



ESTUDO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA CONSIDERANDO MINIGERAÇÃO FOTOVOLTAICA

TIAGO GOLA PEDRO
dezembro de 2017

UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE
ESCOLA DE ENGENHARIA
ENGENHARIA ELÉTRICA

TIAGO GOLA PEDRO

ESTUDO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA CONSIDERANDO MINIGERAÇÃO
FOTOVOLTAICA

São Paulo
2017

TIAGO GOLA PEDRO

ESTUDO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA CONSIDERANDO MINIGERAÇÃO
FOTOVOLTAICA

Trabalho de Graduação Interdisciplinar apresentado ao curso de Engenharia Elétrica da Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie e ao Instituto Superior de Engenharia do Porto, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro e Mestrado pelo processo de Dupla-Titulação.

ORIENTADOR: PROF. EDISON MASSAO MOTOKI
ORIENTADOR: PROF. SERGIO RAMOS

São Paulo
2017

AGRADECIMENTOS

Após um ano de muito trabalho duro e perseverança, posso dizer com todas as letras que a melhor sensação do mundo é ver o seu trabalho de conclusão de curso pronto. Não foi fácil seguir com um projeto que teve tantas mudanças e que no final se tornou um trabalho muito bem estruturado academicamente e com vários dados técnicos interessantes sobre minigeração solar e eficiência energética.

Parando para pensar na quantidade de pessoas que me ajudaram a manter a calma, paciência e principalmente nunca desistir, a primeira que vem a minha cabeça é a minha namorada Giovanna Catarin Afonso, que de todas as pessoas, esteve ao meu lado desde o começo do trabalho, ajudando a refletir, estruturar; e mesmo sem saber nada sobre engenharia elétrica, foi capaz de ler repetidas vezes diversos parágrafos para chegarmos a um denominador comum. Agradeço de coração toda essa ajuda, pois sem você esse projeto não estaria pronto.

Gostaria de agradecer também aos pais da Giovanna, o Sr. Anibal José Afonso Neto e Sra. Marilda Fazolo Catarin Afonso, pois sempre que precisei de um conselho ou mesmo uma palavra de conforto, ambos estavam presentes para ajudar.

Não posso esquecer da minha família, Miguel Angelo Silva Pedro, Deborah Aparecida Gola Pedro e Julio Gola Pedro, pois esse trabalho só pôde ser concluído com a ajuda deles. Muito obrigado pela paciência e por toda a ajuda desde o começo da Universidade.

E por último e não menos importante, gostaria de agradecer aos meus orientadores, o Prof. Edison Massao Motoki e ao Prof. Sergio Ramos que conseguiram me passar todas as ferramentas necessárias para a construção deste projeto do começo ao fim. Assim como todos os integrantes que participaram do projeto na empresa AES Eletropaulo e a AES Tietê, na qual eu tive a honra de ser estagiário por todo esse ano e que me trouxeram a possibilidade de trabalhar juntamente com a Universidade Mackenzie em um projeto de grande porte em minigeração solar. Obrigado.

RESUMO

Esta pesquisa acadêmica tem como fundamento estudar maneiras que melhorem a eficiência energética dos locais abordados, utilizando conceitos de luminotécnica, além de utilizar minigeração fotovoltaica para auxiliar na demanda de energia elétrica das unidades consumidoras. O estudo de caso será necessário para ajudar e definir estratégias para o estudo acadêmico e a partir dos resultados e dados coletados foi identificado qual a melhor solução técnica dependendo local abordado. O trabalho aborda, além das novas tecnologias de iluminação presentes no mercado, a utilização de softwares para o estudo técnico e matemático do estudo de geração distribuída. Foi elaborado um conceito de minigeração a partir de células fotovoltaicas para suprir parte da energia necessária para atender ambas as Universidades. O projeto de minigeração foi feito usando tecnologias e modelos presentes no mercado para que seja possível trazer ao trabalho de conclusão de curso o mais próximo à realidade. O estudo prático do projeto foi baseado em um local próximo ao Instituto Superior de Engenharia do Porto – ISEP em comparação com a região do estacionamento da Universidade Presbiteriana Mackenzie, assim, estabeleceu-se um modelo comparativo afim de verificar as diferenças técnicas e as legislações entre os países.

Palavras chave: Iluminação, Led, Eficiência Energética, Energia Solar, Minigeração fotovoltaica.

ABSTRACT

This academic research is based on studying ways to improve the energy efficiency of the covered areas using concepts of lighting technology, and the use of photovoltaic minigeration to assist in the demand of electric energy of consumer units. The case study will be needed to help and define strategies for academic study and from the results and data collected it will be identified which is the best technical solution, depending on the local area addressed. The work approaches, beyond new lighting technologies present in the market, the use of software for the technical and mathematical study of the study of distributed generation. A mini-generation concept was developed from photovoltaic cells to supply part of the energy needed to attend both universities. The minigeration project was done using technologies and models present in the market so that it is possible to bring to the conclusion work of the course as close to reality. The practical study of the project will be based on a local near the Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP) in comparison with the parking area of the Universidade Presbiteriana Mackenzie, so we will establish a comparative model and verify the technical and legislation differences among the countries .

Keywords: Lighting, Led, Energy Efficiency, Solar energy, Photovoltaic minigeration.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Universidade e Colégio Presbiteriano Mackenzie – Campus Barueri – Alphaville.	30
Figura 2 – Estacionamento Mackenzie.....	31
Figura 3 – Estacionamento Mackenzie.....	32
Figura 4 – Estacionamento Mackenzie.....	32
Figura 5 – Estacionamento Mackenzie 360°	33
Figura 6 – Imagem de referência solar.	34
Figura 7 – Inclinação do Sol no ano	35
Figura 8 – Trajetória Solar	35
Figura 9 – Estudo sombreamento Verão	36
Figura 10 – Estudo sombreamento amanhecer.....	36
Figura 11 – Estudo sombreamento anoitecer	37
Figura 12 – Estudo sombreamento Inverno.....	37
Figura 13 – Estudo sombreamento Outono	38
Figura 14 – Software PvPlanner – Variação de inclinação do módulo solar.....	39
Figura 15 – Carport estacionamento parque Vila Lobos.....	43
Figura 16 – Estrutura Carport para 15 módulos	43
Figura 17 – Modelagem quantidade de módulos por <i>string</i>	46
Figura 18 – Ligação módulos – <i>string box</i>	47
Figura 19 – Configuração do local e base de dados	50
Figura 20 – Orientação do módulos solar.....	51
Figura 21 – Configuração do sistema.....	51
Figura 22 – Diagrama básico do sistema.....	52
Figura 23 – Tela perdas do sistema	53
Figura 24 – Perdas por longevidade	54
Figura 25 – Simulação final PvSyst	54
Figura 26 – Tela resultados finais.....	55
Figura 27 – Tela para extração de tabelas e gráficos.....	56
Figura 28 – Instituto Superior de Engenharia do Porto - ISEP	57
Figura 29 – Posição <i>carport</i> ISEP	58
Figura 30 – Projeto carport ISEP.....	61
Figura 31 – Orientação do módulo solar	62
Figura 32 – Simulação final PvSyst	63
Figura 33 – Geração anual de energia Mackenzie.....	65

Figura 34 – Geração anual de energia ISEP	65
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Análise faturas de Energia Elétrica Mackenzie.....	26
Tabela 2 – Quantidade total de pontos de iluminação.....	27
Tabela 3 –Manutenção: Mão de obra e Reposição de Produtos.....	28
Tabela 4 –Economia Energia Iluminação.....	29
Tabela 5 – Sensibilidade à inclinação.....	40
Tabela 6 – Sensibilidade à orientação	41
Tabela 7 – Lista equipamentos Tier 1	44
Tabela 8 – Dados técnicos módulo solar	45
Tabela 9 – Dados técnicos inversor	45
Tabela 10 – <i>Wiring Zone 2</i>	47
Tabela 11 – <i>Wiring Zone 1</i>	48
Tabela 12 – Base de dados irradiação solar.....	49
Tabela 13 – Sensibilidade à inclinação	59
Tabela 14 – Sensibilidade à orientação	60
Tabela 15 – Base de dados Irradiação Solar.....	62
Tabela 16 – Cálculo de Payback.....	67

