Fotovoltaico I A.....	48
Gráfico 5.2 Fluxo de caixa Sistema Fotovoltaico I B.....	50

LISTA DE TABELAS

3.1 Padrão de consumo.....	14
3.2 Padrão de geração ideal.....	15
3.3 Dados de Irradiação Brasília.....	15
4.1 Valores de Tarifas CEB.....	20
4.2 Fator de Utilização	24
4.3 Auxiliar Fator de Utilização.....	25
4.4 Fator de Manutenção.....	25
4.5 NBR – ISO – 8995.....	25
5.1 Dados Sistema Fotovoltaico I A.....	46
5.2 Valores do Sistema Fotovoltaico I A.....	47
5.3 Inflação de energia elétrica CEB.....	47
5.4 Dados Sistema Fotovoltaico I B.....	49
5.5 Valores do Sistema Fotovoltaico I B.....	49
5.6 Gastos Eficiência Sistemas de Refrigeração A.....	51
5.7 Gastos Eficiência Sistemas de Refrigeração B.....	51
5.8 Gastos sugeridos Eficiência Sistemas de Refrigeração B.....	52
5.9 Resumo Caso A.....	53
5.10 Resultado Caso A.....	53
5.11 Resumo Caso B	54
5.12 Resultado Caso B.....	54

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

A partir de 2012, com a publicação da Resolução Normativa 482 da ANEEL, que regulamenta o acesso de micro e minigeração distribuída à rede de energia elétrica, além de introduzir o sistema de compensação de energia, começou a crescer no Brasil o interesse em torno de sistemas de geração fotovoltaica voltados para pessoas físicas e pequenos comércios. Mas foi com a revisão desta resolução, através da publicação da Resolução Normativa 687, do ano de 2015, que trouxe várias melhorias e facilitou ainda mais o acesso à rede das concessionárias, reduzindo prazos, aumentando as oportunidades de produção (sistemas de condomínios, geração remota, etc) e ampliando prazos para a utilização da energia gerada através do sistema de compensação de energia elétrica, que o Brasil começou a viver o boom no número de instalações de sistemas de geração fotovoltaica.

Desta forma, começaram a surgir várias empresas e profissionais autônomos interessados em participar de um mercado promissor e em crescimento. O grande número de players em um mercado ainda novo e pouco explorado trouxe consigo uma guerra por clientes que acarretou em uma queda nos preços e consequentemente na qualidade dos serviços oferecidos. Empresas preocupadas em instalar sistemas de geração maiores que a necessidade real do cliente, por preços abaixo do ideal, muitas vezes pela simples falta de um estudo de eficiência energética do local ou por falta de expertise no assunto por parte da empresa prestadora deste serviço.

Dentro deste cenário, o presente trabalho une ideias de Eficiência Energética e Geração Fotovoltaica com estudos práticos em supermercados para a demonstração da complementaridade dessas duas tecnologias, visando projetos cada vez mais sustentáveis.

1.2 Objetivos do Trabalho

O principal objetivo deste trabalho é a comprovação da complementaridade da Eficiência Energética e da Geração de Energia Elétrica pela fonte Fotovoltaica para estabelecimentos comerciais, no trabalho representado por Supermercados. Para isso, foram realizados dois estudos de caso práticos em estabelecimentos na região do Distrito Federal. Vale ressaltar que a análise ficou restrita aos principais gastos energéticos dos supermercados: refrigeração, iluminação e outros equipamentos operacionais.

Existem três objetivos menores que podem ser citados como complementares para a obtenção dos resultados finais. Primeiramente, é realizada um dimensionamento de um sistema fotovoltaico a ser implementado antes que um estudo de eficiência energética seja realizado.

Passada a fase de estudos iniciais, começam os estudos para implementação do projeto de eficiência energética. Constata-se se a realização prática deste projeto é realmente viável, quais serão seus ganhos e quais os custos provenientes desta implementação.

Ao final da fase de eficiência energética, se atinge a última parte do projeto, a fase de dimensionamento e análise de viabilidade do sistema de geração fotovoltaica para a nova demanda de energia. A partir daí, é possível definir se a eficiência energética realmente foi complementar ao sistema fotovoltaico, ou seja, se este estudo preliminar à instalação do gerador trouxe ganhos econômicos para o supermercado.

1.3 Estrutura do Trabalho

O Capítulo 2 traz um breve resumo das possíveis formas de aplicação da eficiência energética dentro de um supermercado. Para isso, são levados em consideração apenas os principais fatores que compõem a demanda energética de um empreendimento deste porte: iluminação, refrigeração e demais equipamentos operacionais.

O Capítulo 3 traz a parte teórica necessária para o estudo da tecnologia fotovoltaica. Se inicia dando uma ideia geral sobre o efeito fotoelétrico e sobre a geometria solar, conceitos importantes para o entendimento desta tecnologia. Logo após, passamos por um tutorial prático de como conseguir encontrar dados solarimétricos que facilitam muito na hora do dimensionamento dos sistemas. Em seguida, temos um breve resumo sobre os principais tipos de sistemas fotovoltaicos encontrados comercialmente. Passamos então a parte de dimensionamento de sistemas On-Grid, que serão estudados no estudo de caso. E o capítulo se encerra dando uma ideia superficial do sistema regulatório da geração distribuída.

O Capítulo 4 apresenta os estudos de casos trazidos para este trabalho. Passa pelas diversas etapas do estudo, realizando os cálculos que serão analisados no capítulo subsequente.

O Capítulo 5, apresenta a análise dos resultados obtidos no capítulo anterior. Nele encontramos um resumo simples de tudo o que foi exposto no trabalho prático realizado em campo.

O Capítulo 6, por fim, apresenta as conclusões obtidas durante os capítulos anteriores, podendo ser definido então se os objetivos foram alcançados de forma satisfatória. Ao final deste capítulo ainda são sugeridos futuros trabalhos nesta área.

2 Eficiência Energética

Tendo em vista que o primeiro objetivo deste trabalho é analisar a viabilidade de um projeto de eficiência energética em supermercados, torna-se importante entender como a eficiência pode ser alcançada nos principais setores de consumo de energia nestes estabelecimentos.

Neste capítulo serão avaliados os principais pontos de consumo de energia dentro dos supermercados e como a eficiência energética pode afetar cada um destes setores. O capítulo inicia dando uma ideia geral sobre eficiência nas áreas de iluminação e refrigeração e se encerra comentando sobre como alcançar um consumo mais eficiente dos demais equipamentos operacionais dos supermercados.

2.1 Contexto energético

A crescente demanda de energia somada às limitações de fontes para obtenção da mesma tem feito com que aspectos relacionados ao uso racional dos recursos (aqui não falamos apenas de energia elétrica, mas todo tipo de recurso/energia), ou seja, a eficiência energética tenha crescido em relevância.

No Brasil, a geração de energia elétrica é predominantemente hidrelétrica, com participação de quase 70% de toda energia elétrica gerada no país, segundo boletim mensal de energia do MME (Ministério de Minas e Energia). A imagem a seguir mostra as fontes mais importantes na geração de energia elétrica brasileira.

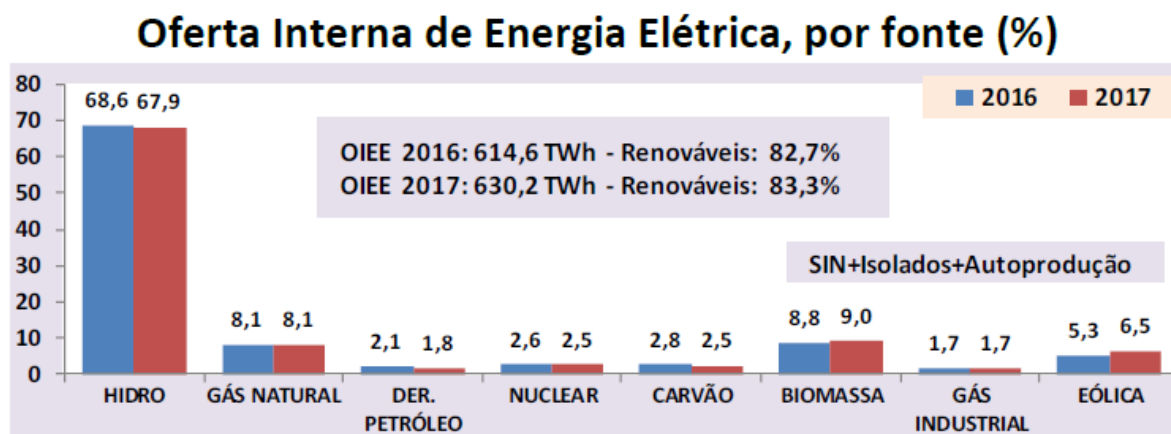


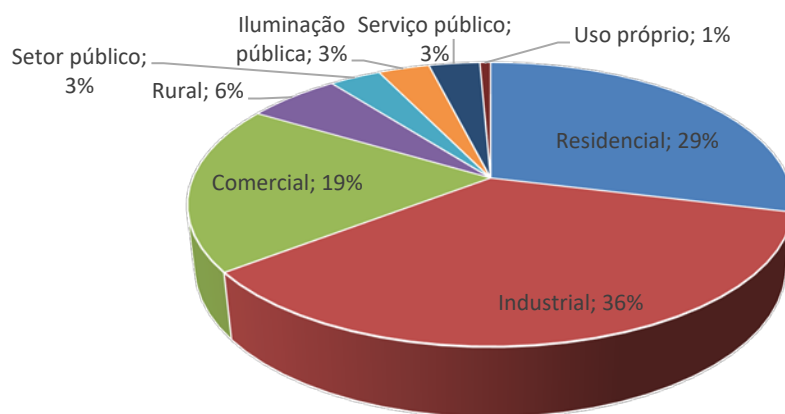
Figura 2.1 – Oferta Interna de Energia Elétrica

Assim, com a recente crise hídrica vivida pelo país, se torna cada vez mais mandatório a utilização eficiente de energia, uma vez que maior parte da produção energética brasileira depende de recursos hídricos. Segundo o estudo “Conjuntura dos recursos hídricos do Brasil” publicado pela ANA (Agência Nacional de Águas), até bacias da Amazônia que regularmente apresentam cheias intensas, como a do rio Acre, estão apresentando estiagens severas.

Somado ao problema de falta de recursos, principalmente hídricos, para a geração de energia, a crescente demanda de energia de um país que tenta se recuperar de uma crise econômica agrava ainda mais a desigualdade na equação oferta e demanda energética.

Segundo o “Anuário estatístico de energia elétrica de 2017” apresentado pela EPE (Empresa de Pesquisa Energética, 2017), a matriz de demanda energética brasileira por setores é dada pelo gráfico apresentado a seguir.

Gráfico 2.1 – Matriz Energética Brasileira (Consumidores)



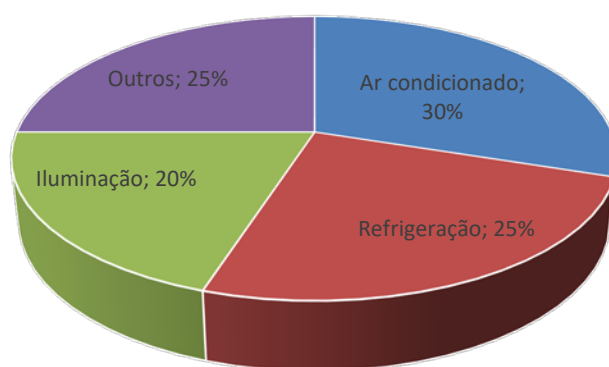
Dentro deste cenário, os supermercados têm participação representativa por serem grandes consumidores dentro do comércio, que representa quase 20% de toda demanda energética brasileira. Ainda segundo este mesmo anuário, o comércio varejista e o comércio por atacado representam, respectivamente, 35,8% e 7,9% deste consumo. Assim, os supermercados representam 8,3%, aproximadamente, de toda demanda energética brasileira, podendo serem considerados importantes consumidores de energia.

Desta forma, um estudo sobre eficiência energética nestes consumidores se faz importante, uma vez que pode resultar em uma economia representativa de energia para a matriz brasileira.

Internamente, os custos com energia elétrica são a segunda maior despesa de um supermercado, segundo Paulo Henrique Silva de Souza (2016), fazendo com que uma redução de consumo possa representar um ganho expressivo de recursos ao final do balanço econômico destes empreendimentos.

O consumo energético de um supermercado pode ser setorizado e, segundo Panesi (2008), os maiores vilões são os sistemas de ar-condicionado, refrigeração e iluminação. O gráfico a seguir mostra como essa setorização ocorre.

Gráfico 2.2 – Perfil de consumo de supermercados (PANESI, 2008)



Assim, o presente estudo levará em consideração os principais sistemas de consumo de energia dentro de um supermercado para o estudo de eficiência energética, uma vez que trarão maior impacto final na demanda energética do empreendimento. A seguir falaremos um pouco mais sobre cada um destes sistemas.

2.2 Sistemas de Iluminação

Os sistemas de iluminação, também conhecidos como sistemas de iluminação artificial são os responsáveis por fornecer nível de iluminação desejada nos ambientes das edificações, garantindo ambiente adequado para a realização das atividades proposta para tal local.

Um sistema de iluminação é caracterizado por alguns parâmetros como a intensidade luminosa, o fluxo luminoso, o iluminamento, o nível de luminância, entre outros. Esses parâmetros são utilizados como base para a seleção correta das lâmpadas e luminárias que irão compor o sistema de iluminação através do método dos lumens. Outro método utilizado para essa seleção do conjunto lâmpada/luminária é o conhecido como método de simulação computacional, que lança mão de ferramentas de simulação.

Para obtermos uma maior eficiência energética dos sistemas de iluminação, devemos focar na redução da densidade de potência instalada (DPI) e na manutenção de uma eficiência luminosa adequada.

O desafio aqui, então, é a correta escolha do método de dimensionamento, buscando a redução da potência instalada e garantindo uma luminosidade adequada em todo o ambiente. Neste estudo, as características das edificações analisadas nos permitiram uma excelente redução da DPI apenas com a redução da altura do plano de iluminação. Para isso, utilizamos o método dos lumens, que pode ser especificado nos seguintes passos:

Passo 1: Determinar o índice de Ambiente (K)

Passo 2: Determinar o fator de Utilização (FU) em função do Índice de Ambiente

Passo 3: Determinar o Fator de Manutenção (FM)

Passo 4: Determinar a Iluminância Mínima (Lum) para o ambiente em função da NBR-5413

Passo 5: Determinar o Fluxo Luminoso (ϕ) da lâmpada escolhida

Passo 6: Determinar o número total de luminárias

2.3 Sistemas de Refrigeração

Os sistemas de climatização, ventilação, refrigeração e aquecimento, utilizados para promover conforto térmico dos ocupantes de uma edificação e, no caso dos sistemas de refrigeração, da manutenção das condições ideais para preservação de alimentos e produtos, também devem contemplar a avaliação do desempenho energético das soluções disponíveis no mercado para reduzir o consumo de energia elétrica em uma instalação.

O primeiro passo para um sistema de refrigeração (a partir de agora ao falarmos sistemas de refrigeração, leia-se sistemas de climatização, ventilação e refrigeração) energeticamente eficiente é o bom dimensionamento do mesmo. Como o presente trabalho não foca no dimensionamento de novos sistemas de refrigeração, iremos omitir maiores explicações técnicas sobre o assunto.

Após o bom dimensionamento dos sistemas de refrigeração, ou seja, definida a carga térmica, deve-se selecionar o equipamento adequado para o ambiente e função que este irá exercer. É neste ponto que o nosso estudo de eficiência foca, na escolha dos equipamentos. A maioria dos supermercados de Brasília são antigos e possuem equipamentos obsoletos e pouco eficientes o que nos abre uma oportunidade de melhoria. A troca de equipamentos antigos por equipamentos mais novos e modernos é um ponto que pode trazer grandes ganhos de eficiência energética para o empreendimento.

Outro fator importante para se mitigar os gastos energéticos com os sistemas de refrigeração é a automação dos mesmos. Desta forma, temos uma otimização de operação tanto dos sistemas de refrigeração como nos sistemas de climatização e ventilação.

No presente trabalho, foram estudados casos de substituição de equipamentos e de otimização dos sistemas de refrigeração por meio de automação.

2.4 Demais Equipamentos Operacionais

Os demais equipamentos operacionais do mercado incluem uma série de equipamentos de alto consumo energético como máquinas de resinite, evaporadores, forno de lastro, exaustores, elevadores, entre outros de menor expressão.

Para alguns equipamentos, existe um mercado muito restrito e de difícil acesso de informações o que faz com que eles fiquem por muitos anos sem serem substituídos nos supermercados. Por isso, o uso eficiente de energia para esse tipo de equipamentos, passa apenas pela correta e inteligente utilização dos mesmos por parte dos funcionários do mercado. Foi por esse motivo que, para esta parte do estudo, foi sugerida a realização de um curso de conscientização e de operação destes equipamentos, tornando os funcionários mais aptos a operarem tais “ferramentas” de forma mais inteligente.

3 Energia Fotovoltaica

3.1 Fundamentos da Energia Solar Fotovoltaica

A energia solar fotovoltaica depende de alguns fundamentos para seu entendimento. O efeito fotoelétrico é a base tecnológica dos painéis fotovoltaicos, que são os responsáveis pela conversão da luz solar em energia elétrica. Além deste efeito, algumas outras propriedades são imprescindíveis para compreendermos o funcionamento e aplicação desta tecnologia, como noções geometria solar e potencial solarimétrico.

3.1.1 Efeito Fotoelétrico

Segundo material publicado pela USP (Universidade de São Paulo, 2015), ver referência bibliográfica, o efeito fotoelétrico foi inicialmente proposto por Einstein, em 1905. Segundo suas proposições, Einstein acreditava que a radiação eletromagnética fosse composta por “pacotes” de energia, os “fótons”. A energia carregada por cada fóton seria proporcional à frequência da radiação. Ao incidir sobre uma superfície metálica, elétrons poderiam absorver totalmente a energia carregada pelos fótons, sendo ejetado da superfície com certa energia cinética.

O termo efeito fotovoltaico nada mais é que a utilização da luz solar como fonte para o efeito fotoelétrico. Como o presente trabalho visa a implementação desta tecnologia (fotovoltaica), falaremos aqui mais sobre essa “forma” do efeito fotoelétrico.

O efeito fotovoltaico acontece nas células fotovoltaicas, que são constituídas de materiais semicondutores. Alguns dos materiais mais utilizados são o silício, o arseneto de gálio e o telureto de cádmio.

Os semicondutores têm características especiais como o aumento da condutividade com o aumento da temperatura, devido à excitação dos elétrons da banda de valência para a banda de condução, que fazem ser os materiais utilizados para a fabricação das células fotovoltaicas.

Assim, o efeito fotovoltaico é a conversão da energia presente nos “fótons solares” em energia elétrica através da passagem de elétrons da banda de valência para a banda de condução em materiais semicondutores. Ao receberem a energia dos fótons, esses elétrons de valência são excitados à camada de condução. Ao fecharmos um circuito, esses elétrons geram uma corrente elétrica contínua.

3.1.2 Geometria Solar

Como a luz solar é a fonte da energia fotovoltaica, é importante sabermos como esta chega até a superfície terrestre, que será o local da captação nos painéis fotovoltaicos.

O eixo de rotação da Terra forma, com a normal ao plano da elipse da órbita da Terra (movimento de translação da Terra ao redor do Sol), um ângulo de 23, 5°. Este ângulo é responsável pela duração dos dias e das noites nas diferentes estações do ano e também é responsável pela variação da elevação do sol no horizonte à mesma hora, ao longo do dia.

Assim, existem algumas relações geométricas entre a superfície terrestre e os raios solares que são importantes para determinar o potencial solarimétrico de cada região do planeta:

Ângulo de Incidência: formado entre os raios solares e a normal à superfície de captação. Quanto menor for esse ângulo, mais energia será captada;

Ângulo Azimutal de Superfície: formado entre a projeção normal à superfície de captação e a direção norte - sul. Para o hemisfério sul (onde o Brasil é localizado), o azimute é o norte. Assim, o deslocamento angular será à partir do norte, positivo para leste (sentido horário) e negativo para oeste (anti-horário). O Norte tem, convencionalmente, ângulo azimutal de 180° ;

Ângulo Azimutal do Sol: formado entre a projeção dos raios solares no plano horizontal e a direção Norte – Sul. A convenção utilizada é a mesma que a utilizada para o ângulo azimutal de superfície;

Altura Solar: ângulo formado entre os raios solares e sua projeção sobre um plano horizontal;

Inclinação: ângulo formado entre a superfície de captação e o plano horizontal;

Hora Angular: deslocamento angular do sol no sentido Leste – Oeste à partir do meridiano local. Cada hora corresponde a um deslocamento de 15° ;

Ângulo Zenital: formado entre os raios solares e a vertical (Zênite).

Esses termos da geometria solar são imprescindíveis para o estudo de sistemas de aproveitamento de energia solar.

3.1.3 Potencial Solarimétrico

Utilizando os conceitos da geometria solar anteriormente descritos, é possível realizar a avaliação do potencial de energia solar em determinada localidade. Como o presente trabalho tem objetivo mais prático, os cálculos serão omitidos e aqui traremos apenas o conceito de potencial solarimétrico e formas de encontrar esse potencial para dimensionamento e implementação de sistemas fotovoltaicos.

O potencial solarimétrico em um plano horizontal depende da localização geográfica, mas também das condições atmosféricas. Outro fator que influencia também são as estações do ano. A atmosfera atua como um filtro. Acima desta, a radiação solar que chega a Terra é próxima de $1,3\text{kW/m}^2$. No entanto, o valor de irradiação que chega no plano horizontal é limitado por um fator conhecido como Massa de Ar, coeficiente responsável por medir a espessura atmosférica em determinada região. Assim, o valor máximo que chega à superfície da Terra é de aproximadamente $1,0\text{kW/m}^2$.

Para calcular os valores de radiação que chegam à superfície terrestre são utilizados dispositivos específicos como os piranômetros, pireliômetros, heliógrafos e actinógrafos.

Depois de tratados, os dados obtidos com aqueles equipamentos são disponibilizados em alguns bancos de dados, o que facilita muito o dimensionamento dos sistemas fotovoltaicos, uma vez que instalar uma “estação solarimétrica” para captação dos dados seria muito oneroso. Falaremos sobre duas dessas bases de dados nos subitens a seguir.

3.1.3.1 Dados Solarimétricos CRESESB

O CRESESB (Centro de Referência para Energia Solar e Eólica), através do programa SunData, oferece dados da irradiação solar média em grande parte do território nacional. O SunData é uma tentativa de oferecer uma ferramenta de apoio ao dimensionamento de sistemas fotovoltaicos.

Os dados do SunData foram atualizados com o banco de dados do Atlas Brasileiro de Energia Solar – 2ª Edição, que foi produzido pelo Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CCST) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Para a obtenção dos dados presentes no SunData, é necessário seguir uma sequência simples de passos:

- 1- Entre no site do CRESESB (<http://www.cresesb.cepel.br/>) ;
- 2- No menu à esquerda, selecione “Potencial Solar” dentro do item “Potencial Energético”;
- 3- Deslize a página até encontrar o local para adicionar as coordenadas geográficas do local que se deseja obter os dados;
- 4- Os dados de insolação mais próximos da região são exibidos pelo sistema.

O Apêndice 5 apresenta uma imagem com o resultado disponibilizado para as coordenadas de Brasília.

Com os dados mensais de irradiação é possível dimensionar o sistema fotovoltaico para a região onde este será implementado.

3.1.3.2 Dados Solarimétricos NREL - SWERA

O sistema SWERA (Solar and Wind Energy Resource Assessment) da NREL – National Renewable Energy Laboratory – é um sistema internacional que engloba informações de várias fontes, inclusive os dados do INPE para a região brasileira. Dados da NASA também estão presentes para a maior parte do planeta. Assim, é um sistema que engloba a maior parte do mundo, sendo uma excelente fonte de pesquisa para dimensionamento de sistemas fotovoltaicos em outros países ou para fins de comparação entre o potencial dos diferentes países do globo.

Para a obtenção de dados desse sistema, também podemos definir um passo a passo simples:

- 1- Acesse o site do sistema SWERA (<https://maps.nrel.gov/swera/>);
- 2- No menu à esquerda, em “Data Layers”, selecione a informação que deseja e a fonte destes dados (para este exemplo selecionaremos “Global Horizontal Irradiance” e os dados “GHI NASA”);
- 3- Na aba “Query”, selecione a opção “Region Query”;
- 4- Clique e arraste o mouse sobre uma região do mapa para selecionar a área que deseja obter os dados;
- 5- O sistema informa os dados de todas as estações solarimétricas que foram implementadas dentro da região selecionada.

O Apêndice 6 apresenta uma imagem com o resultado das informações obtidas ao selecionarmos a região de Brasília.

3.2 Sistemas Fotovoltaicos

Os sistemas fotovoltaicos são formados basicamente por dois equipamentos: os módulos fotovoltaicos e os inversores. Esses são os dois equipamentos presentes em qualquer tipo de sistema fotovoltaico, seja ele On-Grid (conectado à rede da concessionária), Off-Grid (sistemas isolados) ou sistemas de Back-Up.

Os módulos fotovoltaicos são os responsáveis pela captação da luz solar e conversão desta em corrente elétrica (corrente contínua). Os inversores, por sua vez, são responsáveis por converter a corrente gerada nos módulos (corrente contínua) em corrente alternada (tipo de corrente utilizada na maioria dos equipamentos).

Além dos módulos e inversores, outro equipamento comum a todos os tipos de sistemas, que, embora não seja obrigatório, tem extrema importância, é a String Box. String Box é o conjunto de proteções do sistema, composto por DPS e Disjuntores (estes últimos podem ser substituídos por Chave seccionadora + Fusível). A string box deve ser colocada de ambos os lados do inversor (lado de corrente contínua (CC) e lado de corrente alternada (CA)). Ela será responsável por proteger os equipamentos do sistema contra descargas elétricas, sobrecorrente e sobretensão, além de facilitar o processo de manutenção por proporcionar a secção do sistema.

Os cabos utilizados no circuito CC devem ser específicos para aplicações fotovoltaicas e são comuns a todos os tipos de sistemas. Já os cabos CA também são comuns aos sistemas, mas não tem especificações para aplicações fotovoltaicas.

3.2.1 Sistema On-Grid

Os sistemas conectados à rede são formados basicamente pelos equipamentos já citados anteriormente. Neste caso, a saída CA do inversor é conectada à rede de distribuição de energia através do padrão de entrada do estabelecimento onde o sistema esteja instalado. Ocorre então uma compensação de energia: tudo que é consumido é contabilizado negativamente e tudo o que é produzido é contabilizado positivamente. Assim, o proprietário do sistema, ao final do mês, paga apenas a diferença entre o consumido e o produzido (o pagamento da tarifa mínima da concessionária é obrigatória, independente da produção ser superior ao consumo).

O funcionamento deste tipo de sistema é muito simples: os módulos captam a luz solar e a convertem em corrente contínua. Esta corrente chega ao inversor, que a transforma em corrente alternada, injetando esta corrente na rede de distribuição. A compensação acontece diretamente através de um relógio de medição bidirecional.

Na imagem a seguir podemos ver uma breve ilustração dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede:

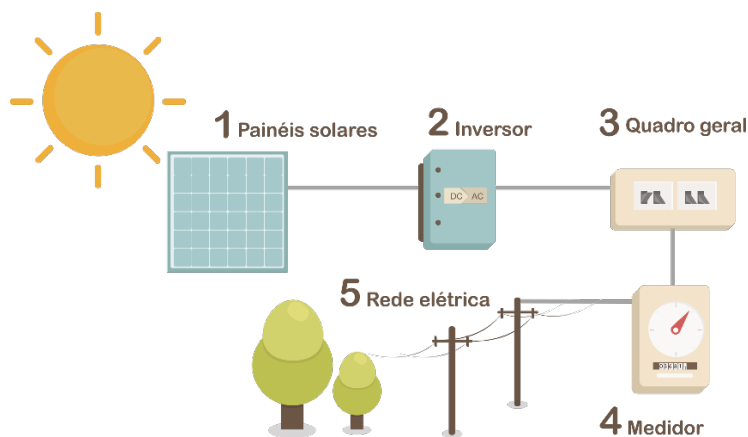


Figura 3.1 – Sistema On-Grid

Neste sistema, caso o fornecimento de energia pela concessionária seja interrompido, o inversor se desconecta automaticamente evitando a energização da rede e assim, o proprietário não terá energia elétrica apesar de possuir a própria geração. Este mecanismo é necessário para evitar riscos de energizar linhas que estejam sob manutenção, o que poderia causar graves acidentes.

3.2.2 Sistema Off-Grid

Os sistemas isolados são sistemas que trabalham sem a presença da concessionária de energia. Neste tipo de sistema, podem existir outros equipamentos que não estão presentes nos sistemas grid-tie: o controlador de carga e o banco de baterias.

O controlador de carga é responsável por adequar a tensão de saída para o correto carregamento das baterias. Também é responsável por controlar o nível de carga das baterias, além de controlar o bom funcionamento do sistema (baterias – inversor). É o “cérebro” do sistema Off-Grid.

O banco de baterias é responsável por armazenar a energia gerada, uma vez que o Sol não está disponível 24h por dia. Assim, a energia necessária é consumida instantaneamente e o excedente é armazenado para uso posterior.

Para este tipo de sistema, com aplicação residencial ou comercial, o funcionamento é um pouco diferente dos sistemas conectados. Aqui, a energia é gerada nas placas e passa ao controlador de carga. A preferência é sempre dos circuitos consumidores e, portanto, caso a energia não seja suficiente para alimentar os circuitos e carregar a bateria, a energia é encaminhada para o inversor e daí para as cargas. Caso a energia seja excedente, este excedente é encaminhado diretamente do controlador de carga às baterias, realizando a recarga destas. Quando os painéis param de produzir (situação sem insolação), as baterias são acionadas pelo controlador de carga e passam a alimentar o sistema.

A seguir, podemos ver uma ilustração simplificada do sistema fotovoltaico Off-Grid:

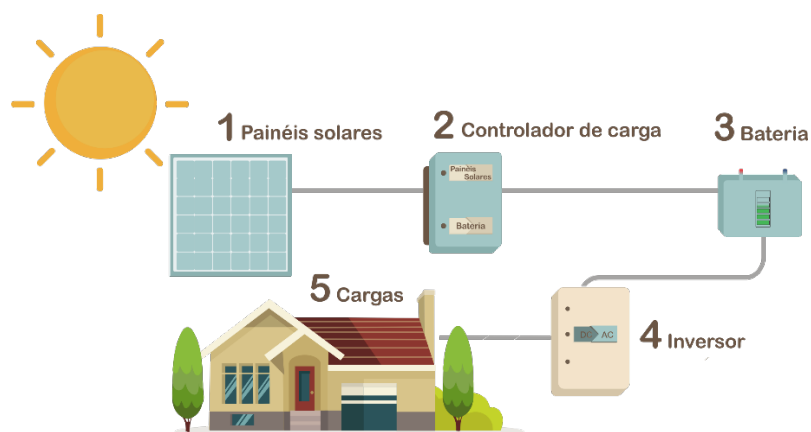


Figura 3.2 – Sistema Off-Grid Residencial

Além dos sistemas residenciais e comerciais como os exemplificados acima, existem outras formas de sistemas Off-Grid como os sistemas de bombeamento de água. Neles, durante o período de sol, a energia gerada nos painéis é utilizada para girar uma bomba que faz a captação de água. Neste caso, não são necessários a bateria ou o controlador de carga, uma vez que o sistema bombeia água durante o período de sol e essa água pode ser utilizada em qualquer momento. Basta que a vazão de bombeamento durante o dia seja suficiente para abastecer a caixa d'água suficientemente para todo o período de utilização.

3.2.3 Sistemas de Back-up

Os sistemas de back-up são uma fusão, com desenvolvimento mais recente, de ambos os sistemas anteriormente citados. Neste caso, o inversor é chamado de inversor carregador, equipamento que realiza a função do inversor grid-tie e do carregador de carga ao mesmo tempo. Para este tipo de sistema também é utilizado o banco de baterias.

O funcionamento deste sistema é um pouco mais complexo que os outros dois tipos. Neste sistema, é necessário realizar um processo de “isolamento” do que chamamos de cargas essenciais. As cargas essenciais são os equipamentos e circuitos que você quer que tenham o sistema de back-up, ou seja, quando a concessionária estiver fora do ar (sem fornecimento de energia), estas cargas essenciais serão alimentadas pelo sistema de back-up solar. Este processo de “isolamento” trata de desconectar as cargas essenciais da rede da concessionária, tornando-o um circuito isolado. No entanto, apesar de estarem fisicamente desconectadas da rede, as cargas essenciais se conectam através do inversor carregador, podendo receber energia da rede quando esta estiver fornecendo normalmente.

Assim, o sistema funciona da seguinte forma: os módulos captam a luz solar e convertem em corrente alternada. Esta corrente é enviada ao inversor carregador que estará ligado ao banco de baterias, as cargas essenciais e à rede da concessionária. Assim, o inversor seleciona para onde irá essa energia. A preferência é do banco de baterias: se o banco não estiver totalmente carregado, a energia é direcionada ao carregamento do banco de baterias. Neste caso, o inversor utiliza a energia da rede para alimentar as cargas essenciais. Caso o banco de baterias esteja completamente carregado, a energia gerada pelos módulos é direcionada as cargas essenciais, evitando buscar na rede a energia necessária para alimentar essas cargas. Caso o banco de baterias esteja completamente carregado e a geração de energia nos módulos exceda o consumo das cargas essenciais, esse excedente de energia é injetado na rede, gerando créditos, semelhante ao que acontece no sistema grid-tie.

A figura que segue, apresenta de forma simplificada o sistema fotovoltaico de Back-up:

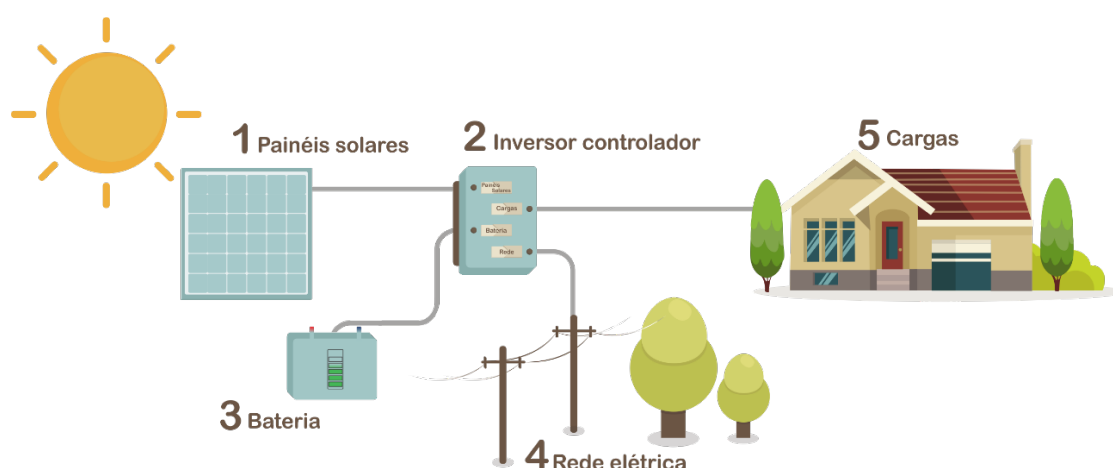


Figura 3.3 – Sistema Back-up

A grande vantagem deste sistema é que, além de gerar créditos como no sistema grid-tie, ainda existe a comodidade do sistema off-grid, que está atrelado à não dependência da concessionária. Caso o fornecimento de energia seja interrompido, o inversor carregador se desconecta automaticamente da rede e utiliza o banco de baterias para alimentar as cargas essenciais. Assim, essas cargas sempre estarão ligadas, trazendo maior confiabilidade ao seu fornecimento de energia.

3.2.4 Aplicações

Os sistemas fotovoltaicos podem ser aplicados de diversas formas. Os sistemas conectados à rede servem para garantir uma economia na fatura de energia, bem como ajudar o meio ambiente através de uma produção mais limpa e sustentável. Por não apresentarem banco de baterias, a manutenção de um sistema conectado à rede é quase zero, sendo necessário apenas a limpeza das placas de tempos em tempos (limpeza simples com um pouco de água), e o seu preço é inferior aos demais sistemas (bateria ainda é um elemento caro). Estes sistemas são indicados para todos os consumidores de energia elétrica contemplados por uma concessionária e que não sejam muito afetados com a volatilidade do sistema de distribuição.

Os sistemas off-grid são importantíssimos em países como o Brasil, onde a distribuição de energia não alcançou a todos ainda. Logo, grandes fazendas e cidades rurais onde não existe a presença de energia elétrica são potenciais usuários deste tipo de sistema. Outras pequenas aplicações deste tipo de sistema são a alimentação de câmeras de segurança e bombas hidráulicas, que podem ser alimentadas com pequenos sistemas off-grid.

Por fim, os sistemas de back-up são indicados a empresas que são afetadas fortemente pela falta de confiabilidade da distribuição de energia. Empresas que possuem geradores a diesel, podem substituir esses geradores por sistemas de back-up solar, transformando sua geração em uma geração mais sustentável e com menor custo de manutenção. Existem algumas aplicações residenciais para este sistema, geralmente para pessoas que tem como item indispensável a comodidade. Assim, um sistema de back-up pode trazer o conforto de nunca estar sem sua internet ou televisão.

3.3 Dimensionamento de Sistemas On-Grid

Devido ao alto valor dos grupos de baterias presentes nos sistemas fotovoltaicos Off-Grid e de Back-up, os sistemas On-Grid são os que possuem maior atratividade financeira para empreendimentos comerciais como os supermercados. Por isso, como o presente trabalho visa a implementação de projetos de eficiência energética e geração fotovoltaica como forma de investimentos para supermercados, os sistemas On-Grid serão os escolhidos para o presente estudo. Assim, passaremos o passo a passo para um bom dimensionamento fotovoltaico On-Grid.

3.3.1 Demanda Energética

O primeiro passo para o dimensionamento de um sistema fotovoltaico On-Grid é definir o quanto esse sistema vai precisar gerar, ou seja, quanto de energia o empreendimento vai querer que seu sistema de geração fotovoltaica seja capaz de fornecer. Para isso, basta que o dono do empreendimento determine o quanto do seu consumo de energia será abastecido pelo seu sistema de geração. Vamos supor que um empreendimento tenha um padrão de consumo energético de acordo com a tabela abaixo:

Tabela 3.1 – Padrão de consumo

Dados do projeto								
Tipo de Instalação:	B Trifásica			Taxa mínima (kWh)			100	
Consumo (kWh):	Mês 01	9168	Mês 04	9477	Mês 07	8599	Mês 10	8070
	Mês 02	7816	Mês 05	9131	Mês 08	8361	Mês 11	9368
	Mês 03	9589	Mês 06	8920	Mês 09	8740	Mês 12	7910
Consumo médio								8762
Porcentagem de geração								100%
Consumo a ser compensado								8662

Neste caso, o consumo médio mensal é de 8762 kWh/mês. Assim, caso o empreendedor queira gerar 100% do seu consumo, precisaria de um sistema capaz de gerar essa quantidade de energia, em média, por mês. Existem outras questões legais que fazem com que gerar 100% da energia consumida não seja a opção mais rentável, mas isso será abordado no último item deste capítulo com maiores detalhes. Assim, vamos supor que esse empreendedor queira gerar 90% da energia consumida através do seu sistema fotovoltaico, logo, seu padrão de geração deveria ser o mais próximo do seguinte:

Tabela 3.2 – Padrão de geração ideal

Dados do projeto								
Tipo de Instalação:		B Trifásica		Taxa mínima (kWh)			Não se aplica	
Geração (kWh):	Mês 01	8251	Mês 04	8529	Mês 07	7739	Mês 10	7263
	Mês 02	7034	Mês 05	8218	Mês 08	7525	Mês 11	8431
	Mês 03	8630	Mês 06	8028	Mês 09	7866	Mês 12	7119
					Consumo médio		7886	
					Porcentagem de geração		100%	
					Consumo a ser compensado		7886	

Definido o consumo energético a ser suprido pelo sistema fotovoltaico, o próximo passo é ver a capacidade de geração dos painéis na localidade onde o sistema será instalado.

3.3.2 Capacidade de Geração por Localidade

Já vimos anteriormente como encontrar os dados solarimétricos de cada região, e agora veremos como estes dados podem ser usados para definir a capacidade de geração dos painéis fotovoltaicos. Como o presente trabalho vai tratar de empreendimentos localizados na cidade de Brasília-DF, usaremos essa localidade como exemplo na parte teórica também. Logo, para a cidade de Brasília, temos os seguintes dados:

Estação	Município	UF	País	Irradiação solar diária média (kWh/m².dia)																		
				Latitude (°)	Longitude (°)	Distância (km)	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta		
✓	Brasília	Brasília	DF	BRASIL	15,801° S	47,842° O		3,9	5,42	5,74	5,05	5,06	4,83	4,70	4,95	5,77	5,70	5,59	5,08	5,44	5,28	1,08

Figura 3.4 – Dados de Irradiação Brasília

Tabela 3.3 – Dados de Irradiação Brasília

Dados de irradiação		
Irradiação (kWh/m ² /dia):	Jan	5,42
	Fev	5,74
	Mar	5,05
	Abr	5,06
	Mai	4,83
	Jun	4,70
	Jul	4,95
	Ago	5,77
	Set	5,70
	Out	5,59
	Nov	5,08
	Dez	5,44
Irradiação média (kWh/m ² /dia):		5,28

Assim, já sabemos o quanto de energia está “disponível” a cada mês e podemos calcular o quanto cada painel será capaz de produzir por mês, para que o sistema seja capaz de gerar toda a energia necessária para o empreendimento. Para isso, passaremos para a próxima etapa, a seleção dos painéis fotovoltaicos.