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Sensibilidade à inclinação	41
Gráfico 2 – Sensibilidade à orientação	42
Gráfico 3 – Sensibilidade à inclinação	59
Gráfico 4 – Sensibilidade à orientação	61
Gráfico 5 – Cálculo de Payback	67

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AC	<i>Alternate Current</i>
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CEPA	Centro de Ensino e Pesquisa Aplicada
CESP	Secretaria de Energia e Mineração do estado de São Paulo
CO ₂	Dióxido de Carbono
COFINS	Contribuição para o Financiamento da Seguridade
DC	<i>Direct Current</i>
EDP	Energias de Portugal
EEG	Lei de Energias Renováveis Alemanha
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FITS	<i>Flexible Image Transport System</i>
GD	<i>Distributed Generation</i>
GHI	<i>Global Horizontal Irradiation</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMS	Imposto de Circulação de Mercadorias e Serviços Assim como para o Programa
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
LED	Diodo Emissor de Luz
MME	Ministério de Minas e Energia
PIS	Programa de Integração Social
SDSS	<i>Sloan Digital Sky Survey</i>
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
UPAC	Unidade de Produção em Autocomsumo
UPM	Universidade Presbiteriana Mackenzie
UPP	Unidade de Pequena Produção
Yield	Energia Específica

SUMARIO

1	INTRODUÇÃO	6
1.1	OBJETIVOS	8
1.1.1	Objetivo geral	8
1.1.2	Objetivos específicos	8
1.2	JUSTIFICATIVA.....	9
1.3	METODOLOGIA	10
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	11
2	REVISÃO DA LITERATURA – O ESTADO DA ARTE	12
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
3.1	A INFLUÊNCIA DO RETROFIT EM CIRCUITOS DE ILUMINAÇÃO E O ESQUEMA DE DIMERIZAÇÃO	16
3.2	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E RENTABILIDADE DE UM SISTEMA ELÉTRICO DE ILUMINAÇÃO COM RETROFIT E DIMERIZAÇÃO.....	18
3.3	PRODUÇÃO DE ENERGIA UTILIZANDO MICRO E MINIGERAÇÃO FOTOVOLTAICA - GERAÇÃO DISTRIBUÍDA.....	20
3.4	PRINCIPAIS APLICAÇÕES DE GERAÇÃO DISTRIBUIDA E MODELOS DE NEGÓCIO.....	22
4	ESTUDO DE CASO	25
4.1	ESTUDO DE DEMANDA ENERGIA MACKENZIE	25
4.2	ESTUDO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA MACKENZIE.....	27
4.3	ESTUDO PRELIMINAR GERAÇÃO DISTRIBUIDA MACKENZIE	30
4.4	ESTUDO PRELIMINAR GERAÇÃO DISTRIBUIDA ISEP	57
4.5	ANÁLISE DE RESULTADOS	64
5	CONCLUSÃO	68
6	TRABALHOS FUTUROS	69
	ANEXOS	70
	BIBLIOGRAFIA	71

1 INTRODUÇÃO

Desde que o homem começou a usar a iluminação artificial para suprir a falta de energia natural, devido ao ciclo de horas do dia e da noite, foi possível dar continuidade às atividades nos momentos com pouca ou nenhuma iluminação. A iluminação artificial começou a ser usada desde que o homem passou a obter o domínio do fogo e assim foi possível utilizar a radiação de luz emitida.

Utilizando ferramentas como tochas, perceberam que poderiam transportar esse tipo de iluminação e, posteriormente, notaram que quanto mais alto a tocha ficava do solo, maior era a área iluminada. O império Romano ficou conhecido pelas suas grandes obras de engenharia e pela evolução da tecnologia de iluminação usando tais tipos de utensílios em alturas que pudessem iluminar áreas diversas. Assim foi a evolução até que no Egito e na Grécia foram inventadas as velas de bastão, desenvolvidas a partir de gordura animal e, mais tarde, utilizando cera de abelhas e outros ingredientes. Continuaram desse modo até a Idade Média, quando surgiram os primeiros tipos de castiçais e lanternas, alternando os tipos de combustíveis para manter acesa chama.

A partir do século XVIII, foi inventado o lampião, uma espécie de lanterna em vidro cilíndrico sobre um queimador a combustível, que poderia ser querosene ou outro combustível mais antigo. Em algumas regiões do mundo atual ainda é muito utilizado em áreas que não possuem acesso à energia elétrica. O combustível começou a ser o principal fator de desenvolvimento da tecnologia de iluminação, passando a ser primeiramente óleos, e depois o gás, no qual possibilitou um controle maior dos candelabros em residências, indústrias e comércios. A partir da descoberta da luz artificial, o ser humano percebeu a importância da mesma no dia a dia, tanto para o conforto em suas horas de lazer, quanto nas horas de trabalho. Finalmente no século XIX o criador da lâmpada elétrica, Thomas Edison, em 1879, criou a primeira lâmpada viável comercialmente do mundo. Esse tipo de lâmpada ficou conhecida pela sua alta perda por calor devido ao filamento resistivo do seu interior.

Na Europa, foi proibida a sua comercialização em 2008 e no Brasil foi proibida a venda em 2016 de acordo com o INMETRO. Após a criação da lâmpada incandescente, vieram novos modelos como halógenas, fluorescentes, a vapor, também conhecidas como lâmpadas de descarga e finalmente as lâmpadas LED. Esse novo tipo de lâmpada entrou no mercado nos meados de 1999, com o princípio de diminuir a potência e aumentar o ganho da eficiência energética. Nesse sentido, as lâmpadas de tecnologia Diodo Emissor de Luz (LED) são importantes para o trabalho deste TCC, pois será mostrado que é possível realizar o *retrofit*

de lâmpadas considerada obsoletas por novos modelos mais eficientes, ou seja, que consomem menos energia para produzir a mesma qualidade e quantidade de luz. E assim, melhorar a eficiência energética, diminuir o consumo com o melhor uso racional de energia elétrica.

Dessa maneira, foi possível perceber que a evolução tecnológica vem tentando diminuir o consumo de energia em todos os setores, desde a iluminação, conforme foi citado anteriormente ou até em outras áreas, como máquinas elétricas, carros elétricos, eletrodomésticos, eletroeletrônicos, baterias, entre outros.

Com essa evolução também foi necessário prever o crescimento da demanda de energia elétrica, e notou-se que nos últimos anos houve um crescimento muito grande nesse setor. Por exemplo, somente a China, nos últimos 35 anos, aumentou sua capacidade energética em aproximadamente 350%, isso justifica também o seu alto crescimento econômico, com um PIB médio de 10%. Por isto houve a necessidade de se pensar em novas soluções em geração de energia elétrica. A Alemanha, por sua vez, apostou no novo esquema de geração distribuída, que descentralizou os grandes modelos de geração de energia elétrica, como usinas hidrelétricas, termoeletricas e nucleares, para sistemas menores como microgeração e minigeração fotovoltaica. Com esse modelo operando desde os anos 2000, a Alemanha vem apostando no setor de Energias Renováveis e implementou o sistema e Lei de mudança energética para o sistema de energias renováveis (EEG, sigla em alemão) que vem crescendo até os dias de hoje. O país providenciou subsídios e investidores em energia solar e eólica, e assim fez com que seus projetos multiplicassem dia após dia, e a população se sentiu confortável para instalar em suas residências o sistema de microgeração solar.

No dia 25 de julho de 2015, a Alemanha atingiu um marco histórico para todos os alemães e o mundo. O país concretizou 78% da demanda energética sendo atendida por meio de fontes renováveis, mostrando ao planeta que é possível alterar o sistema de geração elétrica para geração distribuída e investir em energia renováveis, com geração de cerca de 48 gigawatts de energia elétrica a partir de fontes que renováveis, o que é equivalente a 50 usinas termoeletricas a carvão [Governo do Estado de São Paulo - Secretaria de Energia e Mineração].

Visto todos esses dados históricos, a pergunta problema que rege este trabalho é: seria possível realizar a instalação de um projeto de minigeração fotovoltaico em conjunto com o *retrofit* e atender as necessidades de consumo de energia elétrica em diferentes continentes?

Assim, esta pesquisa traz uma contribuição técnica importante para o sistema de geração distribuída, fortalecendo o incentivo a esse modelo de negócio além de mostrar números satisfatórios para o investimento desse modelo no Brasil.

O principal fundamento desta pesquisa é comparar tecnicamente a instalação de minigeração fotovoltaica em Universidades de médio e grande porte. Usaremos como sítio de estudo a Universidade Presbiteriana Mackenzie localizado em São Paulo (Brasil) e o Instituto Superior de Engenharia do Porto, localizado em Porto (Portugal), justamente para comparar as diferenças de aplicação técnica e prática nos diferentes continentes.

Desse modo, estaríamos contribuindo ainda mais com o sistema de geração distribuída e fortalecendo o incentivo a esse modelo de negócio, trazendo mais números satisfatórios para o investimento desse modelo no Brasil. Já em Portugal, é sabido que esse modelo não é aplicado da mesma forma, uma vez que a geração distribuída não é utilizada na mesma magnitude.

Contudo, pela grande extensão do Brasil, existe uma grande discrepância de eficiência do Norte ao Sul do território, pelas questões de longitude, latitude e a própria temperatura. Mesmo assim, possui um grande potencial de mercado para a geração distribuída, devido ao sistema de micro e minigeração distribuída serem conectados às redes de distribuição e o sistema elétrico de potência ser totalmente interligado no Brasil, faltando, entretanto, políticas públicas de maior incentivo fiscal, com o intuito de promover maior expectativa de retorno sobre o investimento, bem como o de desenvolvimento tecnológico nesta área.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo principal o estudo luminotécnico no contexto da eficiência energética utilizando minigeração fotovoltaica.

1.1.2 Objetivos específicos

Para alcançar o objetivo geral, foi necessário reunir conceitos de engenharia em geração distribuída sobre o estudo a ser realizado além de parâmetros de eficiência energética, legislações e regulamentos dos países envolvidos, portanto, tornar viável o estudo que deve ser concatenado entre a minigeração e *retrofit* do sistema de iluminação primordiais para o desenvolvimento do trabalho, desta forma, os objetivos específicos se dispõem das seguintes maneiras:

- A. Determinar ambientes específicos dentro das duas instituições a serem estudadas, assim como levantar as necessidades de iluminação para cada um destes.
- B. Traçar uma linha de análise comparativa que seja viável tecnicamente.
- C. Projetar e averiguar a possibilidade da instalação de minigeração com o uso de módulos fotovoltaicos e, assim, captar a energia solar e transformá-la em energia elétrica que possa suprir parte da demanda energética das Universidades.
- D. Verificar a porcentagem da demanda de energia elétrica dos locais estudados proveniente da iluminação, uma vez que poderá ser feito o *retrofit* desses ambientes para novos modelos que tragam a eficiência, além da possibilidade de suprir essa demanda de energia usando geração fotovoltaica de forma sustentável.

1.2 JUSTIFICATIVA

A importância da utilização de iluminação artificial tornou-se indispensável, trazendo conforto ambiental à sociedade, porém é de suma importância que novas tecnologias no setor de iluminação e geração de energia sejam consideradas de forma eficiente e inteligente pelos engenheiros, arquitetos e pesquisadores em geral.

Neste estudo é verificado o período de uso de energia das duas entidades analisadas. A Universidade Presbiteriana Mackenzie e o Instituto Superior de Engenharia do Porto apresentam um alto consumo de energia elétrica proveniente da iluminação devido ao seu período de utilização. Portanto, é estabelecida a importância em monitorar os gastos em tempo real dentro das instituições de ensino, pois as mesmas possuem uma dependência de energia elétrica de segunda a sábado, das 05:00hrs até às 00:00hrs. Além de que alguns domingos do mês os dois locais também estão abertos para eventos, esporádicos serviços de manutenção, limpeza e reformas.

O conceito de utilizar lâmpadas LED em ambientes internos vem sendo muito aplicado em áreas residenciais comerciais, industriais e até áreas públicas. Portanto, trazer essa tecnologia atrelada a uma minigeração em locais que possuem boa eficiência energética são condições de engenharia plausíveis de serem consideradas em um projeto.

Este trabalho, enfim, justifica-se por determinar, com o uso racional de energia elétrica, estudos práticos e modelos matemáticos, a eficiência de um sistema de iluminação, respeitando todos os critérios mínimos de utilização de acordo com as regras exigidas pela ABNT/ISSO 8995 - ILUMINAÇÃO EM AMBIENTES DE TRABALHO - e a norma NBR5413 – ILUMINÂNCIA DE INTERIORES - no Brasil e as normas EN12464-1: 2002 -

Lighting of work places - e CEN/TR 13201: 2004 - *Road lighting, selection of lighting classes* - de Portugal.

O trabalho faz parte do convênio de dupla titulação em Engenharia Elétrica da Universidade Presbiteriana Mackenzie e o Instituto Superior de Engenharia do Porto.

1.3 METODOLOGIA

O trabalho estuda o ambiente das universidades de Portugal, o ISEP (Instituto Superior de Engenharia do Porto) e do Brasil, a Universidade Presbiteriana Mackenzie. Consideram-se as semelhanças e diferenças do mercado brasileiro e português, desde a contratação da tarifa energética até as diferenças técnicas para a elaboração do projeto fotovoltaico. Podemos afirmar que ao menos 20horas/dia temos algum consumo de energia elétrica nas Universidades, em seu pico de utilização entre as 18hrs e 23hrs do dia, devido à falta de iluminação natural.

Levando em consideração esses fatos, o estudo de caso, matematicamente, mostrou a quantidade de horas aproximada que uma Universidade gasta em energia elétrica proveniente do consumo em iluminação e a porcentagem dessa energia será estudada de forma a garantir e maximizar sua eficiência energética, suprimindo parcial ou totalmente a demanda de energia elétrica das Universidade.

Em seguida traça-se uma linha comparativa entre o estudo técnico de todo o sistema de iluminação utilizando o conceito de eficiência energética. Também é dimensionado o estudo para a instalação de um sistema de minigeração solar, utilizando os dados obtidos e considerando o melhor custo x benefício, valendo-se a norma para geração distribuída em minigeração do Brasil, ANEEL-482/2012, e o Decreto-Lei n.º 25/2013, de Portugal.

Considera-se o período de uso de energia das duas entidades analisadas. A Universidade Presbiteriana Mackenzie e o Instituto Superior de Engenharia do Porto, as duas Universidades apresentam um alto consumo de energia elétrica proveniente da iluminação devido ao seu período de utilização. É preciso monitorar os gastos em tempo real dentro das instituições de ensino, pois as mesmas possuem uma dependência de energia elétrica de segunda a sábado, das 05:00horas às 00:00horas. Além de que alguns domingos do mês os dois locais também estão abertos para eventos, esporádicos serviços de manutenção, limpeza e reformas. Considera-se que ao menos 20horas/dia temos algum consumo de energia elétrica nas Universidades, em seu pico de utilização entre as 18hrs e 23hrs do dia, devido à falta de iluminação natural

Primeiro passo é analisar a tarifa de energia de ambas as Universidades, no ISEP, utilizando fator tarifário da companhia de energia elétrica do país, a EDP (Energias de Portugal), visando todos os horários de tarifas e demandas, assim como no Brasil, por parte da companhia de energia elétrica AES Eletropaulo.