3.3.3 Seleção dos Painéis Fotovoltaicos

A seleção da marca e modelo dos painéis fica a critério dos engenheiros responsáveis pelo projeto, selecionando o melhor modelo pelo seu tamanho, eficiência ou tecnologia, dependendo das condições de instalação presentes no local.

Para encontrarmos a potência necessária para o nosso sistema, podemos utilizar a seguinte equação:

$$P = \frac{D}{I * \alpha * 30} \quad (1)$$

Onde:

P = potência do sistema que queremos encontrar (kW)

D = demanda energética mensal média estabelecida (kWh)

I = insolação diária média do local de instalação (kWh/m².dia)

α = coeficiente de segurança

O coeficiente de segurança é importante para dar ao projetista uma segurança, ou seja, caso o sistema não funcione 100% como o esperado, ainda assim terá capacidade de entregar a energia necessária.

De posse deste valor, basta dividir ele pela potência dos painéis selecionados e teremos o número de painéis necessários para o nosso sistema:

$$Num = \frac{P}{Pot} \quad (2)$$

Sendo:

Num = número de painéis necessários

P = potência total do sistema (kW)

Pot = potência do painel selecionado para o projeto (kW)

Com o modelo e número de painéis definidos passamos para a escolha do inversor.

3.3.4 Seleção do Inversor

De posse do número e modelo do painel fotovoltaico passamos para a seleção do inversor de frequência, que será o responsável por converter tensão e corrente contínuas que vêm dos painéis em tensão e corrente alternadas para a utilização e injeção na rede.

O primeiro passo é definir a potência desse inversor, que pode ser dada pela seguinte expressão:

$$P_{inv} * 0,8 \leq P \leq P_{inv} * 1,2$$
$$\frac{P}{1,2} \leq P_{inv} \leq \frac{P}{0,8} \quad (3)$$

Isso quer dizer que a potência do inversor (P_{inv}) deve estar 20% acima ou 20% abaixo da potência total do sistema. Esses valores são números práticos convencionados no mercado de energia fotovoltaica. O limite inferior se dá pela potência mínima de operação do inversor para que o investimento seja coerente, ou seja, com um subcarga maior que 20%, estaremos gastando muito em um equipamento que será subutilizado. Já o limite superior é utilizado para sobrecarregar o inversor e, assim, otimizar o funcionamento do mesmo, que estará trabalhando a plena carga em maior parte do tempo, uma vez que dificilmente, ao longo do dia, os painéis atingirão suas potências de pico.

Definida a faixa de potência do inversor, cabe ao engenheiro selecionar o inversor mais coerente que possa suprir a necessidade do projeto e, a partir daí, passamos a fase dos ajustes, onde definiremos o tamanho das strings (grupo de painéis) e o número dessas strings para o inversor. Com isso, teremos o real tamanho do sistema.

3.3.5 Definição das Strings

Com o inversor escolhido, precisamos definir o real tamanho do sistema, uma vez que cada inversor tem uma tensão e corrente de funcionamento. Assim, o número de painéis real do sistema será definido por quantos painéis poderão ser arranjados em strings e quantas strings o inversor comportará.

Para definir o tamanho da string, trabalhamos com a tensão de funcionamento do inversor, uma vez que os painéis são colocados em série, somando assim suas potências. Logo, para definir o número de painéis de uma string, para determinado inversor, temos as seguintes fórmulas:

$$N_{max} = \frac{V_{maxi}}{V_{oc}} \quad (4)$$

$$N_{min} = \frac{V_{start}}{V_{mpp}} \quad (5)$$

Onde:

N_{max} = número máximo de painéis por string

V_{maxi} = tensão máxima de operação do inversor (V)

V_{oc} = tensão de circuito aberto dos painéis (V)

N_{min} = número mínimo de painéis por string

V_{start} = tensão mínima de start do inversor (V)

V_{mpp} = tensão de ótima de operação dos painéis (V)

Esses valores de tensão dos inversores e painéis podem ser encontrados nos datasheets de cada equipamento.

Definido o tamanho das strings, definiremos o número de strings que cada inversor poderá comportar. Para isso, usamos as seguintes fórmulas:

$$S_{tmax} = \frac{I_{maxi}}{I_{sc}} \quad (6)$$

$$St_{min} = 1$$

Onde:

St_{max} = número máximo de strings por inversor

I_{maxi} = corrente máxima de operação do inversor (A)

I_{sc} = corrente de curto circuito dos painéis (A)

St_{min} = número mínimo de strings por inversor

Com esses valores em mãos, o engenheiro tem dados suficientes para definir a melhor distribuição de painéis nas strings, de forma que o número final de painéis do sistema seja o mais próximo possível do número de painéis definidos inicialmente.

Finalizado os ajustes, o sistema está praticamente definido, faltando apenas dimensionar os outros equipamentos do sistema como cabos e proteção (disjuntores, dps, etc).

3.3.6 Demais Equipamentos

Os demais equipamentos de um sistema fotovoltaico, tanto do lado DC quanto do lado AC são determinados segundo a norma NBR 5410, que estabelece as condições mínimas necessárias para o perfeito funcionamento de uma instalação elétrica de baixa tensão.

3.4 Legislação para Sistemas Conectados a Rede

As condições gerais para o acesso à rede de micro e minigeração distribuída foram instituídas pela Resolução Normativa nº482, de 2012. Com ela, instalações de pequeno porte foram regulamentadas e criou-se o modelo regulatório conhecido como “Sistema de compensação de energia”, entre outras facilidades.

Em 2015, a Resolução Normativa nº 687, veio aprimorar a Resolução 482 visando reduzir as barreiras para o desenvolvimento da geração distribuída no Brasil. Com ela, foram redefinidos os limites de micro e minigeração distribuída, além de adicionar ao “público alvo” do mercado, unidades consumidoras em áreas contíguas como condomínios, permitindo que estes participem do sistema de compensação de energia. Outros pontos aprimorados por esta resolução foram o tempo e os custos para a conexão da unidade geradora, que passaram a ser menores.

Para o presente trabalho, o único ponto importante sobre essas Resoluções que devemos frisar são os limites de potência e geração que elas estabelecem. Para clientes do grupo B, faturados em baixa tensão, o limite do sistema é dado pelo disjuntor do padrão de entrada de fornecimento da concessionária, ou seja, a potência do sistema não pode ser superior ao valor dado por:

$$P_{inv} \leq V_f * I_{dis} \quad (7)$$

Sendo:

P_{inv} = potência total dos inversores instalados (kW)

V_f = tensão de fornecimento da concessionária (V)

I_{dis} = corrente do disjuntor do padrão de entrada (A)

Além disso, os clientes do grupo B terão que pagar uma tarifa mínima, conhecida como taxa de disponibilidade. Esse valor é dado em valor de kWh, sendo 30kWh para clientes monofásicos, 50kWh para os clientes bifásicos e 100kWh para os trifásicos. Assim, para o dimensionamento,

devemos levar em consideração que o cliente do grupo B sempre pagará essa energia, mesmo que seja gerada, e, logo, não faz sentido gerar esta energia. Portanto, na hora de dimensionar o sistema, vale retirar o valor da tarifa mínima da média a ser produzida.

Para clientes do grupo A, ou seja, que são faturados em média/alta tensão, o limitante é a demanda contratada. Isso quer dizer que, se um cliente do grupo A tem uma demanda contratada de 100kW, seu sistema fotovoltaico só poderá ter 100kW de inversores instalados. Não há tarifa mínima de energia para esses clientes, porém, existem tarifas diferentes para energia consumida em horário de ponta e e em horário fora de ponta. Segundo a Resolução Normativa 482 da ANEEL, 1kWh gerado em horário fora de ponta (horário em que o sistema fotovoltaico tem capacidade de geração), será abatido também em horário fora de ponta, ou proporcional à tarifa. Isso quer dizer que, se o valor do kWh na ponta for duas vezes maior que o valor do kWh fora de ponta, seria necessário gerar 2 kWh fora de ponta para abater 1kWh na ponta. Assim, para clientes do tipo A, o dimensionamento é feito para o consumo fora de ponta, otimizando assim o retorno.

4 Estudos de Casos

O presente capítulo traz dois estudos de caso para a utilização da eficiência energética como tecnologia complementar à geração fotovoltaica. Como o objetivo deste trabalho é mostrar a importância da utilização da eficiência energética como tecnologia complementar à geração fotovoltaica, o processo empregado para os estudos de caso foi o seguinte: dimensionamento de um sistema de geração fotovoltaica para o empreendimento sem um projeto de eficiência energética; projeto de eficiência energética para redução do consumo; dimensionamento de um sistema fotovoltaico para o empreendimento após a aplicação do projeto de eficiência energética; análise dos retornos financeiros para ambos os casos.

4.1 Supermercado A

O primeiro estudo de caso que será apresentado é do Supermercado A, localizado em Brasília. Nesta unidade, o projeto de eficiência energética realizado foi mais completo, contemplando troca da iluminação, troca de equipamentos de refrigeração e automatização dos sistemas de refrigeração. Com isso, teremos reais sobre os custos e retornos deste processo. Todos os dados utilizados para o estudo foram fornecidos pelo gerente da unidade. Vale lembrar que, devido à compensação de créditos estabelecida na legislação (RN 482 – ANEEL), os sistemas fotovoltaicos serão dimensionados para abater apenas a energia consumida no horário fora de ponta.

4.1.0 Caso Base

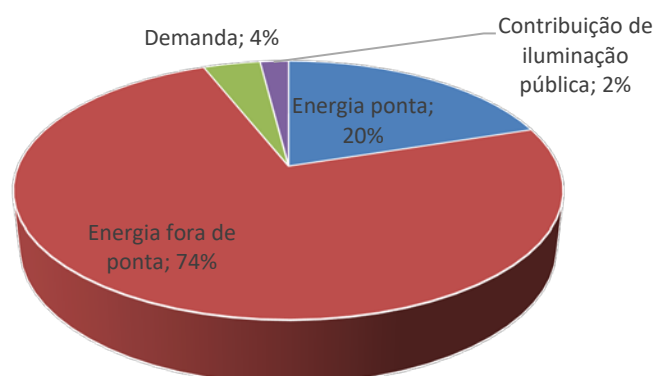
O supermercado A está classificado dentro dos clientes do grupo A horo-sazonal verde, que aplica uma única demanda contratada para todo o período e tarifa de energia binômica. Para o caso da concessionária local, CEB (Companhia Elétrica de Brasília), os valores estabelecidos para tais tarifas são apresentados abaixo.

Tabela 4.1 – Valores de Tarifas CEB

Ativo	Tarifa
Demanda	R\$ 11,20/kW
Energia Fora de Ponta	R\$ 0,44 /kWh
Energia Ponta	R\$ 1,21 /kWh

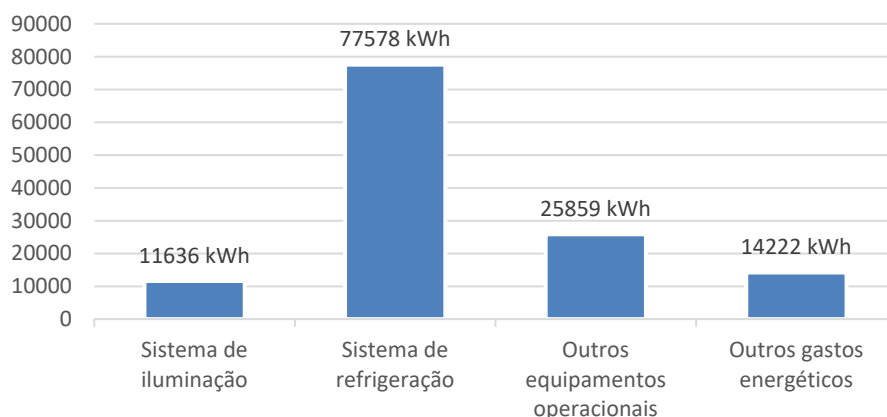
Temos assim a seguinte distribuição de gastos para a conta de luz do supermercado A.

Gráfico 4.1 – Gastos com conta de energia Supermercado A



Dentro do consumo energético do supermercado A, avaliaremos o consumo dentro da área de loja, e a divisão desse consumo por setores é dado pelo gráfico a seguir.

Gráfico 4.2 – Consumo por setor Supermercado A



Com essas informações, podemos iniciar nosso estudo a respeito do supermercado A.

4.1.1 Sistema Fotovoltaico sem Eficiência Energética

Iniciaremos o estudo de caso dimensionando um sistema fotovoltaico para o empreendimento, sem levar em consideração ações de eficiência energética. Para isso, passaremos pelo passo a passo apresentado anteriormente na parte teórica.

4.1.1.1 Consumo Energético

Os gastos com energia elétrica do supermercado A é de, em média, R\$ 70.000,00/mês. Este valor é dividido da seguinte forma, de acordo com dados apresentados pelo gerente local:

Energia ponta – 20%

Energia fora de ponta – 74%

Demanda – 4%

Contribuição de iluminação pública – 2%

Assim, podemos calcular o consumo energético mensal médio da seguinte forma:

$$D = \frac{\text{Custo com energia} * 74\%}{\text{Tarifa fora de ponta CEB}} = \frac{70.000 * 0,74}{0,44} = 117.727 \text{ kWh/mês}$$

Como o empreendimento é um cliente do grupo A, sabemos que a demanda poderá ser um limitante para o tamanho do sistema. Assim, temos a potência do sistema será limitada por:

$$P \leq \text{Demanda contratada} = 250 \text{ kW}$$

4.1.1.2 Capacidade de Geração por Localidade

Como o supermercado está localizado em Brasília, os dados solarimétricos utilizados serão:

Tabela 3.3 – Dados de Irradiação Brasília

Dados de irradiação		
Irradiação (kWh/m ² /dia):		
Jan		5,42
Fev		5,74
Mar		5,05
Abr		5,06
Mai		4,83
Jun		4,70
Jul		4,95
Ago		5,77
Set		5,70
Out		5,59
Nov		5,08
Dez		5,44
Irradiação média (kWh/m ² /dia):		5,28

4.1.1.3 Seleção dos Painéis Fotovoltaicos

Para o estudo de caso do supermercado A, escolhemos o painel da Canadian Solar MAXPOWER CS6X 320W. As especificações desse painel estão no Apêndice 1.

Selecionado o painel, encontramos potência necessária para o nosso sistema:

$$P = \frac{D}{I * \alpha * 30} = \frac{117.727}{5,28 * 0,9 * 30} = 826kWp$$

A potência de pico encontrada é superior à demanda contratada, logo, devemos trabalhar com o valor de demanda contratada para a potência de inversores instalados. Logo:

$$P_{inv} = 250kWp$$

A potência máxima que poderemos utilizar será 20% acima da potência dos inversores, como explicado anteriormente. Assim, teremos:

$$Num = \frac{P}{Pot} = \frac{P_{inv} * 1,2}{320} = \frac{300.000}{320} = 937 \text{ painéis}$$

4.1.1.4 Seleção do Inversor

A potência de inversores que poderemos instalar ficou limitada pela demanda contratada pelo supermercado e, assim, os valores mínimos e máximos não se fazem mais necessários, uma vez que devemos gerar o máximo de energia possível. Assim, temos que:

$$P_{inv} = P = 250kWp$$

Com posse desse valor de potência, decidimos utilizar o inversor ABB TRIO-50.0-TL-OUTD 50kW. Como cada inversor tem potência de 50kW, iremos utilizar 5 inversores iguais para atingirmos a potência total necessária para nosso sistema. As especificações desse inversor estão no Apêndice 2.

4.1.1.5 Definição das Strings

De posse das informações do inversor, passamos para a definição das strings que irão compor nosso sistema. Fazemos:

$$N_{max} = \frac{V_{maxi}}{V_{oc}} = \frac{1000}{45,3} = 22 \text{ painéis}$$

$$N_{min} = \frac{V_{star}}{V_{mpp}} = \frac{360}{36,8} = 10 \text{ painéis}$$

Assim, sabemos que as strings deverão ter entre 10 e 22 painéis. Vale lembrar que, por apresentar apenas 1 MPPT, o inversor deverá trabalhar com todas as strings com o mesmo número de painéis de forma a otimizar seu funcionamento.

Definimos agora o número de strings que o inversor poderá comportar. Para isso, fazemos:

$$St_{max} = \frac{I_{maxi}}{I_{sc}} = \frac{160}{9,26} = 17$$

$$St_{min} = 1$$

Assim, sabemos que cada inversor poderia trabalhar com um número de strings indo de 1 a 17. No entanto, ao olharmos o datasheet do inversor, notamos que ele só possui 16 entradas. Assim, temos que o número máximo de strings será 16 e, portanto, a corrente não será um limitante para este caso.

$$St_{max} = 16$$

$$St_{min} = 1$$

De posse desses dados, poderemos agora definir a melhor forma de colocar os painéis previamente estabelecidos dentro das strings. Para isso, definimos como ponto de partida a tensão ótima de funcionamento do inversor como parâmetro. Com ela, chegamos a conclusão que a melhor especificação para cada inversor será:

$$N = 17 \text{ painéis}$$

$$St = 11$$

Sendo:

N = número de painéis em cada string

St = número de strings por inversor

Dessa forma, chegamos ao seguinte número de painéis e potência final do sistema:

$$Num = N * St * 5 = 17 * 11 * 5 = 935 \text{ painéis}$$

$$P = Num * 320 = 935 * 320 = 299,2kWp$$

Esse valor está dentro do limite estabelecido por:

$$P \leq P_{inv} * 1,2 = 300kWp$$

Portanto, o sistema para o supermercado está definido.

4.1.2 Projeto de Eficiência Energética

O projeto de eficiência energética aplicado no supermercado A Bairro foi realizado da seguinte maneira: foi realizado um estudo da substituição das lâmpadas existentes (tubulares) por lâmpadas LED, além do rebaixamento do plano das luminárias; para os sistemas de refrigeração, foram substituídas as ilhas de resfriamento abertas por ilhas com porta, além de implementar um sistema de automação regulado por temperatura; para os outros equipamentos foi realizado um estudo de uso consciente dos mesmos.

4.1.2.1 Sistema de Iluminação

Inicialmente, foram contadas as luminárias existentes no supermercado. Eram luminárias fluorescentes tubulares de 28W. A referência das luminárias encontradas está no Apêndice 7. Tínhamos o seguinte:

$$N_{lum} = 524$$

Após o estudo de eficiência energética, foi feito um rebaixamento do plano de iluminação e uma substituição das lâmpadas existentes por lâmpadas LED.

O dimensionamento realizado para esta parte do processo foi feito pelo método dos Lúmens. Vamos passar pelo passo a passo do dimensionamento desse novo sistema de iluminação.

Passo 1: Índice de Ambiente (K)

$$K = \frac{C * L}{(C + L) * A} = \frac{45 * 35}{(45 + 35) * 3} = 6,5$$

Onde:

C = comprimento do ambiente

L = largura do ambiente

A = altura do plano iluminante da luminária ao ponto de trabalho

Passo 2: Determinar o fator de Utilização (FU) em função do Índice de Ambiente

Esse valor é determinado com o auxílio das tabelas a seguir:

Tabela 4.2 – Fator de Utilização

Fator de Área K	80		70				50		30		0
	50	50	50	50	50	30	30	10	30	10	0
	30	10	30	20	10	10	10	10	10	10	0
0.60	.42	.40	.41	.40	.39	.34	.33	.30	.33	.30	.28
0.80	.50	.47	.49	.48	.46	.41	.40	.37	.40	.37	.35
1.00	.57	.53	.56	.54	.52	.47	.46	.43	.46	.42	.41
1.25	.64	.58	.62	.60	.58	.53	.52	.48	.51	.48	.46
1.50	.69	.62	.67	.64	.62	.57	.56	.53	.55	.52	.51
2.00	.76	.68	.74	.71	.67	.64	.63	.60	.62	.59	.57
2.50	.81	.72	.79	.75	.71	.68	.67	.64	.66	.63	.62
3.00	.85	.74	.82	.78	.73	.71	.70	.67	.68	.67	.65
4.00	.89	.77	.87	.81	.76	.74	.73	.71	.72	.70	.68
5.00	.92	.79	.89	.83	.78	.76	.75	.74	.74	.72	.70

Tabela 4.3 – Auxiliar Fator de Utilização

	Branco	Claro	Médio	Escuro
Teto	80%	70%	50%	30%
Parede		50%	30%	10%
Piso			30%	10%

Assim, utilizando o valor de K encontrado, para Teto Claro, Parede Clara e chão Médio, chegamos ao valor de FU sendo:

$$FU = 0,89$$

Passo 3: Determinar o Fator de Manutenção (FM)

O fator de manutenção pode ser determinado pela tabela a seguir:

Tabela 4.4 – Fator de Manutenção

Período de uso sem limpeza (meses)	Ambiente limpo	Ambiente médio	Ambiente sujo
0	1,00	1,00	1,00
2	0,97	0,92	0,85
4	0,95	0,87	0,76
6	0,93	0,85	0,70
8	0,92	0,82	0,66
10	0,91	0,80	0,63
12	0,90	0,78	0,61
14	0,89	0,77	0,59
16	0,88	0,76	0,57
18	0,87	0,75	0,56
20	0,86	0,74	0,54

De acordo com informações obtidas no supermercado, a limpeza é realizada diariamente. Assim, tomaremos FM como sendo unitário.

Passo 4: Determinar a Iluminância Mínima (Lum) para o ambiente em função da NBR-ISO - 8995

A NBR citada nos oferece a seguinte tabela:

Tabela 4.5 – NBR – ISO - 8995

23. Varejo			
Área de vendas pequena	300	22	80
Área de vendas grande	500	22	80
Área da caixa registradora	500	19	80
Mesa do empacotador	500	19	80

De acordo com a tabela, determinamos a iluminância mínima de:

$$Lum = 500 \text{ Lux}$$

Passo 5: Determinar o Fluxo Luminoso (φ) da lâmpada escolhida

Escolhemos as lâmpadas de LED de 19W, mais eficientes e ambientalmente sustentáveis. Assim:

$$\varphi = 2.470 \text{ lm}$$

Passo 6: Determinar o número total de luminárias

Para isso, utilizamos os dados encontrados anteriormente e a fórmula:

$$Nlum = \frac{Lum * C * L}{\varphi * FU * FM} = \frac{500 * 45 * 35}{2.470 * 0,89 * 1} = 358$$

Assim, neste processo, obtivemos uma troca de 524 lâmpadas fluorescentes por 538 lâmpadas LED. Pode aparentar um aumento, mas devemos levar em consideração a potência instalada. Assim, temos:

$$Pilui = 524 * 28 = 14.672 \text{ W}$$

$$Piluf = 538 * 19 = 6.802 \text{ W}$$

$$Pilu = Pilui - Piluf = 7.870 \text{ W}$$

Onde:

Pilui = potência de iluminação inicial da loja

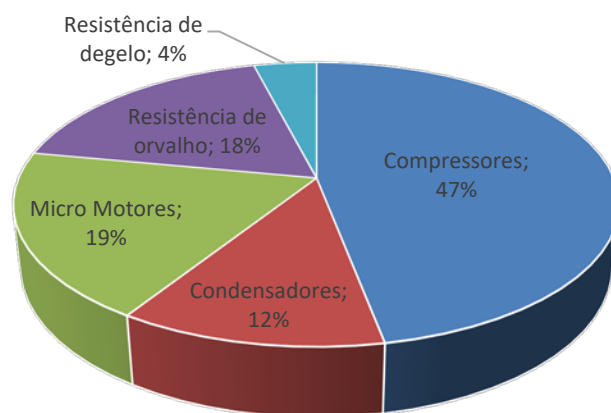
Piluf = potência de iluminação final da loja

Pilu = potência "economizada"

4.1.2.2 Sistema de Refrigeração

A matriz energética de refrigeração do supermercado A Bairro pode ser representada pelo gráfico pizza abaixo, realizado após estudo das cargas térmicas (câmaras frias, ilhas de resfriamento, ar condicionados, etc) do empreendimento:

Gráfico 4.3 – Matriz Energética do Sistema de Refrigeração Supermercado A



Neste caso, foram substituídas as ilhas e câmaras de resfriamento sem portas por unidades novas mais eficientes e com portas.

Além disso, foi realizado um estudo para desligamento automático dos compressores, de modo que estes ficassem o menor tempo possível em operação.

Segundo estudo realizado, o gasto de energia elétrica com o sistema de refrigeração é de 60% de toda a energia demandada pelo estabelecimento, que são divididos segundo o gráfico apresentado acima.

Dentro dos 47% gastos em sistemas de compressores, 14% (aproximadamente 30% deste total), são direcionados para o abastecimento das câmaras de resfriamento.

Já dos 12% de demanda dos condensadores, 5% (aproximadamente 42% desse total) é proveniente das ilhas de resfriamento presentes em todo o estabelecimento.

Com a substituição desses equipamentos por equipamentos mais modernos, os compressores e condensadores responsáveis por resfriar essas ilhas e câmaras, tiveram uma redução de 20% no seu tempo de funcionamento, devido a melhor manutenção da temperatura e eficiência dos novos equipamentos.

Assim, com essa substituição, a economia do gasto com energia pode ser calculada pela fórmula:

$$Ef = Ei * ((m. m. + r. o. + r. d.) + (comp. - (red. comp.)) + (cond. - (red. cond.)))$$

$$Ef = Ei * ((0,19 + 0,18 + 0,04) + (0,47 - (0,14 * 0,2)) + (0,12 - (0,05 * 0,2)))$$

$$Ef = Ei * 0,962$$

Onde:

Ef = energia final

Ei = energia inicial

m. m. = porcentagem energética de micro motores

r. o. = porcentagem energética de resistência de orvalho

r. d. = porcentagem energética de resistência de degelo

comp. = porcentagem energética de compressores

red. comp. = redução de consumo energético de compressores

cond. = porcentagem energética de condensadores

red. cond. = redução de consumo energético de condensadores

Assim, concluímos que a troca desses equipamentos foi responsável por uma redução de 3,8% do consumo de energia elétrica gasto com sistemas de refrigeração.

Além da troca dos equipamentos, a automação geral dos sistemas de refrigeração representou uma redução de aproximadamente 6% do tempo de funcionamento de todo o sistema.

Com isso, obtivemos uma redução de aproximadamente 10% de toda a energia gasta com sistemas de refrigeração.

4.1.2.3 Demais Equipamentos

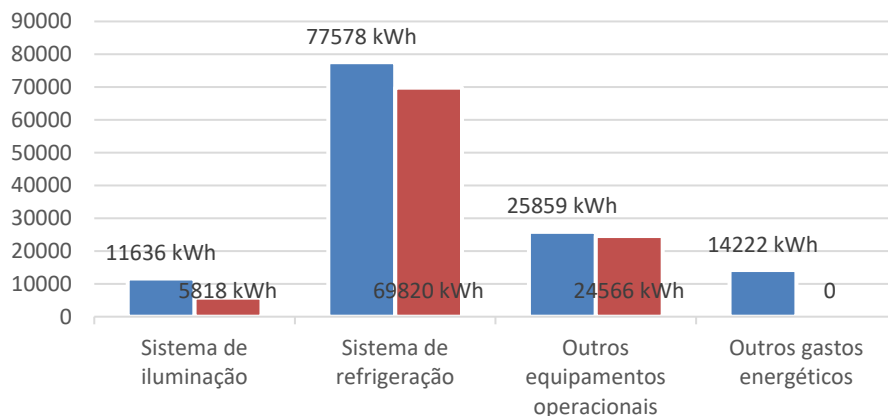
Para os demais equipamentos, a única atividade realizada foi a conscientização dos funcionários para um uso mais eficiente dos equipamentos como o forno de lastro, que representam parte importante do gasto energético do supermercado.

Após a inicialização das novas medidas, notou-se uma redução total de aproximadamente 1% do gasto energético da unidade. Essa redução pôde ser estimada por meio de medições realizadas por uma empresa especializada em projetos de eficiência energética. Medições realizadas antes e depois do curso foram comparadas e estimada a redução de consumo.

4.1.2.4 Comparação de consumo

Após a realização dos projetos de eficiência energética, obtivemos uma redução dos valores de energia consumidos pelos sistemas estudados. O gráfico a seguir apresenta uma comparação do consumo antes e depois do projeto de eficiência energética.

Gráfico 4.4 – Comparação de consumo supermercado A



4.1.3 Sistema Fotovoltaico com Eficiência Energética

Após a realização dos estudos e implementação das ações de eficiência energética, com a redução de consumo obtida neste processo, podemos definir um novo sistema fotovoltaico de forma a compensar a nova demanda energética do empreendimento. Assim, passaremos mais uma vez pelo passo a passo apresentado anteriormente na parte teórica.

4.1.3.1 Consumo Energético

Tomando por base a demanda energética inicial do supermercado A e as economias alcançadas nas medidas de eficiência energética, podemos calcular a nova demanda energética do empreendimento. Vale lembrar que:

Demanda energética iluminação (D_i) – 9%

Demanda energética refrigeração (D_r) – 60%

Demanda energética outros equipamentos operacionais (D_e) – 20%

Economia alcançada nos sistemas de iluminação (e_i) – 50%

Economia alcançada nos sistemas de refrigeração (e_r) – 10%

Economia alcançada com automação dos outros equipamentos (e_e) – 5%

Assim, podemos calcular a nova demanda energética mensal média da seguinte forma:

$$D' = D * (D_i * (1 - e_i) + D_r * (1 - e_r) + D_e * (1 - e_e))$$

$$D' = 117.727 * (0,09 * 0,5 + 0,6 * 0,9 + 0,2 * 0,95) = 117.272 * 0,775$$

$$D' = 91.238 \text{ kWh}$$

Como o empreendimento é um cliente do grupo A, sabemos que a demanda poderá ser um limitante para o tamanho do sistema. Assim, temos a potência do sistema será limitada por:

$$P \leq \text{Demanda contratada} = 250 \text{ kW}$$

4.1.3.2 Capacidade de Geração por Localidade

Como o supermercado está localizado em Brasília, os dados solarimétricos utilizados serão:

Tabela 3.3 – Dados de Irradiação Brasília

Dados de irradiação		
Irradiação (kWh/m ² /dia):	Jan	5,42
	Fev	5,74
	Mar	5,05
	Abr	5,06
	Mai	4,83
	Jun	4,70
	Jul	4,95
	Ago	5,77
	Set	5,70
	Out	5,59
	Nov	5,08
	Dez	5,44
Irradiação média (kWh/m ² /dia):		5,28

4.1.3.3 Seleção dos Painéis Fotovoltaicos

O painel fotovoltaico segue sendo o mesmo do primeiro dimensionamento, Canadian Solar MAXPOWER CS6X 320W.

A potência necessária para o nosso novo sistema é:

$$P = \frac{D}{I * \alpha * 30} = \frac{91.238}{5,28 * 0,9 * 30} = 640kWp$$

A potência de pico encontrada também é superior à demanda contratada, logo, devemos trabalhar com o valor de demanda contratada para a potência de inversores instalados. Logo:

$$P_{inv} = 250kWp$$

A potência máxima que poderemos utilizar será 20% acima da potência dos inversores, como explicado anteriormente. Assim, teremos:

$$Num = \frac{P}{Pot} = \frac{P_{inv} * 1,2}{320} = \frac{300.000}{320} = 937 \text{ painéis}$$

Como o sistema não precisará ser alterado devido a limitação de demanda, iremos apenas deixar os dados expostos a seguir e discutiremos as diferenças de projetos logo mais, na análise dos resultados encontrados.

4.1.3.4 Seleção do Inversor

Potência dos inversores do novo sistema permanece inalterado:

$$P_{inv} = P = 250kWp$$

Seguiremos utilizando os mesmos equipamentos do primeiro sistema dimensionado, assim, o inversor será o ABB TRIO-50.0-TL-OUTD 50kW. Como cada inversor tem potência de 50kW, iremos utilizar 5 inversores iguais para atingirmos a potência total necessária para nosso sistema.

4.1.3.5 Definição das Strings

Mais uma vez, seguindo as especificações do sistema já dimensionado anteriormente, teremos:

$$N_{max} = \frac{V_{maxi}}{V_{oc}} = \frac{1000}{45,3} = 22 \text{ painéis}$$

$$N_{min} = \frac{V_{star}}{V_{mpp}} = \frac{360}{36,8} = 10 \text{ painéis}$$

Com o mesmo inversor, devemos trabalhar com todas as strings com o mesmo número de painéis de forma a otimizar seu funcionamento.

O número de strings segue inalterada:

$$St_{max} = \frac{I_{maxi}}{I_{sc}} = \frac{160}{9,26} = 17$$

$$St_{min} = 1$$

Com a limitação construtiva do inversor, mantemos o número de strings dentro do especificado pelo fabricante, ou seja:

$$St_{max} = 16$$

$$St_{min} = 1$$

E chegamos ao mesmo ponto final do primeiro sistema, selecionando o número de painéis por string através da tensão ótima de funcionamento do inversor:

$$N = 17 \text{ painéis}$$

$$St = 11$$

Dessa forma, chegamos ao seguinte número de painéis e potência final do sistema:

$$Num = N * St * 5 = 17 * 11 * 5 = 935 \text{ painéis}$$

$$P = Num * 320 = 935 * 320 = 299,2kWp$$

Esse valor está dentro do limite estabelecido por:

$$P \leq P_{inv} * 1,2 = 300kWp$$

4.1.3.6 Estudo de área de telhado

Outro fator importante a ser avaliado é a presença de área suficiente para a implementação do sistema fotovoltaico, caso contrário, a área de implementação passa a ser um fator limitante para o tamanho do sistema fotovoltaico. A área necessária para a implementação do sistema do supermercado A pode ser calculada pela fórmula a seguir:

$$A = Num * A_p = 935 * 2 = 1.870 \text{ m}^2$$

Onde:

A = área necessária (m²)

Num = número de painéis

A_p = área de cada painel (m²)

As imagens retiradas via satélite nos mostram as dimensões do telhado do supermercado A, e nos ajudam a calcular a área disponível para implementação do sistema.

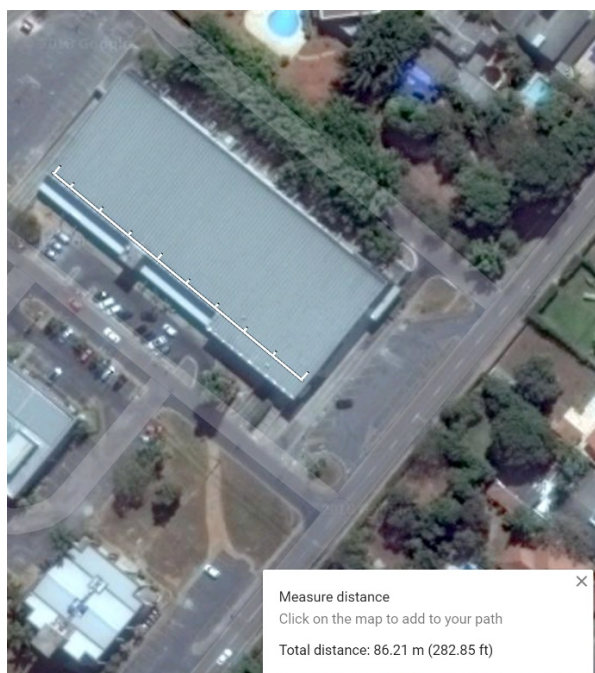


Figura 4.1 – Dimensão 1 supermercado A

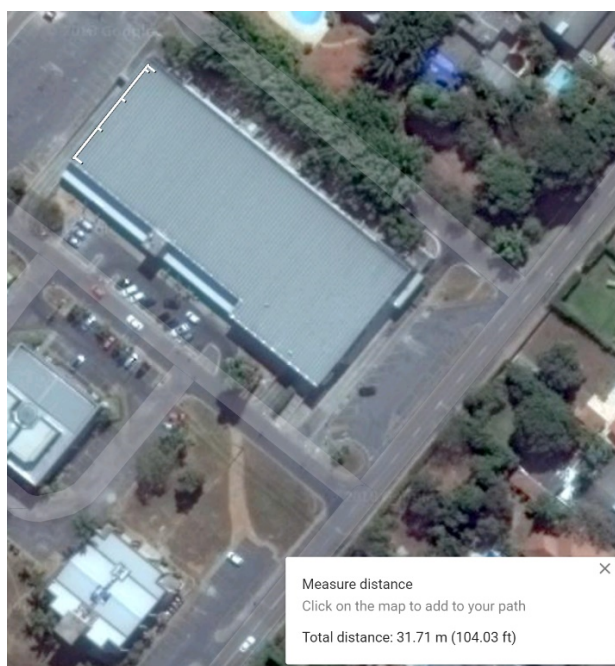


Figura 4.2 – Dimensão 2 supermercado A

Assim, a área disponível para instalação do sistema é de:

$$Ad = dim1 * dim2 = 85 * 30 = 2.550 m^2$$

Onde:

Ad = área disponível (m^2)

$dim1$ = dimensão 1 do mercado A (m)

$dim2$ = dimensão 2 do mercado A (m)

Concluimos, portanto, que área não será um limitante para a implementação do sistema fotovoltaico.

4.2 Supermercado B

Nosso segundo estudo de caso é o do Supermercado B, localizado em Brasília. Nesse empreendimento, o projeto de eficiência energética realizado foi simples, passando apenas pela parte de recabeamento elétrico e automação dos sistemas de refrigeração. Os outros pontos da eficiência como a troca dos equipamentos de refrigeração e do sistema de iluminação não foram realizados pelo mercado. Assim, para essas áreas da eficiência, foi feito um estudo para avaliar quanto poderia ainda ter sido economizado com tais medidas, utilizando como base os resultados encontrados no projeto do supermercado A. Todos os dados utilizados para o estudo foram fornecidos pelo gerente da unidade. Vale lembrar que, devido à compensação de créditos estabelecida na legislação (RN 482 – ANEEL), os sistemas fotovoltaicos serão dimensionados para abater apenas a energia consumida no horário fora de ponta.

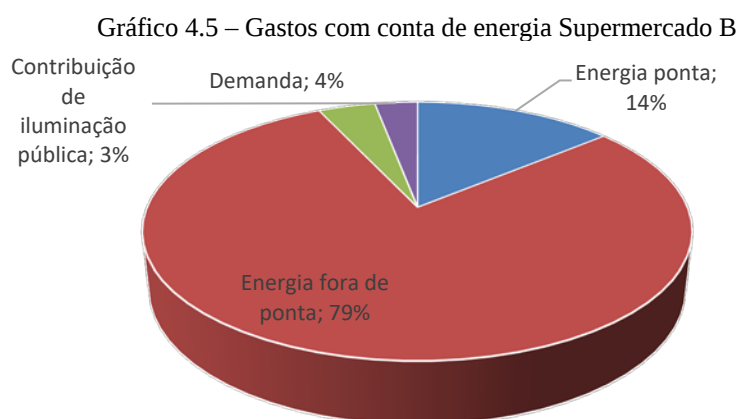
4.2.0 Caso Base

Assim como o supermercado A, o supermercado B também está classificado dentro dos clientes do grupo A horo-sazonal verde, que aplica uma única demanda contratada para todo o período e tarifa de energia binômia. Para o caso da concessionária local, CEB (Companhia Elétrica de Brasília), os valores estabelecidos para tais tarifas são apresentados abaixo.

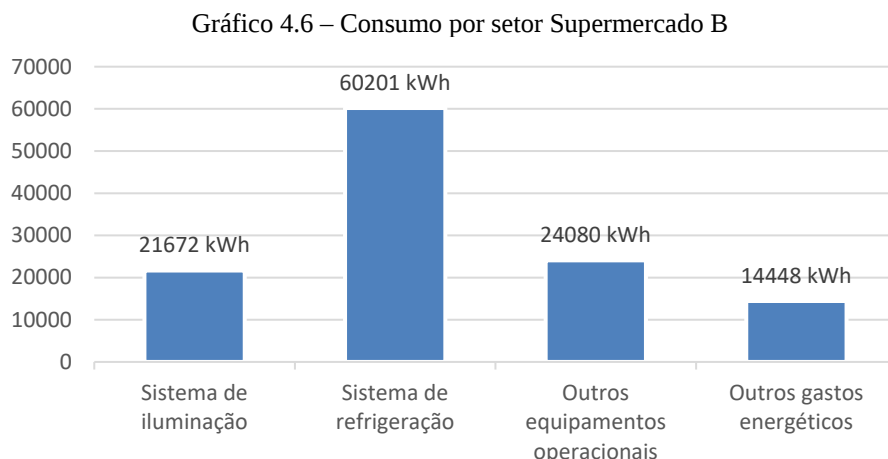
Tabela 4.1 – Valores de Tarifas CEB

Ativo	Tarifa
Demanda	R\$ 11,20/kW
Energia Fora de Ponta	R\$ 0,44 /kWh
Energia Ponta	R\$ 1,21 /kWh

Temos assim a seguinte distribuição de gastos para a conta de luz do supermercado B.