Depois de realizado o cálculo tarifário, o estudo de eficiência energética das Universidades pode ser realizado, apresentando um sistema de iluminação mais eficiente, utilizando tecnologias de lâmpadas de LED, para assim diminuir a demanda de energia elétrica proveniente da iluminação interna e externa nos locais. Além disso, foi elaborado um projeto para a instalação de uma usina solar em ambos os locais com a potência total de aproximadamente 500kWp para que possa suprir uma parte da demanda de energia utilizando minigeração solar.

Programas como Dialux, HelioScope, PvSyst, PvPlanner e outros foram usados para a ajuda com os cálculos.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em sete capítulos.

O capítulo 1 se refere à Introdução, que é composta pelos seguintes itens: texto de contextualização e caracterização do tema; Objetivos; Justificativas; Metodologia e a Estrutura do trabalho.

O capítulo 2 refere-se ao Estado da Arte – bem como a pesquisa com as tecnologias presentes no mercado para o desenvolvimento do projeto.

O capítulo 3, fundamentação teórica, apresenta estudos com o conteúdo necessário para entendimento sobre luminotécnica e minigeração fotovoltaica.

O capítulo 4, o estudo de caso com a simulação computacional para solução de alternativas para o sistema de iluminação e minigeração fotovoltaica, além dos cálculos necessários.

O capítulo 5, considerações finais e conclusões.

Ao final do projeto têm-se os anexos do trabalho e as referências.

2 REVISÃO DA LITERATURA – O ESTADO DA ARTE

Nessa fase de pesquisa acadêmica buscam-se referências de pesquisadores que tratam do tema proposto neste trabalho.

O primeiro tema a ser discutido é sobre eficiência energética nos sistemas de iluminação. Todo o tipo de iluminação artificial é uma carga elétrica, ou seja, é necessário gasto com energia para ter como resultado a iluminação. Como a iluminação representa um dos maiores custos de energia em nossa pesquisa acadêmica, em sítios como as Universidades, é necessário realizar uma análise técnica da situação atual do empreendimento e se existe a possibilidade de *retrofit* para melhorar a eficiência energética do sistema de iluminação. Dessa forma, podemos evitar custos desnecessários provocados por equipamentos obsoletos ou que estão com um custo de manutenção muito elevado, devido a vida útil.

Rúben Guedes e Silva, (2013) mostram em sua dissertação de mestrado que a iluminação representa um dos maiores custos de energia. Os dados citados elucidam que cerca de 25% do consumo global de energia de Portugal é proveniente da iluminação.

De fato, que no Brasil a informação sobre o consumo global derivado da iluminação é um dado mais difícil de ser obtido, visto que a ANEEL, EPE e outros órgãos responsáveis por essas medições apenas apontam o consumo da energia em grupos distintos como em residências, áreas industriais e comerciais, iluminação pública e outros. Contudo o Centro de Ensino e Pesquisa Aplicada (CEPA) em 1999, realizou um estudo que mostra que a iluminação, em todos os seguimentos comentados, atinge em cerca de 16% do consumo de energia elétrica do país. Hoje, especulasse que esse número deve ser maior, devido ao aumento de consumo de energia elétrica e ainda, a falta de *retrofit* utilizando o conceito de eficiência energética.

Como explica em sua pesquisa, Fabio Tempel (2016), procura alternativas eficientes de sistemas de iluminação tecnologicamente avançados, visando a redução do consumo de energia e a redução dos desperdícios e ainda a melhoria da qualidade de luz e do sistema. Com um sistema de iluminação automatizado, o ambiente que tiver esse sistema automático irá sempre manter a melhor qualidade de luz e os níveis de iluminância adequados para os afazeres no local, como em salas de aula com o fator mínimo de iluminância de 300lux.

Durante a 12ª Conferência sobre Desenvolvimento Sustentável dos Sistemas de Energia, Água e Meio Ambiente foi realizado o 2º Workshop Internacional sobre Avanços na Produção de Energia Limpa em 2014, na qual discutiu-se o conceito de eficiência energética. Segundo seus autores J. M. A. Godoi e S. Oliveira Júnior, a eficiência energética inclui diversos

aspectos positivos como flexibilizar e variar as fontes energéticas, que vão permitir ganhos contínuos de eficiência ao longo do tempo, utilizando *retrofit*, energias renováveis, para atingir a máxima eficiência de um sistema elétrico, utilizando novos sistemas de controle e gestão de cargas. É preciso realizar a troca de sistemas e equipamentos obsoletos ou ineficientes que possuem uma vida útil inferior para evitar problemas como a compra desses equipamentos, visto que muitos não são mais fabricados ou vendidos.

O próximo tema leva em consideração a importância do uso de geração distribuída em conjunto com sistemas que já utilizam eficiência energética ou que possam ser estudados e trabalhados em conjunto.

Em sua dissertação de mestrado, Thais Mazziotti (2010) realizou um estudo de eficiência energética em plantas industriais. Ela avaliou alternativas para o sistema de iluminação com o objetivo de trocar todo o sistema por lâmpadas com mais eficiência, considerando os aspectos técnicos e econômicos. Esse é principal objetivo de um projeto de eficiência energética: realizar um levantamento da situação atual da estrutura de iluminação do ambiente estudado e verificar a possibilidade de realizar alterações técnicas, adequando-as com novas tecnologias, para que possam trazer benefícios, tanto para quem está utilizando o sistema de iluminação, quanto para quem está investindo nesse sistema.

Como o tema geração distribuída ainda está em desenvolvimento, cada país tem seu método de incentivo, normas e maneiras diversas de aplicação. De acordo com o caderno temático de Micro e Minigeração distribuída da ANEEL em 2014, os conceitos de Geração Distribuída são caracterizados por: “Instalação de geradores de pequeno porte, normalmente a partir de fontes renováveis ou mesmo utilizando combustíveis fósseis, localizados próximos aos centros de consumo de energia elétrica”.

Portando, ao utilizar geradores menores, como o fotovoltaico, pode-se chegar à conclusão de que, mesmo tendo um rendimento total menor do que os outros tipos de geração de energia elétrica, esse sistema é um dos mais limpos e que causam menos impactos ao meio ambiente. Isso é ressaltado na dissertação de mestrado de Rui Francisco Gomes Duarte Mangas (2009), no qual elucida-se que esse tipo de geração vem surgindo como medida de redução de emissões de CO₂ e muitas empresas já vem trazendo essa questão de energia limpa como forma de atrativo comercial, pois o investimento inicial para projetos fotovoltaicos é alto.

Em sua dissertação de mestrado, André Neves do Amaral (2011), explica as vantagens do uso do sistema solar fotovoltaico para o sistema de microgeração. Entre elas, vale ressaltar:

- A. Vida útil e durabilidade do sistema, visto que os equipamentos do sistema têm cerca de 25 anos de aproveitamento e com uma pequena perda de rendimento nesse período.
- B. Custos de operação e manutenção baixos comparados a outros sistemas de geração.
- C. Nenhum custo com o combustível já que necessitam apenas da radiação solar para a produção de energia, e mesmo em dias nublados é possível ter a geração de energia com um rendimento menor.
- D. Ausência de emissões de gases que contribuam para o efeito estufa, ou seja, uma energia limpa.
- E. Nenhuma poluição sonora, visto que seu sistema não possui motores ou geradores a rotação.
- F. É um sistema muito adaptável, visto que pode ser configurado em diversas possibilidades como: rooftop, carport, fazenda solares e outros.
- G. Pode ser implantado on-grid ou off-grid, utilizando baterias para o armazenamento da energia e utilizando a energia gerada em períodos sem a radiação solar.
- H. A importante descentralização de grandes gerações, visto que pode ser implantada diretamente no local que será consumido a energia gerada, evitando custos com a transmissão da energia gerada e as estruturas de transporte de energia.

Dados atuais da ANEEL revelam que a porção de perdas na transmissão e distribuição de energia corresponde a 16% da eletricidade produzida no Brasil. Como comparativo, seria o mesmo que toda a geração da hidrelétrica de Itaipu perdida por problemas de transmissão e distribuição.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Como alguns temas são essenciais para o entendimento deste estudo acadêmico, algumas considerações foram feitas a fim de garantir um melhor entendimento sobre o assunto e o estudo de eficiência energética e geração distribuída.