Dentro do consumo energético do supermercado B, avaliaremos o consumo dentro da área de loja, e a divisão desse consumo por setores é dado pelo gráfico a seguir.



Com essas informações, podemos iniciar nosso estudo a respeito do supermercado B.

4.2.1 Sistema Fotovoltaico sem Eficiência Energética

O procedimento utilizado para este segundo estudo de caso será praticamente o mesmo utilizado para avaliar o caso do Supermercado A Bairro, assim, seguiremos o passo a passo utilizado anteriormente.

4.2.1.1 Consumo Energético

Os gastos com energia elétrica do supermercado B é de, em média, R\$ 63.000,00/mês. Este valor é dividido da seguinte forma, de acordo com dados apresentados pelo gerente local:

Energia ponta – 14%

Energia fora de ponta – 79%

Demanda – 4%

Contribuição de iluminação pública – 3%

Assim, podemos calcular o consumo energético mensal médio da seguinte forma:

$$D = \frac{\text{Custo com energia} * 79\%}{\text{Tarifa fora de ponta CEB}} = \frac{63.000 * 0,79}{0,44} = 113.113 \text{ kWh/mês}$$

Como o empreendimento é um cliente do grupo A, sabemos que a demanda poderá ser um limitante para o tamanho do sistema. Assim, temos a potência do sistema será limitada por:

$$P \leq \text{Demanda contratada} = 200 \text{ kW}$$

4.2.1.2 Capacidade de Geração por Localidade

Como o supermercado está localizado em Brasília, os dados solarimétricos utilizados serão:

Tabela 3.3 – Dados de Irradiação Brasília

Dados de irradiação		
Irradiação (kWh/m²/dia):	Jan	5,42
	Fev	5,74
	Mar	5,05
	Abr	5,06
	Mai	4,83
	Jun	4,70
	Jul	4,95
	Ago	5,77
	Set	5,70
	Out	5,59
	Nov	5,08
	Dez	5,44
Irradiação média (kWh/m²/dia):		5,28

4.2.1.3 Seleção dos Painéis Fotovoltaicos

Para o estudo de caso do supermercado B, manteremos os mesmos painéis utilizados para o estudo de caso do supermercado A Bairro. Portanto, seguimos com o painel da Canadian Solar MAXPOWER CS6X 320W. As especificações desse painel estão no Apêndice 1.

Selecionado o painel, encontramos potência necessária para o nosso sistema:

$$P = \frac{D}{I * \alpha * 30} = \frac{113.113}{5,28 * 0,9 * 30} = 793kWp$$

A potência de pico encontrada é superior à demanda contratada, logo, devemos trabalhar com o valor de demanda contratada para a potência de inversores instalados. Logo:

$$P_{inv} = 200kWp$$

A potência máxima que poderemos utilizar será 20% acima da potência dos inversores, como explicado anteriormente. Assim, teremos:

$$Num = \frac{P}{Pot} = \frac{P_{inv} * 1,2}{320} = \frac{240.000}{320} = 750 \text{ painéis}$$

4.2.1.4 Seleção do Inversor

A potência de inversores que poderemos instalar para este caso também ficou limitada pela demanda contratada pelo supermercado e, assim, os valores mínimos e máximos não se fazem mais necessários, uma vez que devemos gerar o máximo de energia possível. Assim, temos que:

$$P_{inv} = P = 200kWp$$

Como também é um múltiplo de 50, manteremos a mesma escolha de inversor do estudo de caso do supermercado A, de forma a facilitar os cálculos seguintes. Assim, seguimos com o ABB TRIO-50.0-TL-OUTD 50kW como nosso inversor. Como cada inversor tem potência de

50kW, iremos utilizar 4 inversores iguais para atingirmos a potência total necessária para nosso sistema. As especificações desse inversor estão no Apêndice 2.

4.2.1.5 Definição das Strings

Sabendo que temos o mesmo inversor e o mesmo painel, os cálculos de strings seguirão inalterados. Assim:

$$N_{max} = \frac{V_{maxi}}{V_{oc}} = \frac{1000}{45,3} = 22 \text{ painéis}$$

$$N_{min} = \frac{V_{star}}{V_{mpp}} = \frac{360}{36,8} = 10 \text{ painéis}$$

Com o mesmo inversor, devemos trabalhar com todas as strings com o mesmo número de painéis de forma a otimizar seu funcionamento.

O número de strings segue inalterada:

$$St_{max} = \frac{I_{maxi}}{I_{sc}} = \frac{160}{9,26} = 17$$

$$St_{min} = 1$$

Com a limitação construtiva do inversor, mantemos o número de strings dentro do especificado pelo fabricante, ou seja:

$$St_{max} = 16$$

$$St_{min} = 1$$

E chegamos ao mesmo ponto final do primeiro sistema, selecionando o número de painéis por string através da tensão ótima de funcionamento do inversor:

$$N = 17 \text{ painéis}$$

$$St = 11$$

Dessa forma, chegamos ao seguinte número de painéis e potência final do sistema B:

$$Num = N * St * 4 = 17 * 11 * 4 = 748 \text{ painéis}$$

$$P = Num * 320 = 748 * 320 = 239,36kWp$$

Esse valor está dentro do limite estabelecido por:

$$P \leq P_{inv} * 1,2 = 240kWp$$

Portanto, o sistema para o supermercado B está definido.

4.2.2 Projeto de Eficiência Energética

O projeto de eficiência energética aplicado no supermercado B foi realizado da seguinte maneira: foi realizado um estudo da substituição das lâmpadas existentes (tubulares) por lâmpadas LED, além do rebaixamento dessa iluminação (ainda não implementado); para os sistemas de refrigeração foi implementado um sistema de automação regulado por temperatura e realizado um estudo para a troca das ilhas de refrigeração abertas para um modelo com portas; para os outros equipamentos foi realizado um estudo de uso consciente dos mesmos.

4.2.2.1 Sistema de Iluminação

Inicialmente, foram contadas as luminárias existentes no supermercado. Eram luminárias fluorescentes tubulares de 28W. A referência das luminárias encontradas está no Apêndice 7. Tínhamos o seguinte:

$$N_{lum} = 1.234$$

O estudo de eficiência energética sugere um rebaixamento do plano de iluminação e uma substituição das lâmpadas existentes por lâmpadas LED.

O dimensionamento realizado para esta parte do processo foi feito pelo método dos Lúmens, assim como o que foi implementado no Supermercado A, e, portanto, o passo a passo será o mesmo.

Assim, teríamos o seguinte cenário:

Passo 1: Índice de Ambiente (K)

$$K = \frac{C * L}{(C + L) * A} = \frac{74 * 36}{(74 + 36) * 3} = 8,1$$

Onde:

C = comprimento do ambiente

L = largura do ambiente

A = altura do plano iluminante da luminária ao ponto de trabalho

Passo 2: Determinar o fator de Utilização (FU) em função do Índice de Ambiente

Esse valor é determinado com o auxílio das tabelas a seguir:

Tabela 4.2 – Fator de Utilização

Fator de Área K	80		70				50		30		0
	50	50	50	50	50	30	30	10	30	10	0
	30	10	30	20	10	10	10	10	10	10	0
0.60	.42	.40	.41	.40	.39	.34	.33	.30	.33	.30	.28
0.80	.50	.47	.49	.48	.46	.41	.40	.37	.40	.37	.35
1.00	.57	.53	.56	.54	.52	.47	.46	.43	.46	.42	.41
1.25	.64	.58	.62	.60	.58	.53	.52	.48	.51	.48	.46
1.50	.69	.62	.67	.64	.62	.57	.56	.53	.55	.52	.51
2.00	.76	.68	.74	.71	.67	.64	.63	.60	.62	.59	.57
2.50	.81	.72	.79	.75	.71	.68	.67	.64	.66	.63	.62
3.00	.85	.74	.82	.78	.73	.71	.70	.67	.68	.67	.65
4.00	.89	.77	.87	.81	.76	.74	.73	.71	.72	.70	.68
5.00	.92	.79	.89	.83	.78	.76	.75	.74	.74	.72	.70

Tabela 4.3 – Auxiliar Fator de Utilização

	Branco	Claro	Médio	Escuro
Teto	80%	70%	50%	30%
Parede		50%	30%	10%
Piso			30%	10%

Assim, utilizando o valor de K encontrado, para Teto Claro, Parede Média e chão Escuro, chegamos ao valor de FU sendo:

$$FU = 0,78$$

Passo 3: Determinar o Fator de Manutenção (FM)

O fator de manutenção pode ser determinado pela tabela a seguir:

Tabela 4.4 – Fator de Manutenção

Período de uso sem limpeza (meses)	Ambiente limpo	Ambiente médio	Ambiente sujo
0	1,00	1,00	1,00
2	0,97	0,92	0,85
4	0,95	0,87	0,76
6	0,93	0,85	0,70
8	0,92	0,82	0,66
10	0,91	0,80	0,63
12	0,90	0,78	0,61
14	0,89	0,77	0,59
16	0,88	0,76	0,57
18	0,87	0,75	0,56
20	0,86	0,74	0,54

De acordo com informações obtidas no supermercado, a limpeza é realizada diariamente. Assim, tomaremos FM como sendo unitário.

Passo 4: Determinar a Iluminância Mínima (Lum) para o ambiente em função da NBR- ISO - 8995

A NBR citada nos oferece a seguinte tabela:

Tabela 4.5 – NBR – ISO - 8995

23. Varejo			
Área de vendas pequena	300	22	80
Área de vendas grande	500	22	80
Área da caixa registradora	500	19	80
Mesa do empacotador	500	19	80

De acordo com a tabela, determinamos a iluminância mínima de:

$$Lum = 500 \text{ Lux}$$

Passo 5: Determinar o Fluxo Luminoso (ϕ) da lâmpada escolhida

Escolhemos as lâmpadas de LED de 19W, mais eficientes e sustentáveis. Assim:

$$\phi = 2.470 \text{ lm}$$

Passo 6: Determinar o número total de luminárias

Para isso, utilizamos os dados encontrados anteriormente e a fórmula:

$$Nlum = \frac{Lum * C * L}{\phi * FU * FM} = \frac{500 * 74 * 36}{2.470 * 0,78 * 1} = 692$$

Assim, neste processo, obtivemos uma troca de 524 lâmpadas fluorescentes por 538 lâmpadas LED. Pode aparentar um aumento, mas devemos levar em consideração a potência instalada. Assim, temos:

$$Pilui = 1.234 * 28 = 28.616 \text{ W}$$

$$Piluf = 692 * 19 = 13.136 \text{ W}$$

$$Pilu = Pilui - Piluf = 15.479 \text{ W}$$

Onde:

Pilui = potência de iluminação inicial da loja

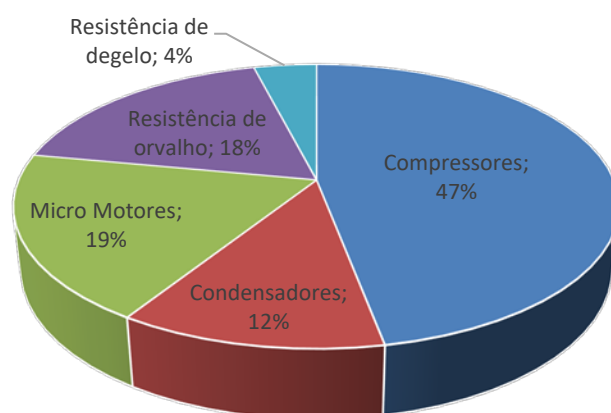
Piluf = potência de iluminação final da loja

Pilu = potência "economizada"

4.2.2.2 Sistema de Refrigeração

A matriz energética de refrigeração do supermercado B pode ser representada pelo gráfico pizza abaixo, realizado após estudo das cargas térmicas (câmaras frias, ilhas de resfriamento, ar condicionados, etc) do empreendimento:

Gráfico 4.7 – Matriz Energética do Sistema de Refrigeração Supermercado B



Notamos que existe um padrão dentro dos supermercados com relação a distribuição das cargas térmicas.

No caso do supermercado B, por não ser um mercado 24h (caso do supermercado A), o sistema de automação gerou um ganho superior de eficiência, uma vez que, a partir das 22h (horário de fechamento das lojas), as ilhas ficam 100% fechadas até às 6h da manhã, o que faz com que os compressores e condensadores trabalhem ainda menos que no caso do supermercado A. Assim, após a inicialização dos sistemas de automação, os sistemas de refrigeração obtiveram redução de 8% no tempo de funcionamento.

Caso desejássemos realizar um estudo sobre a substituição das ilhas e câmaras de resfriamento, acreditamos, devido ao padrão utilizado, que a economia do mercado B seria proporcional ao ganho obtido no supermercado A. Como este funciona 24h e teve uma redução de 3,8% com a troca dos equipamentos e 6% de redução geral, acreditamos que a redução para o mercado B possa ser calculada da seguinte forma:

$$Rt = \frac{Rc * 0,08}{0,06} = \frac{3,8 * 0,08}{0,06}$$

$$Rt = 5\%$$

Onde:

Rt = redução de gasto supermercado B (troca dos equipamentos)

Rc = redução de gasto supermercado A (troca dos equipamentos)

Com isso, obtivemos uma redução real de 8% de toda a energia gasta com sistemas de refrigeração e uma perspectiva de redução, caso a troca dos equipamentos fosse implementada, de aproximadamente 13%.

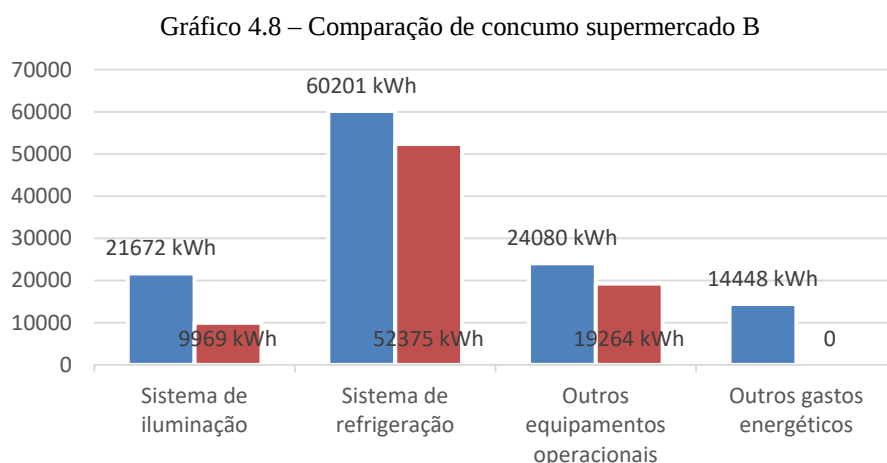
4.2.2.3 Demais Equipamentos

Para os demais equipamentos, a única atividade realizada foi a conscientização dos funcionários para um uso mais eficiente dos equipamentos como o forno de lastro, que representam porção importante do gasto energético do supermercado.

Após a inicialização das novas medidas, notou-se uma redução total de aproximadamente 4% do gasto energético da unidade. Essa redução pôde ser estimada por meio de medições realizadas por uma empresa especializada em projetos de eficiência energética. Medições realizadas antes e depois do curso foram comparadas e estimada a redução de consumo. Esse valor nos mostra que os funcionários do B eram ainda mais negligentes que os do A.

4.2.2.4 Comparação de consumo

Após a realização dos estudos de eficiência energética, obtivemos a possível redução dos valores de energia consumidos pelos sistemas estudados. O gráfico a seguir apresenta uma comparação do consumo antes e depois do projeto de eficiência energética.



4.2.3 Sistema Fotovoltaico com Eficiência Energética Implementada

No caso do supermercado B, serão realizados 2 estudos posteriores à eficiência energética. O primeiro, com relação às medidas implementadas no supermercado e a segunda com as medidas sugeridas para que fossem implementadas juntamente com o sistema fotovoltaico. Seguiremos mais uma vez o nosso passo a passo.

4.2.3.1 Consumo Energético

Tomando por base a demanda energética inicial do B e as economias alcançadas nas medidas de eficiência energética, podemos calcular a nova demanda energética do empreendimento. Vale lembrar que:

Demanda energética iluminação (D_i) – 18%

Demanda energética refrigeração (D_r) – 50%

Demanda energética outros equipamentos operacionais (D_e) – 20%

Economia alcançada nos sistemas de iluminação (e_i) – 0%

Economia alcançada nos sistemas de refrigeração (e_r) – 8%

Economia alcançada com automação dos outros equipamentos (e_e) – 20%

Economia alcançada com recabeamento elétrico (e_c) – 2%

A economia com o recabeamento será considerada em todo o sistema, uma vez que existem cabos elétricos interligando todos os sistemas do supermercado.

Assim, podemos calcular a nova demanda energética mensal média da seguinte forma:

$$D' = D * (D_i * (1 - e_i) + D_r * (1 - e_r) + D_e * (1 - e_e)) * (1 - e_c)$$

$$D' = 113.113 * (0,18 * 1 + 0,5 * 0,92 + 0,2 * 0,80) * (1 - 0,02) = 113.113 * 0,8 * 0,98$$

$$D' = 88.680 \text{ kWh}$$

Como o empreendimento é um cliente do grupo A, sabemos que a demanda poderá ser um limitante para o tamanho do sistema. Assim, temos a potência do sistema será limitada por:

$$P \leq \text{Demanda contratada} = 200kW$$

4.2.3.2 Capacidade de Geração por Localidade

Como o supermercado está localizado em Brasília, os dados solarimétricos utilizados serão:

Tabela 3.3 – Dados de Irradiação Brasília

Dados de irradiação		
Irradiação (kWh/m²/dia):	Jan	5,42
	Fev	5,74
	Mar	5,05
	Abr	5,06
	Mai	4,83
	Jun	4,70
	Jul	4,95
	Ago	5,77
	Set	5,70
	Out	5,59
	Nov	5,08
	Dez	5,44
Irradiação média (kWh/m²/dia):		5,28

4.2.3.3 Seleção dos Painéis Fotovoltaicos

O painel fotovoltaico segue sendo o mesmo do primeiro dimensionamento, Canadian Solar MAXPOWER CS6X 320W.

A potência necessária para o nosso novo sistema é:

$$P = \frac{D}{I * \alpha * 30} = \frac{88.680}{5,28 * 0,9 * 30} = 622kWp$$

A potência de pico encontrada também é superior à demanda contratada, logo, devemos trabalhar com o valor de demanda contratada para a potência de inversores instalados. Logo:

$$P_{inv} = 200kWp$$

A potência máxima que poderemos utilizar será 20% acima da potência dos inversores, como explicado anteriormente. Assim, teremos:

$$Num = \frac{P}{Pot} = \frac{P_{inv} * 1,2}{320} = \frac{240.000}{320} = 750 \text{ painéis}$$

Como o sistema não precisará ser alterado devido a limitação de demanda, iremos apenas deixar os dados expostos a seguir e discutiremos as diferenças de projetos logo mais, na análise dos resultados encontrados.

4.2.3.4 Seleção do Inversor

Potência dos inversores do novo sistema permanece inalterado:

$$P_{inv} = P = 200kWp$$

Seguiremos utilizando os mesmos equipamentos do primeiro sistema dimensionado, assim, o inversor será o ABB TRIO-50.0-TL-OUTD 50kW. Como cada inversor tem potência de 50kW, iremos utilizar 5 inversores iguais para atingirmos a potência total necessária para nosso sistema.

4.2.3.5 Definição das Strings

Mais uma vez, seguindo as especificações do sistema já dimensionado anteriormente, teremos:

$$N_{max} = \frac{V_{maxi}}{V_{oc}} = \frac{1000}{45,3} = 22 \text{ painéis}$$

$$N_{min} = \frac{V_{star}}{V_{mpp}} = \frac{360}{36,8} = 10 \text{ painéis}$$

Com o mesmo inversor, devemos trabalhar com todas as strings com o mesmo número de painéis de forma a otimizar seu funcionamento.

O número de strings segue inalterada:

$$St_{max} = \frac{I_{maxi}}{I_{sc}} = \frac{160}{9,26} = 17$$

$$St_{min} = 1$$

Com a limitação construtiva do inversor, mantemos o número de strings dentro do especificado pelo fabricante, ou seja:

$$St_{max} = 16$$

$$St_{min} = 1$$

E chegamos ao mesmo ponto final do primeiro sistema, selecionando o número de painéis por string através da tensão ótima de funcionamento do inversor:

$$N = 17 \text{ painéis}$$

$$St = 11$$

Dessa forma, chegamos ao seguinte número de painéis e potência final do sistema:

$$Num = N * St * 5 = 17 * 11 * 5 = 935 \text{ painéis}$$

$$P = Num * 320 = 935 * 320 = 300,8kWp$$

Esse valor está dentro do limite estabelecido por:

$$P \leq P_{inv} * 1,2 = 240kWp$$

4.2.3.6 Estudo de área de telhado

Da mesma forma que foi feito com o supermercado A, vamos analisar a área presente para implementação do sistema fotovoltaico do supermercado B:

$$A = Num * Ap = 750 * 2 = 1.500 m^2$$

Onde:

A = área necessária (m²)

Num = número de painéis

Ap = área de cada painel (m²)

As imagens retiradas via satélite nos mostram as dimensões do telhado do supermercado B, e nos ajudam a calcular a área disponível para implementação do sistema.