Retratam-se os conceitos sobre eficiência energética e a importância do *retrofit* em ambientes que utilizem grande quantidade de lâmpadas. A modificação da infraestrutura de instalação e tecnologia, e a realização do processo de automação para um novo modelo de circuito elétrico de iluminações, utilizando dimerização é um dos modelos de eficiência energética. Relacionando o processo de eficiência energética com geração distribuída, o estudo se tornou mais eficiente, conforme os tópicos a seguir.

O primeiro tópico a ser desenvolvido é sobre eficiência energética nos sistemas de iluminação. Todo o tipo de iluminação artificial é uma carga elétrica, ou seja, é necessário gasto com energia para ter como resultado a iluminação. Como a iluminação representa um dos maiores custos de energia em nossa pesquisa acadêmica, em sítios como as Universidades, é necessário realizar uma análise técnica da situação atual do empreendimento e se existe a possibilidade de *retrofit* para a melhoria da eficiência energética do sistema de iluminação, assim como evitar custos desnecessários provocados por equipamentos obsoletos ou que estão com um custo de manutenção muito elevado.

Após o estudo do conceito de eficiência energética mostra-se a relação entre o estudo técnico e econômico, verifica-se a rentabilidade de um sistema elétrico de iluminação.

A terceira parte contextualiza-se o novo modelo de negócio que está surgindo no mercado de energia, o modelo de geração distribuída e a produção de energia utilizando micro e minigeração fotovoltaica, visto o conceito sobre geração distribuída, realiza-se uma análise técnica sobre a geração distribuída, utilizando minigeração levantando os principais atrativos desse modelo no Brasil e Portugal.

E para finalizar, as principais aplicações desse modelo de geração distribuída em residências e principalmente em Universidades, sendo este o foco do projeto de conclusão de curso.

3.1 A INFLUÊNCIA DO RETROFIT EM CIRCUITOS DE ILUMINAÇÃO E O ESQUEMA DE DIMERIZAÇÃO

O objetivo da iluminação artificial é permitir realizar, durante a noite ou em locais com pouca iluminação natural, todas as tarefas e atividades que se realizam durante o dia. O desempenho ou produtividade das atividades de trabalho ou lazer com iluminação artificial deve ser similar ao obtido durante o dia com a iluminação natural, ou seja, a luz solar.

Pensando que a eficiência da luz solar teria o fator igual a um, ou seja, o melhor fator de qualidade de iluminação para as atividades, devem-se utilizar lâmpadas artificiais com o fator próximo ao da luz natural.

Para ter essa eficiência energética nos sistemas de iluminação há um gasto de energia. Como a iluminação representa um dos maiores custos de energia para grande parte de empresas, edifícios comerciais e, no estudo de caso, institutos de educação como Universidades, é necessário realizar uma análise técnica da situação atual do empreendimento e estudar a possibilidade da instalação do *retrofit* para melhorar a eficiência energética do sistema de iluminação, a fim de evitar custos desnecessários provocados por equipamentos obsoletos ou que estão com um custo de manutenção muito elevado, devido a vida útil do equipamento.

Do mesmo modo, Rúben Guedes e Silva, (2013) mostra em sua dissertação de mestrado que mais uma vez a iluminação representa um dos maiores custos de energia. Os dados citados pelo autor elucidam que cerca de 25% do consumo global de energia de Portugal é proveniente da iluminação de diversos setores de atividades como indústrias, serviços, comércio e residências.

Universidades como a Universidade Presbiteriana Mackenzie, no Brasil, e o Instituto Superior de Engenharia do Porto, em Portugal, utilizam o recurso de iluminação artificial em média 20 horas por dia. Verificando que essas Universidades estão abertas ao público de segunda à sábado, desde às 4 horas da manhã, quando chegam seus primeiros funcionários, até à meia noite, têm-se em grande parte do seu dia, mesmo no período com iluminação natural, a utilização da iluminação artificial, principalmente em suas salas de aula, laboratórios e outros ambientes fechados como banheiros e refeitórios.

Verifica-se a frequente coerência de fatos nos trabalhos dos autores Rúben Guedes e Silva, (2013) e do engenheiro Fabio Tempel (2016), principalmente nos números com os valores monetários para se realizar o projeto de *retrofit*, assim como o potencial de conservação de energia e o retorno do investimento do projeto. Mesmo em países diferentes,

como Brasil e Portugal, o custo de um projeto de eficiência energética e o seu *payback* é relativamente parecido.

Para explicar o conceito de dimerização, primeiramente, é preciso ficar claro a importância de combinar o uso de novas tecnologias em iluminação, como por exemplo o uso de lâmpadas LED e automatização do circuito de iluminação. Essa é uma boa opção para que em ambientes escolares de grande porte o sistema seja capaz de controlar o seu consumo de forma eficiente, seja durante as horas do dia, mas também às variações que afetam a luminosidade do ambiente. Portanto, é importante verificar que o sistema de dimerização composto por componentes de sensores de luz de presença, *dimmer*, entre outros acessórios eletrônicos, controlem um sistema de automação, de forma eficiente, o uso racional da energia.

De acordo com a norma NBR5413 - Iluminância de Interiores - é estabelecido valores de iluminância médias mínimas em serviço para iluminação artificial em interiores, onde se realizem atividades de comércio, indústria, ensino, esporte e outros:

Os termos técnicos desta norma estão localizados em 3.1 e 3.2 da norma NBR 5461. A iluminância média de uma superfície, é o limite da razão do fluxo luminoso recebido pela superfície em um ponto P, essa iluminância é a soma da iluminância direta e da iluminância indireta de uma área específica. (NBR5413 - Iluminância de Interiores, 1990)

Assim como a norma brasileira, a norma vigente na Europa é a EN12464-1: 2002 e a norma CEN/TR 13201: 2004. Essas normas possuem tabelas que separam por classes de tarefas e trabalhos. Um fator de iluminância entre 300-500lux é suficiente para atender as duas normas.

A importância de realizar uma medição constante dos níveis de iluminância em salas de aula é visto no trabalho de Juliana Mara Batista Menezes (2015). Em sua dissertação, ela aponta um déficit na iluminação das salas de aulas de escolas públicas e reforça que é imprescindível a necessidade de se dar importância ao correto dimensionamento da luz nas edificações escolares, seja natural ou artificial, uma vez que o ambiente em que o aluno está inserido irá influenciar diretamente no seu desenvolvimento intelectual.

Utilizando o conceito de eficiência energética e utilizando os artifícios de *retrofit* e dimerização, é possível atingir a máxima eficiência do sistema de iluminação adequando-o as normas técnicas de Portugal e Brasil.

3.2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E RENTABILIDADE DE UM SISTEMA ELÉTRICO DE ILUMINAÇÃO COM RETROFIT E DIMERIZAÇÃO

Durante a fase do estudo do projeto técnico de um sistema elétrico é possível obter informações sobre o rendimento global e específico por circuito elétrico desse sistema. Quando são construções muito antigas, há uma grande possibilidade de que não haja informações sobre de quantidade de lâmpadas, tomadas e outros equipamentos por circuito elétrico presentes em funcionamento no local. Assim, é necessário fazer o levantamento de forma manual para obtermos essas informações.

Existem dois métodos que calculam rapidamente a quantidade de lâmpadas necessárias dentro de um determinado ambiente. No entanto, esses métodos não fornecem resultados com perfeita exatidão. São eles: o método de fator de utilização, que utiliza uma tabela comparativa entre o nível de luminância necessária dependendo do ambiente e do trabalho realizado no local; e o método por pontos, que toma como base o cálculo de iluminâncias entre pontos de uma superfície que se pretende iluminar.