Figura 4.3 – Dimensão 1 supermercado B

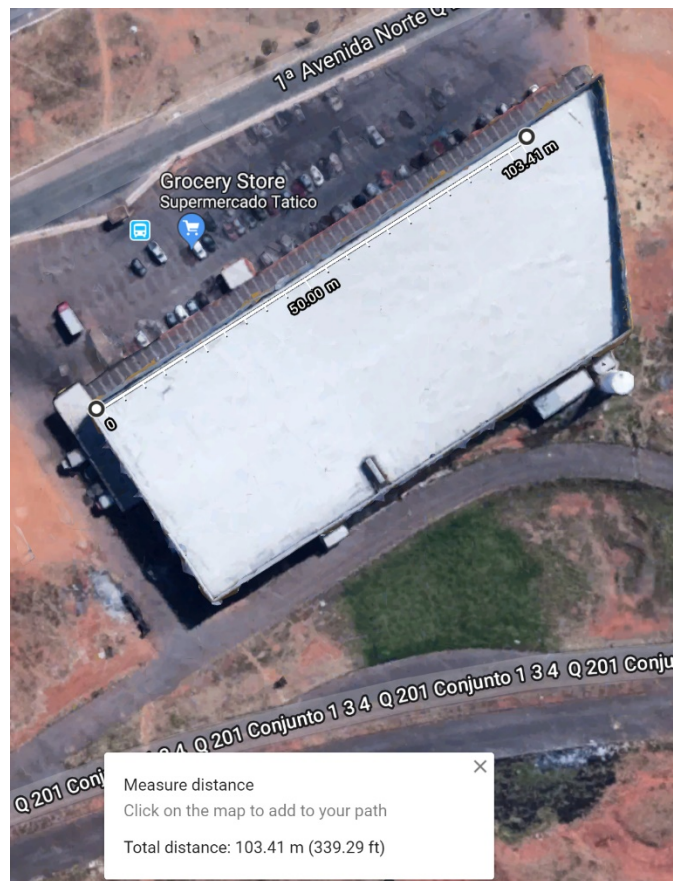


Figura 4.4 – Dimensão 2 supermercado B

Assim, a área disponível para instalação do sistema é de:

$$Ad = dim1 * dim2 = 40 * 100 = 4.000 m^2$$

Onde:

Ad = área disponível (m^2)

dim1 = dimensão 1 do mercado A (m)

dim2 = dimensão 2 do mercado A (m)

Concluimos, portanto, que área não será um limitante para a implementação do sistema fotovoltaico.

4.2.4 Sistema Fotovoltaico com Eficiência Energética Projetada

Aqui, não se faz necessário um novo dimensionamento, uma vez que já ficou claro que a demanda contratada será limitante no sistema do supermercado B, assim como foi para o Carrefour. Então, iremos deixar explícito apenas o cálculo da demanda e omitiremos os demais cálculos, de forma que o trabalho não fique muito repetitivo.

4.2.4.1 Consumo Energético

Tomando por base a demanda energética inicial do B e as economias projetadas nos estudos de eficiência energética, podemos calcular a nova demanda energética do empreendimento. Vale lembrar que:

Demanda energética iluminação (D_i) – 18%

Demanda energética refrigeração (D_r) – 50%

Demanda energética outros equipamentos operacionais (D_e) – 20%

Economia alcançada nos sistemas de iluminação (e_i) – 54%

Economia alcançada nos sistemas de refrigeração (e_r) – 13%

Economia alcançada com automação dos outros equipamentos (e_e) – 20%

Economia alcançada com recabeamento elétrico (e_c) – 2%

A economia com o recabeamento será considerada em todo o sistema, uma vez que existem cabos elétricos interligando todos os sistemas do supermercado.

Assim, podemos calcular a nova demanda energética mensal média da seguinte forma:

$$D' = D * (D_i * (1 - e_i) + D_r * (1 - e_r) + D_e * (1 - e_e)) * (1 - e_c)$$

$$\begin{aligned} D' &= 113.113 * (0,18 * 0,46 + 0,5 * 0,87 + 0,2 * 0,80) * (1 - 0,02) \\ &= 113.113 * 0,678 * 0,98 \end{aligned}$$

$$D' = 75.134 \text{ kWh}$$

Como o empreendimento é um cliente do grupo A, sabemos que a demanda poderá ser um limitante para o tamanho do sistema. Assim, temos a potência do sistema será limitada por:

$$P \leq \text{Demanda contratada} = 200kW$$

5 Análise de Resultados

5.1 Metodologia de Análise

A metodologia utilizada para analisar os resultados foi dividida em três etapas. A primeira é a análise do impacto da implementação do sistema fotovoltaico dimensionado antes da implementação da eficiência energética nos gastos do empreendimento.

Na segunda etapa da análise, iremos avaliar o impacto da eficiência energética na demanda de energia elétrica do supermercado.

Por fim, avaliaremos a implementação das duas tecnologias, de forma complementar, para que enfim possamos chegar à conclusão do presente trabalho.

5.2 Sistema Fotovoltaico

Iniciaremos nossa análise de resultados através de um estudo financeiro de viabilidade da implementação do sistema fotovoltaico nos empreendimentos estudados.

5.2.1 Supermercado A

Para iniciar nosso estudo, apresentaremos um resumo do sistema fotovoltaico a ser implementado no supermercado A anterior à implementação das ações de eficiência energética:

Tabela 5.1 – Dados Sistema Fotovoltaico I Supermercado A

Dados do módulo fotovoltaico em STC		
Modelo:	Módulos Canadian Solar CS6X320P 320W - 72 células	
Potência de pico:	320	Wp
Dados do inversor		
Modelo:	Inversor ABB TRIO 50.0-TL-OUTD	
Potência nominal	50000	W
Potência do sistema		
Potência de pico dos módulos	299200	Wp
Número de módulos	935	unidade
Número de inversores	5	unidade

Com base nesses dados, podemos calcular os custos envolvidos no processo de implementação do sistema fotovoltaico. Para tal, foram utilizados valores comerciais da empresa STP Green para a parte de projeto e instalação (serviços) e de uma Empresa Fornecedora de Kits de Energia Solar para o fornecimento do kit solar que engloba painéis, inversores, string box e cabeamento solar. Os valores dos outros equipamentos utilizados na instalação, estão inclusos nos valores de instalação. Assim, para a implementação deste sistema, temos:

Tabela 5.2 – Valores do Sistema Fotovoltaico I Supermercado A

Custos do projeto		Total
Total Equipamento	R\$	730.787,74
Total Projeto	R\$	149.600,00
Total Instalação (mão de obra e materiais)	R\$	179.520,00
Valor total do investimento:	R\$	1.059.907,74

Agora que sabemos quanto custaria implementar o sistema em estudo, passaremos para análise da economia que este sistema oferece para o empreendimento. Para isso, pegaremos a capacidade de geração e multiplicaremos pela tarifa de energia paga pelo empreendimento. Temos que:

$$E = I * A * \eta * \alpha * Num = 5,28 * 1,92 * 0,1668 * 0,9 * 935$$

$$E = 1.423 \frac{\text{kWh}}{\text{dia}} = 42.688 \frac{\text{kWh}}{\text{mês}} = 512.257 \frac{\text{kWh}}{\text{ano}}$$

Onde:

E = Energia gerada pelo sistema

A = área do painel

η = eficiência do painel

Determinada a geração anual de energia que o sistema será capaz de produzir, conseguimos realizar uma estimativa de economia anual nos gastos do empreendimento. Para isso, basta fazer:

$$Economia = E * Tarifa \text{ fora de ponta CEB} = 512.257 * 0,44$$

$$Economia = \frac{\text{R\$225.393,04}}{\text{ano}}$$

Vale lembrar que, ao longo dos anos a eficiência dos painéis diminui, enquanto que a energia sofre com a inflação. Assim, para a análise do fluxo de caixa do sistema, levamos em consideração os seguintes critérios:

δ = depreciação dos painéis = 0,89% a. a.

β = inflação sobre a energia = 9% a. a.

O valor estabelecido para a depreciação dos painéis foi calculado segundo a garantia de geração informada pelo fabricante. Já o valor estabelecido para a inflação da energia, foi a média da inflação da mesma nos últimos 10 anos no Brasil. Esses valores são mostrados na tabela a seguir:

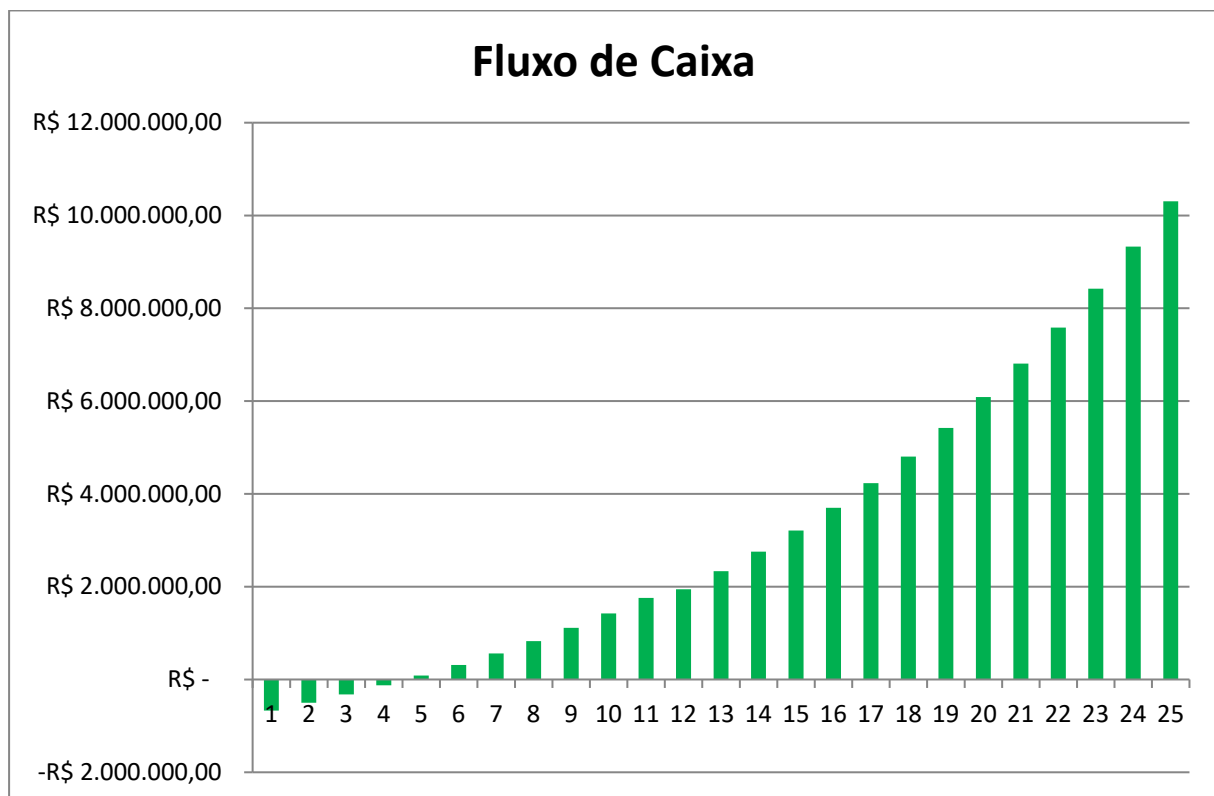
Tabela 5.3 – Inflação de energia elétrica CEB

Inflação Energia Elétrica	
ANO	REAJUSTE TARIFÁRIO
Concessionária	CEB
2004	2%
2005	1%
2006	-2%
2007	-3%
2008	-7%
2009	10%
2010	11%

2011	8%
2012	3%
2013	8%
2014	17%
2015	47%
Média últimos 10 anos	9%

Além disso, para o cálculo do fluxo de caixa, foi estabelecido um montante de 3% do valor investido para manutenção anual do sistema e 30% do valor dos equipamentos para a troca dos inversores ao final do 12º ano. Assim, pudemos criar um fluxo de caixa para o investimento e obter o resultado em forma de gráfico, que será apresentado a seguir:

Gráfico 5.1 – Fluxo de caixa Sistema Fotovoltaico I Supermercado A



A tabela de fluxo de caixa completa será colocada no Apêndice 3 para melhor análise.

Assim, para o determinado sistema, obtivemos um retorno de investimento a partir do quarto ano. Analizando a planilha completa, temos que:

$$\text{Payback} = 4 \text{ anos e } 7 \text{ meses}$$

5.2.2 Supermercado B

Para iniciar nosso estudo, apresentaremos um resumo do sistema fotovoltaico a ser implementado no supermercado B anterior à implementação das ações de eficiência energética:

Tabela 5.4 – Dados Sistema Fotovoltaico I Supermercado B

Dados do módulo fotovoltaico em STC		
Modelo:	Módulos Canadian Solar CS6X320P 320W - 72 células	
Potência de pico:	320	Wp
Dados do inversor		
Modelo:	Inversor ABB TRIO 50.0-TL-OUTD	
Potência nominal	50000	W
Potência do sistema		
Potência de pico dos módulos	239360	Wp
Número de módulos	748	unidade
Número de inversores	4	unidade

Com base nesses dados, podemos calcular os custos envolvidos no processo de implementação do sistema fotovoltaico. Para tal, foram utilizados valores comerciais da empresa STP Green para a parte de projeto e instalação (serviços) e de uma Empresa Fornecedora de Kits de Energia Solar para o fornecimento do kit solar que engloba painéis, inversores, string box e cabeamento solar. Os valores dos outros equipamentos utilizados na instalação, estão inclusos nos valores de instalação. Assim, para a implementação deste sistema, temos:

Tabela 5.5 – Valores do Sistema Fotovoltaico I Supermercado B

Custos do projeto	Total	
Total Equipamento	R\$	584.630,20
Total Projeto	R\$	119.680,00
Total Instalação (mão de obra e materiais)	R\$	143.616,00
Valor total do investimento:	R\$	847.926,20

Agora que sabemos quanto custaria implementar o sistema em estudo, passaremos para análise da economia que este sistema oferece para o empreendimento. Para isso, pegaremos a capacidade de geração e multiplicaremos pela tarifa de energia paga pelo empreendimento. Temos que:

$$E = I * A * \eta * \alpha * Num = 5,28 * 1,92 * 0,1668 * 0,9 * 748$$

$$E = 1.138 \frac{kWh}{dia} = 34.150 \frac{kWh}{mês} = 409.805 \frac{kWh}{ano}$$

Onde:

E = Energia gerada pelo sistema

A = área do painel

η = eficiência do painel

Determinada a geração anual de energia que o sistema será capaz de produzir, conseguimos realizar uma estimativa de economia anual nos gastos do empreendimento. Para isso, basta fazer:

$$Economia = E * Tarifa \text{ fora de ponta CEB} = 409.805 * 0,44$$

$$Economia = \frac{R\$180.314,43}{ano}$$

Os parâmetros para depreciação dos painéis e inflação de energia, seguem os mesmos, logo:

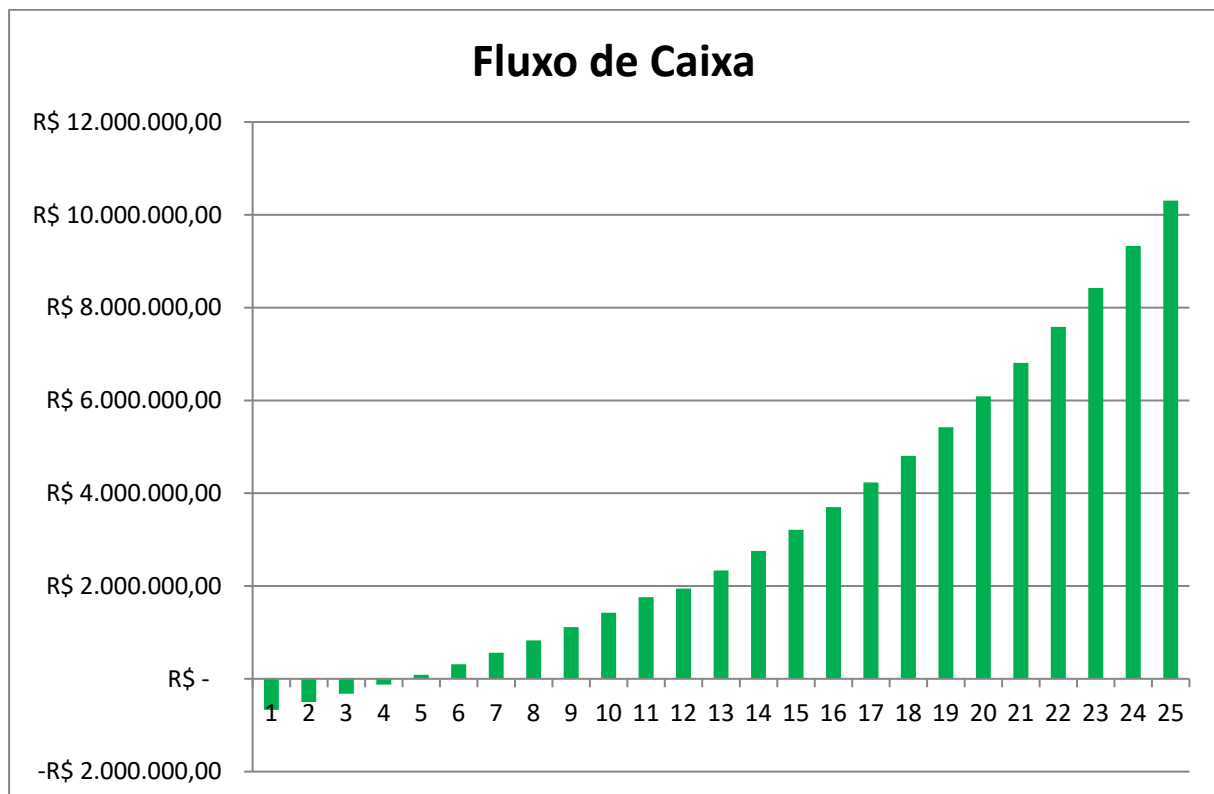
δ = depreciação dos painéis = 0,89% a. a.

β = inflação sobre a energia = 9% a. a.

O valor estabelecido para a depreciação dos painéis foi calculado segundo a garantia de geração informada pelo fabricante. Já o valor estabelecido para a inflação da energia, foi a média da inflação da mesma nos últimos 10 anos no Brasil. Esses valores são mostrados na Tabela 5.3 já apresentada anteriormente.

Além disso, para o cálculo do fluxo de caixa, foi estabelecido um montante de 3% do valor investido para manutenção anual do sistema e 30% do valor dos equipamentos para a troca dos inversores ao final do 12º ano. Assim, pudemos criar um fluxo de caixa para o investimento e obter o resultado em forma de gráfico, que será apresentado a seguir:

Gráfico 5.2 – Fluxo de caixa Sistema Fotovoltaico I Supermercado B



A tabela de fluxo de caixa completa será colocada no Apêndice 4 para melhor análise.

Assim, para o determinado sistema, obtivemos um retorno de investimento a partir do quarto ano. Analizando a planilha completa, temos que:

$$Payback = 4 \text{ anos e } 7 \text{ meses}$$

5.3 Eficiência Energética

Dando seguimento a nossa análise, vamos avaliar o retorno financeiro obtido com os projetos de eficiência energética implementados nos empreendimentos estudados.

5.3.1 Supermercado A

Para sabermos o ponto de partida, apresentaremos em uma tabela as melhorias e custos de implementação das ações de eficiência energética colocadas em prática no supermercado A:

Tabela 5.6 – Gastos Eficiência Sistemas de Refrigeração Supermercado A

Eficiência Energética Refrigeração		
Ação	Custo	Redução de consumo mensal (kWh)
Troca da iluminação	R\$ 26.000,00	5.600
Sistema de automação	R\$ 8.000,00	4.222
Ilhas de Resfriamento	R\$ 21.000,00	700
Câmaras de Resfriamento	R\$ 57.300,00	1.970
Curso Eficiência Energética para funcionários	R\$ 10.000,00	1.172
Total	R\$ 122.300,00	13.664

Em posse destes custos de implementação e das economias geradas para cada caso, podemos calcular o retorno de investimento do projeto de eficiência energética como um todo. Para isso, basta calcularmos quantos meses serão necessários para que o valor gasto com essas melhorias seja retornado ao caixa do supermercado. Fazemos:

$$Payback = \frac{\text{Custo}}{\text{Retorno mensal}} = \frac{122.300}{13.664 * 0,44} = 20,34 \text{ meses}$$

$$Payback = 1 \text{ anos e } 9 \text{ meses}$$

O que podemos notar com os valores encontrados é que nem sempre o investimento mais caro será o que apresentará melhor retorno, mas a implementação de ideias inteligentes faz com que grandes investimentos tenham um resultado muito atrativo.