Em uma de suas diversas dissertações, os autores, Lamberts, Roberto, Luciano Dutra, *and* Fernando OR Pereira. "Eficiência Energética." São Paulo: PW Editores (1997), citam esses dois métodos de luminotécnica explicando as suas diferenças e ressaltando suas respectivas importâncias. O método dos pontos baseia-se no cálculo das luminâncias ao dividir uma grande superfície, na qual se pretende conhecer a distribuição de iluminância, em locais menores, as chamadas superfícies elementares ou infinitesimais. Já o método de fator de utilização permite que seja feito um cálculo rápido, porém com pouca precisão, da quantidade de lâmpadas necessárias para garantir os níveis de iluminância para o ambiente estudado, visto que se relaciona a área total, a iluminância média da superfície a iluminar, o fator de depreciação e o fator de utilização.

Além disso, é necessário observar a importância de traçar um estudo técnico de um projeto de eficiência energética não descartando o estudo econômico. As duas dissertações acima ressaltam que é muito importante que seja atrativo para o cliente tecnicamente e financeiramente um projeto de eficiência energética, trazendo assim um retorno financeiro (*payback*) dentro do prazo de vida útil dos equipamentos que foram trocados ou instalados.

Assim, são apresentados diversos modelos de projeto como: realizar a troca de lâmpadas de Led mais eficientes, realizar o *retrofit* em conjunto com o projeto de dimerização das luminárias, dependendo das horas do dia e variações do clima que afetam a luminosidade

natural, e por fim, realizar o *retrofit*, a dimerização e auto geração de energia elétrica utilizando células fotovoltaicas.

Para efetuar a análise econômica do projeto, é necessário avaliar o valor do dinheiro nas mais diversas circunstâncias, como tempo, substituição dos equipamentos e custo de energia. Ao realizar um passo a passo, pode-se começar pelo inventário, avaliando fisicamente o parque de lâmpadas e o levantamento de informações e dados técnicos. Depois é preciso passar pela apuração dos custos e oportunidades, calculando os totais dos custos envolvidos e a identificação de oportunidades. E por fim, a apresentação dos resultados mostrando as oportunidades identificadas no projeto e as propostas para a melhoria da eficiência do sistema, utilizando *retrofit*, dimerização e outros conceitos.

Durante a 12ª Conferência sobre Desenvolvimento Sustentável dos Sistemas de Energia, Água e Meio Ambiente foi realizado o 2º Workshop Internacional sobre Avanços na Produção de Energia Limpa, na qual foi discutido o conceito de eficiência energética, os autores J. M. A. Godoi e S. Oliveira Júnior ainda ressaltam as vantagens econômico-financeiras dos investimentos na aplicação desse tipo de processo. A quantidade de energia que pode ser economizada utilizando métodos de eficiência tem um melhor aproveitamento quando comparada com o rendimento de geração de energia. “O volume de investimentos necessário para liberar (economizar) 1,0 kWh de energia elétrica por redução de perdas é quatro vezes menor (25%) do que o exigido para gerar a mesma quantidade de energia nova a partir dos processos convencionais do Sistema Elétrico (Brasil. MME, 2006)”.

Com base nessas informações é possível perceber o grande potencial de recuperação e economia de energia que traz a eficiência energética para um sistema. Ainda mais se considerarmos a combinação das principais fontes de produção de energia do país, como a hídrica no Brasil ou termoelétrica em Portugal, com a geração distribuída de energia. Dessa maneira, tem-se um ganho em diversificação da matriz energética do país. No Brasil, o plano nacional de energia de 2030 já contempla a eficiência energética como alternativa aos investimentos em projetos de ampliação da produção de energia.

Em Portugal, esse modelo já é realidade, porém, não são contemplados como alternativa aos investimentos em projetos de ampliação da produção de energia, e sim, como investimentos para a redução do consumo de energia.

3.3 PRODUÇÃO DE ENERGIA UTILIZANDO MICRO E MINIGERAÇÃO FOTOVOLTAICA - GERAÇÃO DISTRIBUÍDA.

Atualmente, a energia elétrica é a forma de energia mais usada no mundo, pois é possível obter a geração desse tipo de energia com diversas tecnologias, sendo que as principais fontes de energia têm como o principal fundamento o aproveitamento de um movimento rotativo proveniente de turbinas ou motores.

Assim, é possível gerar uma corrente elétrica com um gerador. Atualmente a matriz energética do Brasil, Portugal e do mundo, ainda depende muito de combustíveis fósseis para a obtenção de energia. Além da escassez desses recursos, sua utilização traz diversos riscos e graves consequências ao meio ambiente. Utilizando esse conceito, elaborou-se o principal objetivo deste trabalho, sendo este, mesclar o uso da eficiência energética e *retrofit* utilizando o futuro da geração no mundo, a geração distribuída e um de seus métodos englobam a micro e mini geração fotovoltaica.

O artigo de Bruno M.R e Lavinia Hollanda (2015), mostra como a micro e minigeração está evoluindo vagarosamente no Brasil devido a entraves econômicos e comerciais:

A geração distribuída (GD) é um dos temas mais discutidos no âmbito do planejamento energético no mundo e é apontada como o futuro da produção de energia elétrica. Em países de mercados mais maduros, a geração distribuída é tida como alternativa à expansão de parques centralizados e de grande porte, os quais apresentam grandes impactos socioambientais.

Como o tema geração distribuída ainda está em desenvolvimento, cada país tem seu método de incentivo, normas e maneiras diversas de aplicação. De acordo com o caderno temático de Micro e Minigeração distribuída da ANEEL, “Geração distribuída é caracterizada pela instalação de geradores de pequeno porte, normalmente a partir de fontes renováveis ou mesmo utilizando combustíveis fósseis, localizados próximos aos centros de consumo de energia elétrica”.

Ainda de acordo com o caderno temático da ANEEL, é explicado as vantagens e desvantagens do uso de geração distribuída conectados no sistema elétrico de energia:

De forma geral, a presença de pequenos geradores próximos às cargas pode proporcionar diversos benefícios para o sistema elétrico, dentre os quais se destacam a postergação de investimentos em expansão nos sistemas de distribuição e transmissão; o baixo impacto ambiental; a melhoria do nível de

tensão da rede no período de carga pesada e a diversificação da matriz energética.

Por outro lado, há algumas desvantagens associadas ao aumento da quantidade de pequenos geradores espalhados na rede de distribuição, tais como: o aumento da complexidade de operação da rede, a dificuldade na cobrança pelo uso do sistema elétrico, a eventual incidência de tributos e a necessidade de alteração dos procedimentos das distribuidoras para operar, controlar e proteger suas redes.

Mesmo assim, por ser um tema novo, a geração distribuída não tem uma definição clara em todos os países. No Brasil, de acordo com a resolução normativa da ANEEL-482, foi criada um sistema de compensação de energia elétrica na qual o consumidor brasileiro pode gerar sua própria energia utilizando Micro ou Mini geração e gerar créditos se tiver excedente de energia entre a geração e o consumo. Para efeitos de se diversificar a microgeração da minigeração, foi estabelecido que uma central geradora de energia elétrica com potência de até 75kW será caracterizada como microgeração e potências superiores a 75kW e até 3MW para fontes hídricas, e 5MW para demais fontes, será caracterizado como minigeração.

Já em Portugal, o cenário é diferente. Enquanto a microgeração distribuída pode ser até a potência de 5,75kW, para o nosso caso de estudo o modelo deverá ser de uma UPAC (Unidade de Produção em Autocomsumo) ou uma UPP (Unidade de Pequena Produção). A diferença de ambas as opções está nas limitações de potência e produção e também no modelo de licenciamento. De acordo com o caderno temático de energia solar da EDP para pequenas e médias empresas, o ISEP poderá se enquadrar em ambos os modelos com a potência máxima de geração de até 1MW de potência que deverá previamente ter um registro, uma inspeção e autorização de acordo com os Decretos Lei 25_2013 e 153_2014. Nesses modelos o ISEP poderá consumir, por exemplo, 90% da energia gerada e exportar o restante para a rede e ser faturado por um preço acordado, sendo esse modelo uma UPAC. Ou vender a totalidade da geração de energia elétrica, estabelecido o preço por um processo de licitação por cada kW de energia vendida, esse último no modelo de UPP.

Entre as diversas fontes de energias primárias, as duas legislações permitem o uso de: Solar, Eólica, Hídrica, Co-geração à biomassa, Pilhas de combustível, baterias e hidrogênio proveniente de microgeração renovável e a Co-geração não renovável.

A microgeração já se mostrou muito eficiente ao redor no mundo, como no caso da Alemanha, estar trocando todo o seu modelo de matriz energética centralizada para o modelo de geração distribuída, também em outros locais como nos Estados Unidos foi extremamente eficiente em eventos como o do furacão Sandy, em 2012, que atingiu o nordeste dos Estados

Unidos. Todas as redes de microgeração em atividade nos estados de Maryland, New Jersey, Nova York e Connecticut operaram durante a tempestade e continuaram funcionando após o fim do evento, inclusive fornecendo energia para as cidades devastadas (IEEE, 2014).

Ainda em sua dissertação de mestrado, André Neves do Amaral (2011) mostra que o sistema possui algumas desvantagens em sua utilização como o investimento inicial do projeto de minigeração solar ser elevado, visto que é uma tecnologia ainda em desenvolvimento e que utiliza módulos fotovoltaicos de silício e inversores de frequência AC/DC que ainda possuem um elevado custo de fabricação. Além de não possuir um rendimento final muito elevado, quando comparado com as demais gerações de energia elétrica. Outro fator importante para a geração de energia solar fotovoltaica é o seu combustível, ou seja, o sol. Em dias muito nublados, com chuvas ou em períodos noturnos a geração de energia é reduzida, chegando a zero no último caso.

Após estudado as vantagens e desvantagens da minigeração solar fotovoltaica chegamos à conclusão que mesmo tendo um rendimento total menor do que os outros tipos de geração de energia elétrica, esse sistema é um dos mais limpos e que causam menos impactos ao meio ambiente, como é ressaltado na dissertação de mestrado de Rui Francisco Gomes Duarte Mangas (2009), onde elucida que esse tipo de geração vem surgindo como medida de redução de emissões de CO₂ e muitas empresas já vem trazendo essa questão de energia limpa como forma de atrativo comercial, devido ao alto gasto com o investimento inicial para projetos fotovoltaicos.

3.4 PRINCIPAIS APLICAÇÕES DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E MODELOS DE NEGÓCIO

A geração distribuída vem com fortes modelos de negócio no mercado brasileiro e internacional, pois além dos incentivos fiscais e financeiros em alguns países como a Alemanha, também são modelos de mudança energética para o mundo, mostrando que é possível mudar o esquema da matriz energética fundamental, utilizando gerações centralizadas, para o novo modelo de geração distribuída. Conforme noticiado pela Secretaria de Energia e Mineração do estado de São Paulo, a Alemanha é modelo de mudança energética: “78% da demanda de energia do país foram atendidos por fontes renováveis. No total, a produção foi de quase 48 gigawatts, o equivalente ao que produzem 50 usinas de carvão”

Essa mudança do sistema de geração de energia elétrica da Alemanha vem mudando de forma contínua, desde que foram suspensas as operações de várias usinas nucleares

no país, como a usina de Grafenrheinfeld, um mês antes desse marco histórico do país. Assim, pode-se comprovar que é possível mudar a matriz energética de um país deixando de lado a ideia que as energias renováveis são apenas um nicho muito específico e trazendo para a realidade esse modelo de geração de energia com o foco para os países do futuro.

Nos anos 2000, a matriz energética proveniente de energia renovável na Alemanha era em torno de 7%, o país assegurou medidas, subsídios a investidores em energia solar e eólica para que trocassem os investimentos em grandes usinas hidrelétricas ou nucleares para pequenas usinas de geração distribuída, essa fórmula foi tão positiva na Alemanha que hoje ela possui 28% da demanda energética proveniente de fontes renováveis com um marco de 35% até 2020. Ainda citando a notícia publicada no site da secretaria de energia e mineração do estado de São Paulo.

A Alemanha é líder na produção de energia fotovoltaica, sendo responsável pela produção de 35% da energia solar que é produzida no mundo. (ECODESENVOLVIMENTO, 2014).

Atualmente existem alguns tipos de geração distribuída, como mostrado na Conferência Internacional de Engenharia realizada na Universidade de Beira Interior em Portugal (2013), sendo eles:

1. Utilizando Gerador Síncrono, injetando na rede potência ativa e reativa.
2. Aerogerador eólico, injetando na rede potência ativa, porém consumindo energia reativa.

Energia fotovoltaica, microturbinas, e células de combustível, como hidrogênio, todos injetando na rede apenas potência ativa, visto que no caso dos geradores fotovoltaicos, é possível ter a geração de potência ativa e reativa por conta do inversor DC/AC.

Utilizando apenas o modelo de geração fotovoltaico no nosso modelo de negócio, é ainda viável ter vários modelos com diferentes atratividades econômicas para diferentes clientes.

Atualmente no Brasil, podemos ter esse tipo de geração fotovoltaica em residências, utilizando a microgeração, normalmente nos modelos de rooftop (quando instalados os módulos fotovoltaicos nos telhados das residências onde será gerado uma quantidade de energia que será totalmente consumida ou o excesso será exportado para a rede de distribuição e assim gerado créditos de compensação de energia elétrica que ficarão a disposição do cliente durante 60 meses, conforme a norma regulamentar da ANEEL 482/2012).

Esse tipo de negócio pode ainda ser implantando em condomínios ou consórcios/cooperativa, assim nesse modelo deverá ser especificada a porcentagem de energia que irá para cada integrante.

É possível ver esse modelo de negócio na dissertação de Marcos Antonio dos Santos Serrão (2010), em sua dissertação, é realizado o dimensionamento de um sistema fotovoltaico para uma casa de veraneio em pouso da Cajaíba em Paraty. Visto que é uma comunidade que nunca foi conectada ao sistema elétrico brasileiro devido a sua localização, assim, foi utilizado o sistema off-grid, ou seja, um modelo que o sistema de geração não é conectado à rede e terá baterias para o armazenamento do excedente de energia elétrica e acumulação de energia para o uso em períodos noturnos.

No Brasil, o sistema de compensação de energia elétrica, de acordo com a norma 482 da ANEEL, tem como objetivo “Viabilizar o mercado da geração distribuída para determinadas fontes e certa capacidade, fazendo com que fosse aberto um novo mercado de geração de energia elétrica no Brasil”, como também consta na dissertação de Bruno M.R e Lavinia Hollanda (2015).

Mariana Fonte Boa Rodrigues (2013) estuda a atratividade econômica da Minigeração distribuída no Brasil pela geração solar fotovoltaica. Em sua dissertação é analisado a viabilidade financeira de todo o investimento do projeto de GD solar utilizando o método do valor presente líquido e o tempo de retorno financeiro desse investimento, além de ser averiguado o custo da eletricidade gerada pelo sistema fotovoltaico ao longo de cinco anos e o preço unitário de geração de energia elétrica.

Existem incentivos para que esse sistema seja mais atrativo para o cliente no Brasil, utilizando a incidência de impostos Federais e Estaduais, como a isenção do Imposto de Circulação de Mercadorias e Serviços – ICMS, apenas para os estados que aderiram ao convênio ICMS 16/2015. O ICMS irá incidir somente sobre a diferença entre a energia consumida e a energia injetada na rede do mês. Assim como para o Programa de Integração Social – PIS e Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social – COFINS, do mesmo modo que o ICMS, a incidência do PIS/COFINS passou a acontecer apenas entre a diferença positiva entre a energia consumida e a energia injetada pela unidade consumidora com micro ou minigeração distribuída. Essa regra está em vigor e é válida para todos os estados do país, visto que é um tributo federal (ANEEL-2015).

4 ESTUDO DE CASO

Para o estudo de caso foi utilizado toda a teoria explicado anteriormente, focando no conceito da utilização do estudo de eficiência energética em conjunto com o estudo de geração distribuída.

Para isso foi estabelecido um passo a passo onde estudaram-se as diferenças do mercado Europeu e Brasileiro, utilizando o espaço do ISEP e o Mackenzie, respectivamente.