5.3.2 Supermercado B

Para o caso do B, apresentaremos inicialmente duas tabelas. A primeira com os gastos realizados pelo mercado, e a segunda com os gastos sugeridos para um projeto de eficiência completo. Assim, temos:

Tabela 5.7 – Gastos Eficiência Sistemas de Refrigeração Supermercado B

Eficiência Energética Refrigeração		
Ação	Custo	Redução de consumo mensal (kWh)
Troca do cabeamento	R\$ 18.000,00	2.262
Sistema de automação	R\$ 8.000,00	4.525
Curso Eficiência Energética para funcionários	R\$ 10.000,00	4.524
Total	R\$ 36.000,00	11.311

Tabela 5.8 – Gastos sugeridos Eficiência Sistemas de Refrigeração Supermercado B

Eficiência Energética Refrigeração		
Ação	Custo	Redução de consumo mensal (kWh)
Troca da iluminação	R\$ 50.000,00	8.350
Câmaras de Resfriamento	R\$ 140.000,00	4.525
Ilhas de Resfriamento	R\$ 33.000,00	1.131
Total	R\$ 223.000,00	14.006

Com isso, podemos calcular três paybacks diferentes: um para as medidas implementadas, um outro para as medidas sugeridas e um terceiro para as medidas em conjunto. Teremos:

$$\text{Payback 1} = \frac{\text{Custo 1}}{\text{Retorno mensal 1}} = \frac{36.000}{11.311 * 0,44} = 7,23 \text{ meses}$$

$$\text{Payback 1} = 8 \text{ meses}$$

$$\text{Payback 2} = \frac{\text{Custo 2}}{\text{Retorno mensal 2}} = \frac{223.000}{14.006 * 0,44} = 36,18 \text{ meses}$$

$$\text{Payback 2} = 3 \text{ anos e } 1 \text{ mês}$$

$$\text{Payback} = \frac{\text{Custo}}{\text{Retorno mensal}} = \frac{259.000}{25.317 * 0,44} = 23,25 \text{ meses}$$

$$\text{Payback} = 2 \text{ anos}$$

A conclusão para o caso do B é que, as medidas tomadas pela empresa foram as mais baratas que possuíam um retorno muito rápido. Caso fosse tomar as medidas sugeridas de forma individual, apesar de ainda ser um payback interessante (abaixo de 5 anos), não seriam tão atrativas quanto tomar todas as medidas de forma conjunta. Assim, podemos entender que a eficiência energética deve ser sim uma mistura de troca de equipamentos, automação das ações e otimização da utilização da energia.

5.4 Tecnologias Complementares

Ao analisarmos os resultados encontrados nos tópicos anteriores, podemos chegar a algumas conclusões: a primeira delas é que, nem a geração fotovoltaica e nem a eficiência energética são suficientes para implementar reduções muito significativas, de forma independentemente; a segunda conclusão é que as medidas de eficiência energética não alteram o tamanho dos sistemas fotovoltaicos para os casos estudados, reforçando a ideia de complementariedade dessas tecnologias.

Assim, vamos fazer um breve resumo do que cada tecnologia oferece para cada caso e assim, concluir a complementariedade ou não das mesmas.

5.4.1 Supermercado A

Para o supermercado A, os resultados obtidos para o sistema fotovoltaico e para as ações de eficiência energética podem ser resumidos na tabela a seguir:

Tabela 5.9 – Resumo Caso A

Sistema Fotovoltaico	
Investimento	R\$ 1.059.907,74
Economia anual	R\$ 225.393,04 (36,3%)
Payback	4 anos e 7 meses
Eficiência Energética	
Investimento	R\$ 122.300,00
Economia anual	R\$ 59.294,40 (9,5%)
Payback	1 ano e 9 meses

Com esses resultados, podemos entender que, as tecnologias são complementares, uma vez que juntas, conseguem atingir reduções que individualmente nenhuma consegue. A implementação de uma não interfere na implementação da outra, ou seja, a redução por parte da eficiência energética nada influencia a redução obtida a partir da implementação do sistema fotovoltaico.

Assim, o resultado final para o supermercado A foi:

Tabela 5.10 – Resultado Caso A

Sistema Complementar	
Investimento	R\$ 1.182.207,74
Economia de Demanda	45,8%

5.4.2 Supermercado B

O caso B não foge muito do padrão A. Como resultado da implementação das duas tecnologias, iremos analisar apenas o caso em que o supermercado deseje realizar todas as medidas sugeridas, além da implementação do sistema de geração fotovoltaica. Assim, teríamos:

Tabela 5.11 – Resumo Caso B

Sistema Fotovoltaico	
Investimento	R\$ 847.926,20
Economia anual	R\$ 180.314,43 (30,2%)
Payback	4 anos e 7 meses
Eficiência Energética	
Investimento	R\$ 259.000,00
Economia anual	R\$ 122.907,84 (20,1%)
Payback	2 anos

Neste caso também notamos a complementariedade das tecnologias pelas mesmas razões apresentadas no caso A. Vale ressaltar que os sistemas internos (os modificados pelo projeto de eficiência energética) do B eram claramente piores do que os do A.

Assim, o resultado final para o supermercado B foi:

Tabela 5.12 – Resultado Caso B

Sistema Complementar	
Investimento	R\$ 1.106.926,20
Economia de Demanda	50,3%

6 Conclusões e Sugestões

6.1 Conclusões

O primeiro resultado que pudemos retirar dos estudos realizados foi que, devido a demanda contratada para clientes do grupo A ser muito abaixo das potências necessárias para a geração de toda a demanda de energia desses empreendimentos (caso dos supermercados), a implementação das estratégias de eficiência energética nada alteram no dimensionamento do sistema de geração fotovoltaica possível de ser instalado nestes comércios.

Logo depois, pudemos concluir também que, existem diferentes tipos de ações dentro de um projeto de eficiência energética, cada um deles com sua importância. Notamos que nem sempre as ações mais onerosas são as que oferecem melhores retornos. Assim, um estudo completo e a implementação de todas essas ações, se torna a opção mais inteligente no âmbito geral.

Chegando na parte de análise do presente trabalho, pudemos concluir que a implementação de uma tecnologia não afeta a implementação ou estudo da outra, o que comprova a complementariedade das mesmas. Individualmente, não têm o poder de oferecer grandes reduções, mas quando colocadas juntas, podem oferecer reduções de até 50% da demanda de energia elétrica, como comprovado no caso B.

Por fim, o trabalho concluiu com êxito a complementariedade das tecnologias. A eficiência energética, por si só, não traz grandes diminuições de demanda, uma vez que a geração fotovoltaica, apesar de oferecer uma maior diminuição na demanda, tem payback mais elevado. Assim, as duas, em conjunto, apresentam a melhor opção para o empreendimento que deseja ter uma redução de sua demanda de energia elétrica de forma inteligente e sustentável.

6.2 Sugestões para Trabalhos Futuros

Ao final deste trabalho, após a análise dos resultados encontrados, foi possível ver complementariedade das tecnologias para clientes do grupo A. Para um próximo trabalho, seria interessante a análise deste caso para clientes do grupo B, onde não há limitação da potência do sistema fotovoltaico pela demanda contratada. Assim, seria possível analisar os casos em que o empreendimento fizesse eficiência energética e sistema fotovoltaico e o caso em que o empreendimento decida instalar um sistema capaz de compensar também a energia mal gasta sem a implementação de um estudo de eficiência.

Outra sugestão de possível trabalho seria a adição de outros fatores para análise. Assim, além de averiguar a complementariedade das duas tecnologias estudadas, poderiam ser analisados fatores como a forma de tarifação do empreendimento, a redução ou não da demanda contratada para redução de custos, entre outros fatores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Conjuntura dos Recursos Hídricos 2017**. Disponível em: <http://conjuntura.ana.gov.br/static/media/conjuntura_completo.caf2236b.pdf>.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012**. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/informacoes-tecnicas/>>.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Resolução Normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015**. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/informacoes-tecnicas/>>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410: instalações elétricas em baixa tensão**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 8995: Iluminação de Ambientes de Trabalho**. Rio de Janeiro, 2013.

BRANCO, Natashe Nicoli. **Avaliação de índices de consumo de energia para supermercados**. Projeto de Graduação-Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Mecânica, 2010.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético. **Boletim Mensal de Energia – Jan/2017**. Brasília, DF, 2017. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/1138787/7994286/Boletim+Mensal+de+Energia+jan+2017.pdf/f9f255a3-7c0e-491d-8f6a-672907692b77>>.

DE SOUZA, Paulo Henrique Silva. **Custo de Energia passa a ser 2^a maior despesa de um supermercado: saiba como economizar** [relatório na internet]. Disponível em: <<https://pt.linkedin.com/pulse/custo-de-energia-passa-ser-2a-maior-despesa-um-saiba-silva-de-souza>>.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2017**. Disponível em: <[http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2017.xls](http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anuário%20Estatístico%20de%20Energia%20Elétrica%202017.xls)>.

NETO, Alberto Hernandez et al. **Capítulo 15: Eficiência Energética**; em MOREIRA, José Roberto Simões. Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética. Rio de Janeiro, 2017.

OLIVEIRA, José Augusto Barros. **Estudo de eficiência energética na refrigeração de um supermercado**. MS thesis. Universidade de Aveiro, 2012.

PANESI, André Ricardo Quinteros. **Eficiência energética em supermercados**. São Paulo, 2008.

SOWMY, Daniel Setrak. **Capítulo 10: Energia Solar – Tecnologia e Aplicações**; em MOREIRA, José Roberto Simões. Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética. Rio de Janeiro, 2017.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – USP. **O efeito fotoelétrico** [relatório na internet]. Disponível em: <<http://portal.if.usp.br/labdid/sites/portal.if.usp.br/labdid/files/FM09.pdf>>.

VILLALVA, Marcelo Gradella. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações: sistemas isolados e conectados à rede**. São Paulo: Érica – Saraiva, 2015.

Apêndices

Apêndice 1 – Datasheet Canadian Solar MAXPOWER CS6X 320W



MAXPOWER CS6X-310|315|320|325 P

The high quality and reliability of Canadian Solar's modules is ensured by 15 years of experience in module manufacturing, well-engineered module design, stringent BOM quality testing, an automated manufacturing process and 100% EL testing.

KEY FEATURES

-  Excellent module efficiency of up to 16.94 %
-  Outstanding low irradiance performance of up to 96.0 %
-  High PTC rating of up to 91.83%
-  IP67 junction box for long-term weather endurance
-  Heavy snow load up to 5400 Pa, wind load up to 2400 Pa

25 years

linear power output warranty

10 years

product warranty on materials and workmanship

MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES*

ISO 9001:2008 / Quality management system
ISO 14001:2004 / Standards for environmental management system
OHSAS 18001:2007 / International standards for occupational health & safety

PRODUCT CERTIFICATES*

IEC 61215 / IEC 61730: TÜV-Rheinland / VDE / CE / CEC AU / MCS / KEMCO / INMETRO / JET / CQC
UL 1703 / IEC 61215 performance: CEC listed (US)
UL 1703: CSA / IEC 61701 ED2: VDE / IEC 62716: VDE
UNI 9177 Reaction to Fire: Class 1
IEC 60068-2-68: SGS
Take-e-way



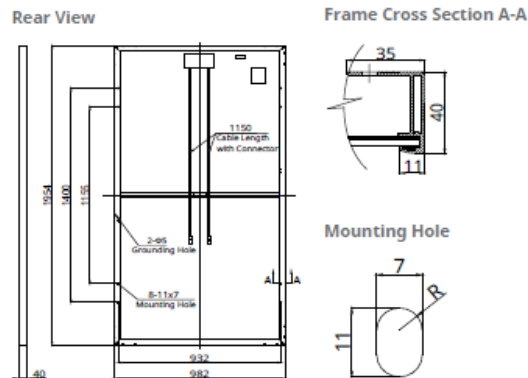
* Please contact your local Canadian Solar sales representative for the specific product certificates applicable in your market.

CANADIAN SOLAR INC. is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world. As a leading PV project developer and manufacturer of solar modules with over 20 GW deployed around the world since 2001, Canadian Solar Inc. (NASDAQ: CSIQ) is one of the most bankable solar companies worldwide.

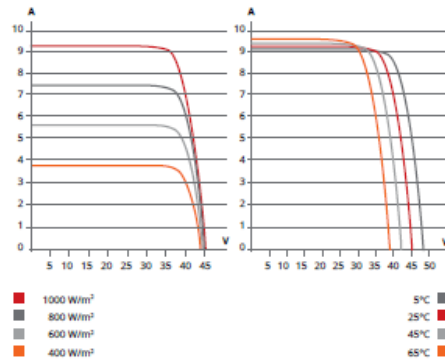
CANADIAN SOLAR INC.

545 Speedvale Avenue West, Guelph, Ontario N1K 1E6, Canada, www.canadiansolar.com, support@canadiansolar.com

ENGINEERING DRAWING (mm)



CS6X-320P / I-V CURVES



ELECTRICAL DATA | STC*

CS6X	310P	315P	320P	325P
Nominal Max. Power (P _{max})	310 W	315 W	320 W	325 W
Opt. Operating Voltage (V _{mp})	36.4 V	36.6 V	36.8 V	37.0 V
Opt. Operating Current (I _{mp})	8.52 A	8.61 A	8.69 A	8.78 A
Open Circuit Voltage (V _{oc})	44.9 V	45.1 V	45.3 V	45.5 V
Short Circuit Current (I _{sc})	9.08 A	9.18 A	9.26 A	9.34 A
Module Efficiency	16.16%	16.42%	16.68%	16.94%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C			
Max. System Voltage	1000 V (IEC) or 1000 V (UL)			
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC 61730)			
Max. Series Fuse Rating	15 A			
Application Classification	Class A			
Power Tolerance	0 ~ +5 W			

* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Poly-crystalline, 6 inch
Cell Arrangement	72 (6×12)
Dimensions	1954×982×40 mm (76.9×38.7×1.57 in)
Weight	22 kg (48.5 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame Material	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP67, 3 diodes
Cable	4 mm² (IEC) or 4 mm² & 12 AWG 1000V (UL), 1150 mm
Connector	T4 series or PV2 series
Per Pallet	26 pieces, 620 kg (1366.9 lbs)
Per Container (40' HQ)	624 pieces

ELECTRICAL DATA | NMOT*

CS6X	310P	315P	320P	325P
Nominal Max. Power (P _{max})	228 W	231 W	235 W	239 W
Opt. Operating Voltage (V _{mp})	33.5 V	33.7 V	33.9 V	34.0 V
Opt. Operating Current (I _{mp})	6.80 A	6.87 A	6.94 A	7.01 A
Open Circuit Voltage (V _{oc})	41.8 V	42.0 V	42.2 V	42.4 V
Short Circuit Current (I _{sc})	7.33 A	7.41 A	7.48 A	7.54 A

* Under Nominal Module Operating Temperature (NMOT), irradiance of 800 W/m², spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temp. Coefficient (P _{max})	-0.41 % / °C
Temp. Coefficient (V _{oc})	-0.31 % / °C
Temp. Coefficient (I _{sc})	0.053 % / °C
Nominal Module Operating Temperature (NMOT)	43±2 °C

PERFORMANCE AT LOW IRRADIANCE

Outstanding performance at low irradiance, with an average relative efficiency of 96.0 % for irradiances between 200 W/m² and 1000 W/m² (AM 1.5, 25°C).

PARTNER SECTION



The aforesaid datasheet only provides the general information on Canadian Solar products and, due to the on-going innovation and improvement, please always contact your local Canadian Solar sales representative for the updated information on specifications, key features and certification requirements of Canadian Solar products in your region.

Please be kindly advised that PV modules should be handled and installed by qualified people who have professional skills and please carefully read the safety and installation instructions before using our PV modules.

Scan this QR-code to discover solar projects built with this module



CANADIAN SOLAR INC. May 2017. All rights reserved, PV Module Product Datasheet V5.54_EN

Apêndice 2 – Datasheet ABB TRIO-50.0-TL-OUTD 50kW

Solar inverters

ABB string inverters TRIO-50.0-TL-OUTD 50 kW



The new TRIO-50.0 inverter is ABB's three-phase string solution for cost efficient large decentralized photovoltaic systems for both commercial and utility applications.

The most powerful ABB string inverter available today, this new addition to the TRIO family has been designed with the objective to maximize the ROI in large systems with all the advantages of a decentralized configuration for both rooftop and ground-mounted installations.

Modular design

TRIO-50.0 has a landscape modular design to guarantee maximum flexibility.

The separate and configurable AC and DC compartments increase the ease of installation and maintenance with their ability to remain separately wired from the inverter module inside the system.

The TRIO comes with the most complete wiring box configurations available including 16 DC inputs with fast connectors, monitored fuses, AC and DC switches and monitored type II AC and DC surge arresters.

Flexibility of installation

The forced air cooling system, designed for a simple and fast installation, allows for the maximum flexibility of installation.

The inverter comes with mounting supports for both horizontal and vertical positions which allow for the best use of space available beneath the solar panels.

Design flexibility

The double stage conversion topology offers the advantage of a wide input voltage range for maximum flexibility of the system design.

Power and productivity
for a better world™ **ABB**

Highlights

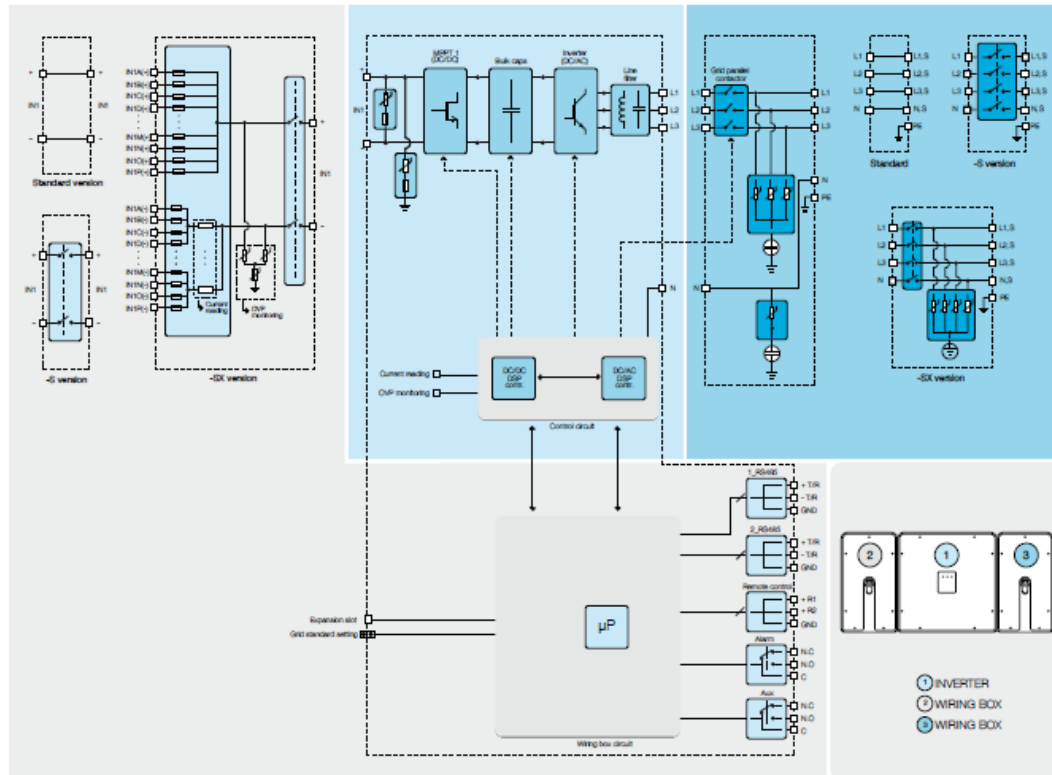
- Transformerless topology
- Each inverter is set on specific grid codes which can be selected directly in the field
- Separate AC and DC compartments are available in different configurations
- Wide input range
- Both vertical and horizontal installation



Technical data and types (preliminary)

Type code	TRIO-50.0-TL-OUTD
Input side	
Absolute maximum DC input voltage ($V_{max,abs}$)	1000 V
Start-up DC input voltage (V_{start})	300...500 V (Default 360)
Operating DC input voltage range ($V_{dc,min}...V_{dc,max}$)	0.7x V_{start} ...950 V (min 250 V)
Rated DC input voltage (V_{dc})	610 Vdc
Rated DC input power (P_{dc})	51200 W
Number of independent MPPT	1
MPPT input DC voltage range ($V_{mppt,min}...V_{mppt,max}$) at P_{dc}	480-800 Vdc
Maximum DC input current ($I_{dc,max}$) / for each MPPT ($I_{mppt,max}$)	110 A
Maximum input short circuit current	160 A
Number of DC inputs pairs	16 (-SX version)
DC connection type	Tool Free PV connector WM / MC4 (-SX version)
Input protection	
Reverse polarity protection	Yes, from limited current source
Input over voltage protection for each MPPT - varistor	Yes
Input over voltage protection for each MPPT - plug In modular surge arrester (-SX version)	Type 2
Photovoltaic array isolation control	According to local standard
DC switch rating for each MPPT (version with DC switch)	200 A / 1000 V
Uscita	
AC Grid connection type	Three-phase
Rated AC power (P_{ac} @cosφ=1)	50000 W
Maximum AC output power ($P_{ac,max}$ @cosφ=1)	50000 W
Maximum apparent power (S_{max})	50000 VA
Rated AC grid voltage (V_{ac})	400 V
AC voltage range	320...480 V ¹⁾
Maximum AC output current ($I_{ac,max}$)	90 A
Contributory fault current	92 A
Rated output frequency (f)	50 Hz / 60 Hz
Output frequency range ($f_{min}...f_{max}$)	47...53 Hz / 57...63 Hz ²⁾
Nominal power factor and adjustable range	> 0.995, 0...1 with max S_{max}
AC connection type	Screw terminal block
Output protection	
Anti-islanding protection	According to local standard
Maximum external AC overcurrent protection	100 A
Output overvoltage protection - varistor	Yes

Block diagram of TRIO-50.0-TL-OUTD



Technical data and types (preliminary)

Type code	TRIO-50.0-TL-OUTD
Operating performance	
Maximum efficiency (η_{max})	98.30%
Weighted efficiency (EURO/CEC)	98.0% / -
Communication	
Remote monitoring	VSN300 Wifi Logger Card (opt.), PVI-AEC-EVO (opt.), VSN700 Data Logger (opt.)
Wireless local monitoring	VSN300 Wifi Logger Card (opt.)
User interface	Leds
Available port	2 RS485
Environmental	
Ambient temperature range	-20...+60°C, with derating >50°C
Relative humidity	0...100 % con condensing
Maximum operating altitude without derating	2000 m / 6560 ft
Physical	
Environmental protection rating	IP 65 (IP54 for each cooling section)
Cooling	Forced air
Dimension (H x W x D)	1460 x 730 x 900 mm
Weight	120 kg overall, 70 kg electronic compartment 25 kg each wiring box (full optional)
Mounting system	Wall bracket, horizontal support
Safety	
Isolation level	Transformerless
Marking	CE
Safety and EMC standard	IEC/EN 62109-1, IEC/EN 62109-2, EN 61000-6-2, EN 61000-6-3, EN 61000-3-11, EN 61000-3-12
Grid standard (check your sales channel for availability)	CEI 0-21, CEI 0-16, DIN V VDE V 0126-1-1, VDE-AR-N 4105, G59/3, BDEW

¹⁾ The AC voltage range may vary depending on specific country grid standard

²⁾ The Frequency range may vary depending on specific country grid standard

Remark. Features not specifically listed in the present data sheet are not included in the product

Product flyer for TRIO-50.0-TL-OUTD | ABB solar inverters 3



BCCD.00611 EN Rev. A 25.03.2015

Support and service

ABB supports its customers with dedicated, global service organization in more than 60 countries and strong regional and national technical partner networks providing complete range of life cycle services.

For more information please contact your local ABB representative or visit:

www.abb.com/solarinverters
www.abb.com/solar
www.abb.com

© Copyright 2015 ABB. All rights reserved.
 Specifications subject to change without notice.



Power and productivity
 for a better world™



Apêndice 3 - Fluxo de Caixa Supermercado A

Retorno do investimento

Valor atual do kWh	R\$ 0,44
INFLAÇÃO	9,10%
Depreciação	0,89%
Entrada dos equipamentos	R\$ 1.059.907,74
Investimento (Próprio/Financiamento)	R\$ 1.059.907,74
Troca do inversor	R\$ 220.000,00

Ano	Custo da energia	Valor da energia gerada por ano	Despesas	Fluxo de Caixa	Payback Simples Acumulado
0			R\$ -	-R\$ 1.059.907,74	-R\$ 1.059.907,74
1	R\$ 0,44	R\$ 223.389,80	R\$ -	R\$ 223.389,80	-R\$ 836.517,94
2	R\$ 0,48	R\$ 241.552,59	-R\$ 32.000,00	R\$ 209.552,59	-R\$ 626.965,35
3	R\$ 0,52	R\$ 261.192,12	-R\$ 34.912,00	R\$ 226.280,12	-R\$ 400.685,23
4	R\$ 0,57	R\$ 282.428,44	-R\$ 38.088,99	R\$ 244.339,45	-R\$ 156.345,78
5	R\$ 0,62	R\$ 305.391,39	-R\$ 41.555,09	R\$ 263.836,30	R\$ 107.490,51
6	R\$ 0,68	R\$ 330.221,35	-R\$ 45.336,60	R\$ 284.884,75	R\$ 392.375,26
7	R\$ 0,74	R\$ 357.070,12	-R\$ 49.462,23	R\$ 307.607,89	R\$ 699.983,15
8	R\$ 0,81	R\$ 386.101,84	-R\$ 53.963,30	R\$ 332.138,54	R\$ 1.032.121,69
9	R\$ 0,88	R\$ 417.493,99	-R\$ 58.873,96	R\$ 358.620,04	R\$ 1.390.741,73
10	R\$ 0,96	R\$ 451.438,50	-R\$ 64.231,49	R\$ 387.207,01	R\$ 1.777.948,74
11	R\$ 1,05	R\$ 488.142,88	-R\$ 70.076,55	R\$ 418.066,32	R\$ 2.196.015,06
12	R\$ 1,15	R\$ 527.831,51	-R\$ 296.453,5	R\$ 231.378,00	R\$ 2.427.393,05
13	R\$ 1,25	R\$ 570.747,05	-R\$ 83.410,79	R\$ 487.336,26	R\$ 2.914.729,32
14	R\$ 1,37	R\$ 617.151,86	-R\$ 91.001,17	R\$ 526.150,68	R\$ 3.440.880,00
15	R\$ 1,49	R\$ 667.329,62	-R\$ 99.282,28	R\$ 568.047,34	R\$ 4.008.927,34

1	R\$	R\$	-R\$		
6	1,62	721.587,10	108.316,9	R\$	R\$
			7	613.270,14	4.622.197,48
1	R\$	R\$	-R\$		
7	1,77	780.256,01	118.173,8	R\$	R\$
			1	662.082,20	5.284.279,68
1	R\$	R\$	-R\$		
8	1,93	843.695,02	128.927,6	R\$	R\$
			3	714.767,39	5.999.047,07
1	R\$	R\$	-R\$		
9	2,11	912.291,96	140.660,0	R\$	R\$
			4	771.631,92	6.770.678,99
2	R\$	R\$	-R\$		
0	2,30	986.466,20	153.460,1	R\$	R\$
			0	833.006,09	7.603.685,08
2	R\$	R\$	-R\$		
1	2,51	1.066.671,20	167.424,9	R\$	R\$
			7	899.246,23	8.502.931,31
2	R\$	R\$	-R\$		
2	2,74	1.153.397,30	182.660,6	R\$	R\$
			5	970.736,65	9.473.667,96
2	R\$	R\$	-R\$		
3	2,99	1.247.174,70	199.282,7	R\$	R\$
			7	1.047.891,93	10.521.559,90
2	R\$	R\$	-R\$		
4	3,26	1.348.576,71	217.417,5	R\$	R\$
			0	1.131.159,21	11.652.719,11
2	R\$	R\$	-R\$		
5	3,56	1.458.223,24	237.202,4	R\$	R\$
			9	1.221.020,75	12.873.739,86
		R\$	-R\$		
		16.645.822,49	2.712.174	R\$	
			,90	12.873.739,86	
SOMA					
Payback Simples			4 anos	7 meses	

Apêndice 4 - Fluxo de Caixa Supermercado B

Retorno do investimento

Valor atual do kWh	R\$ 0,44
INFLAÇÃO	9,10%
Depreciação	0,89%
Entrada dos equipamentos	R\$ 847.926,20
Investimento (Próprio/Financiamento)	R\$ 847.926,20
Troca do inversor	R\$ 175.390,00

Ano	Custo da energia	Valor da energia gerada por ano	Despesas	Fluxo de Caixa	Payback Simples Acumulado
0			R\$ -	-R\$ 847.926,20	-R\$ 847.926,20
1	R\$ 0,44	R\$ 178.709,75	R\$ -	R\$ 178.709,75	-R\$ 669.216,45
2	R\$ 0,48	R\$ 193.239,81	-R\$ 25.500,00	R\$ 167.739,81	-R\$ 501.476,64
3	R\$ 0,52	R\$ 208.951,25	-R\$ 27.820,50	R\$ 181.130,75	-R\$ 320.345,90
4	R\$ 0,57	R\$ 225.940,10	-R\$ 30.352,17	R\$ 195.587,94	-R\$ 124.757,96
5	R\$ 0,62	R\$ 244.310,25	-R\$ 33.114,21	R\$ 211.196,04	R\$ 86.438,08
6	R\$ 0,68	R\$ 264.173,99	-R\$ 36.127,61	R\$ 228.046,38	R\$ 314.484,46
7	R\$ 0,74	R\$ 285.652,75	-R\$ 39.415,22	R\$ 246.237,53	R\$ 560.721,99
8	R\$ 0,81	R\$ 308.877,85	-R\$ 43.002,00	R\$ 265.875,85	R\$ 826.597,84
9	R\$ 0,88	R\$ 333.991,28	-R\$ 46.915,19	R\$ 287.076,10	R\$ 1.113.673,94
10	R\$ 0,96	R\$ 361.146,57	-R\$ 51.184,47	R\$ 309.962,10	R\$ 1.423.636,04
11	R\$ 1,05	R\$ 390.509,73	-R\$ 55.842,25	R\$ 334.667,47	R\$ 1.758.303,52
12	R\$ 1,15	R\$ 422.260,27	-R\$ 236.313,9	R\$ 185.946,37	R\$ 1.944.249,88
13	R\$ 1,25	R\$ 456.592,29	0	R\$ 390.124,32	R\$ 2.334.374,20
14	R\$ 1,37	R\$ 493.715,70	-R\$ 66.467,97	R\$ 421.199,14	R\$ 2.755.573,35

1	R\$	R\$	-R\$	R\$	R\$
5	1,49	533.857,44	79.115,57	454.741,88	3.210.315,22
1	R\$	R\$	-R\$	R\$	R\$
6	1,62	577.262,92	86.315,08	490.947,84	3.701.263,06
1	R\$	R\$	-R\$	R\$	R\$
7	1,77	624.197,50	94.169,75	530.027,74	4.231.290,81
			-R\$		
1	R\$	R\$	102.739,2	R\$	R\$
8	1,93	674.948,11	0	572.208,91	4.803.499,71
			-R\$		
1	R\$	R\$	112.088,4	R\$	R\$
9	2,11	729.825,02	7	617.736,55	5.421.236,26
			-R\$		
2	R\$	R\$	122.288,5	R\$	R\$
0	2,30	789.163,71	2	666.875,19	6.088.111,45
			-R\$		
2	R\$	R\$	133.416,7	R\$	R\$
1	2,51	853.326,96	8	719.910,19	6.808.021,64
			-R\$		
2	R\$	R\$	145.557,7	R\$	R\$
2	2,74	922.707,03	0	777.149,33	7.585.170,97
			-R\$		
2	R\$	R\$	158.803,4	R\$	R\$
3	2,99	997.728,07	5	838.924,62	8.424.095,59
			-R\$		
2	R\$	R\$	173.254,5	R\$	R\$
4	3,26	1.078.848,73	7	905.594,16	9.329.689,75
			-R\$		
2	R\$	R\$	189.020,7	R\$	R\$
5	3,56	1.166.564,93	3	977.544,19	10.307.233,95
			-R\$		
		R\$	2.161.341	R\$	
		13.316.502,02	,87	10.307.233,95	
SOMA					
Payback Simples			4 anos	7 meses	

Coordenada Geográfica

Latitude

15.7942

Sul

▼

Longitude

47.8822

Oeste

Notre:

☒ graus decimais (00.00°)

☐ graus, minutos e segundos (00°00'00")

Buscar

Limpar

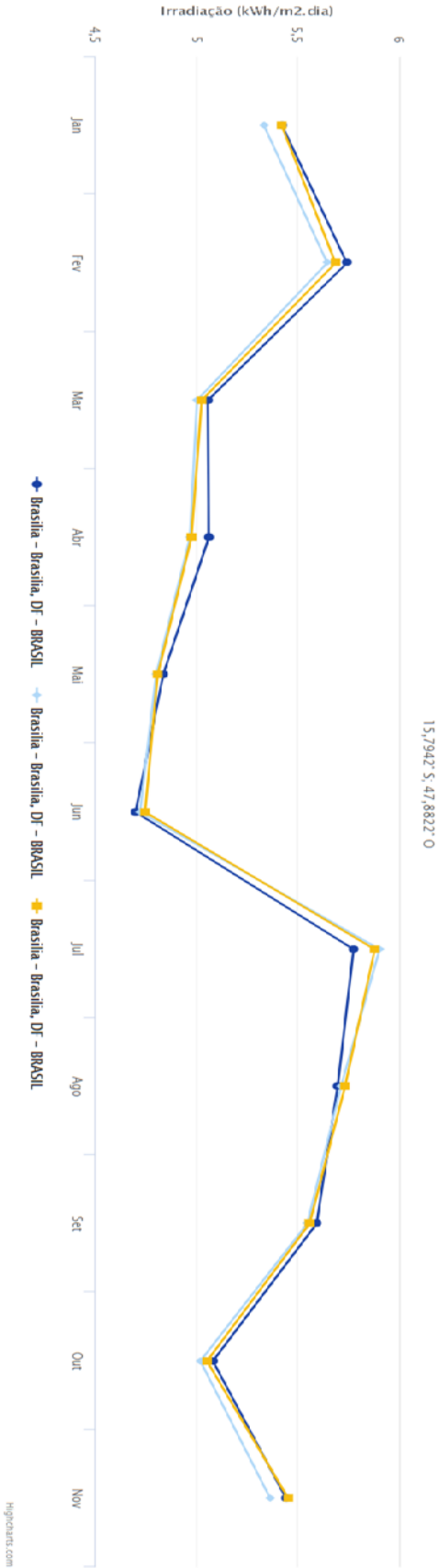
! Os valores dados de latitude devem estar na taxa de 12° Norte e 40° Sul e de longitude na taxa de 30° Oeste e 80° Oeste.
Em caso de dúvida entre em contato conosco

Localidades próximas

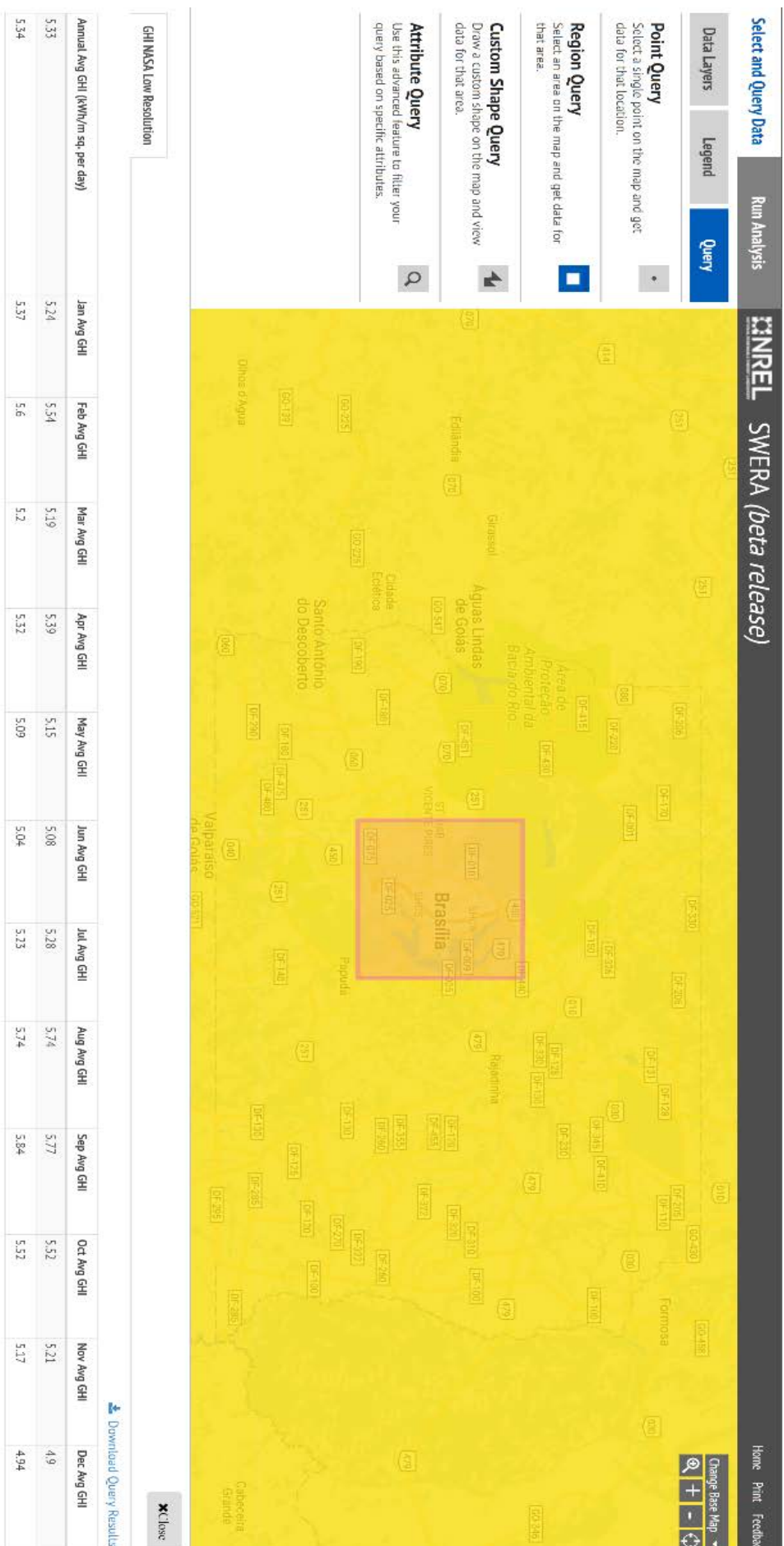
Latitude: 15.7942° S
Longitude: 47.8822° O

#	Estação	Município	UF	País	Irradiação solar diária média [kWh/m².dia]		Distância [km]												Delta		
					Latitude (°)	Longitude (°)	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta	
1	Brasília	Brasília	DF	BRASIL	15.801° S	47.849° O	3,6	5,42	5,74	5,05	5,06	4,83	4,70	4,05	6,77	5,70	5,59	5,08	5,44	6,28	1,08
2	Brasília	Brasília	DF	BRASIL	15.801° S	47.949° O	7,2	5,33	5,64	5,00	4,97	4,80	4,72	5,02	5,90	5,71	5,55	5,02	5,36	5,25	1,18
3	Brasília	Brasília	DF	BRASIL	15.101° S	47.849° O	11,0	5,42	5,59	5,02	4,97	4,81	4,74	5,04	5,88	5,73	5,56	5,05	5,45	6,28	1,14

Irradiação Solar no Plano Horizontal para Localidades próximas



Apêndice 6 – Resultado Sistema NREL - SWERA



Apêndice 7 – Luminária T8 – FS-840



| FS-840 |

LUMINÁRIAS
T8 A T12 SOBREPOR



Código	Lâmpada	Dimensões (mm)			Tipo da	Soquete	Fig.
	(W)	A	L	C	Cabeceira	Modelo	
05703	1x20	50	116	635	plástica	B	95
05705	2x20	50	156	635	plástica	B	96
05704	1x40	50	116	1245	plástica	B	95
05706	2x40	50	156	1245	plástica	B	96
05423	3x20	50	251	635	metálica	B	97
05426	4x20	50	251	635	metálica	B	98
05306	3x40	50	251	1245	metálica	B	97
05392	4x40	50	251	1245	metálica	B	98
05040	1x110	77	168	2485	metálica	C	99
05041	2x110	77	213	2485	metálica	C	100

Lâmpada Fluorescente Tubular. Corpo em chapa de aço tratada e pintada. Soquete não acompanha a luminária. Instalação de sobrepor.