Para o estudo no Brasil, na Universidade Presbiteriana Mackenzie, foi utilizado o campus de Barueri – SP. O objetivo do estudo foi realizar um pré-diagnóstico energético e apresentar uma ação de eficiência energética prevista para o sistema de iluminação, além de realizar um projeto preliminar para um estudo de geração distribuída, utilizando minigeração solar com uma potência total igual a 535kWp.

Em Portugal, para o Instituto Superior de Engenharia do Porto, verificaram-se que já foram realizados inúmeros projetos de eficiência energética no interior dos edifícios, assim foi considerada a possibilidade de apresentar uma ação de eficiência energética para o sistema de iluminação exterior da Universidade. E também foi realizado um projeto preliminar para um estudo autoprodutor de energia, utilizando uma geração solar com uma potência total igual a 535kWp.

4.1 ESTUDO DE DEMANDA ENERGIA MACKENZIE

Antes de realizar a análise técnica dos projetos, foi necessário verificar a demanda de energia da Universidade para um dimensionamento ideal e um estudo de caso viável tecnicamente. Coletaram-se dados de 12 meses de contas de energia da Universidade Presbiteriana Mackenzie, evidenciado na Tabela 1 - Análise faturas de Energia Elétrica Mackenzie. Nesta tabela consideraram-se os dados de: Demanda na ponta, no horário das 18:00horas até as 20:00horas e o fora ponta, no restando do dia. O consumo na ponta e fora ponta (kWh), podendo assim estabelecer um peso do consumo diário de energia na Universidade.

Tabela 1 - Análise faturas de Energia Elétrica Mackenzie

Análise faturas de Energia Elétrica Mackenzie							
Classificação Tarifa:			AES Eletropaulo - V4 Horosazonal Azul				
Mês	Demanda		Consumo Mensal				
	Ponta	F. Ponta	Ponta	F. Ponta	Total	Peso Ponta	Peso F.Ponta
out/15	390,0 kW	430,9 kW	15.851,2 kW	125.927,7 kW	141.779 kWh	11,18%	88,82%
nov/15	390,0 kW	490,9 kW	10.851,4 kW	96.210,5 kW	107.062 kWh	10,1%	89,9%
dez/15	339,9 kW	560,0 kW	18.366,6 kW	171.896,5 kW	190.263 kWh	9,7%	90,3%
jan/16	191,0 kW	353,9 kW	6.571,6 kW	72.027,1 kW	78.599 kWh	8,4%	91,6%
fev/16	266,6 kW	620,5 kW	10.470,9 kW	135.345,7 kW	145.817 kWh	7,2%	92,8%
mar/16	422,8 kW	577,4 kW	14.318,5 kW	137.019,5 kW	151.338 kWh	9,5%	90,5%
abr/16	750,0 kW	750,0 kW	17.383,2 kW	168.444,4 kW	185.828 kWh	9,4%	90,6%
mai/16	750,0 kW	750,0 kW	15.008,7 kW	133.986,0 kW	148.995 kWh	10,1%	89,9%
jun/16	570,0 kW	630,0 kW	14.501,6 kW	127.404,2 kW	141.906 kWh	10,2%	89,8%
jul/16	570,0 kW	630,0 kW	12.070,0 kW	90.303,2 kW	102.373 kWh	11,8%	88,2%
ago/16	570,0 kW	630,0 kW	12.587,1 kW	102.928,8 kW	115.516 kWh	10,9%	89,1%
set/16	570,0 kW	630,0 kW	15.907,8 kW	136.131,0 kW	152.039 kWh	10,5%	89,5%
Média	482 kW	588 kW	13.657 kWh	124.802 kWh	138.459 kWh	9,4%	90,1%
Demanda Contratada	570 kW	630 kW	37.620 kWh	418.320 kWh	455.940 kWh	8,3%	91,7%
Fator de Utilização	85%	93%	36,3%	29,8%	30,4%		
Consumo anual :	482 kW	163.889 kWh	1.497.625 kWh	1.661.513 kWh	10%	90%	

Fonte: Autoria Própria

Após a análise da conta de energia da Universidade, percebeu-se que em apenas alguns meses o Mackenzie ultrapassou a demanda contratada e possui um fator de utilização relativamente baixo. O consumo mensal fora de ponta tem um peso de 90% do consumo total mensal, na unidade e identificou-se que é um hábito de consumo que não é possível mudar, visto que se trata de um estabelecimento de ensino e o fica em pleno funcionamento das 6:00hrs até as 23:00hrs.

Em conversa com o gerente do campus Barueri, o senhor Valdnei Alves de Oliveira, gestor do Campus Barueri (Reunião Local, 2017), o colégio e a Universidade atendem cerca de 5mil alunos por dia. Independente da faixa etária, todos utilizam o sistema de iluminação de forma contínua, por isso estabeleceu-se um estudo de eficiência energética para o sistema de iluminação do Mackenzie.

4.2 ESTUDO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA MACKENZIE

Foi realizado um levantamento técnico na Unidade Barueri do Colégio e Universidade Mackenzie e foram analisados os seguintes prédios: 01, 11, 14, 15 e refeitórios, vistos no Anexo 2.

Foram contabilizados 781 pontos de iluminação, o sistema de iluminação atual em sua grande maioria é composto por lâmpadas de vapor de mercúrio de 110 W, esse sistema é altamente ineficiente e as lâmpadas possuem altos índices de mercúrio.

Para tornar eficiente o sistema atual foi realizado um estudo de substituição por um sistema composto por lâmpadas LED que apresentam alta eficiência e vida útil superior.

O tempo de funcionamento foi obtido através de pesquisa de campo e validação da informação com o Gerente do campus.

No Anexo 1 – Sistema atual prédio 1, elaborou-se uma tabela com os dados do sistema de iluminação existente hoje no prédio 1. Nesta tabela foi considerado a quantidade de pontos de iluminação, a potência nominal, o consumo nas horas de ponta e fora ponta, entre outros dados, seguiu-se com o mesmo padrão de coleta de informações em tabela para os prédios 11, 14, 15 e refeitórios.

Houve a necessidade do levantamento de todos esses dados para elaborar um sistema de iluminação de melhoria, utilizando modelos de lâmpadas LED.

Na Tabela 2 – Quantidade total de pontos de iluminação, considerou-se cerca de 781 pontos de iluminação que podem ser realizados a troca de lâmpadas por sistemas mais eficientes:

Tabela 2 – Quantidade total de pontos de iluminação

Tipologia	Quantidade	Proposto	Ação
HO 1x110W	378	1 x Luminária 2x18W LED	Troca Luminária
HO 2x110W	51	2 x Luminária 2x18W LED	Troca Luminária
LFT 1x16W	3	1x LED Tube 10W	Troca Lâmpada
LFT 2x20W	59	2x LED Tube 10W	Troca Lâmpada
LFT 2x32W	151	2x LED Tube 18W	Troca Lâmpada
LFT 4x20W	128	4x LED Tube 10W	Troca Lâmpada
LFT 4x32W	11	4x LED Tube 18W	Troca Lâmpada
Total	781		

Fonte: Autoria Própria

Outras luminárias não possuíam viabilidade por já serem eficientes (T5, LED e T8 32W) ou localizadas em ambientes de baixa utilização. Alguns prédios do colégio já estavam

com projetos de substituição do sistema de iluminação em andamento. O consumo destas luminárias totaliza cerca de 300 MWh/Ano, o que representa cerca de 20% do consumo total do colégio. Foi levado em consideração uma estimativa razoável, visto que as luminárias fora de escopo e de blocos não levantados completariam os outros 40%, de acordo com a estimativa de participação da iluminação nos usos finais.

Esse novo sistema de iluminação traz melhorias como menor custo de manutenção, opções do uso de dimerização ou variação do fluxo luminoso para diminuir o consumo de energia, além de utilizar lâmpadas LED que contribuem para o descarte, cerca de 98% dos materiais dessas lâmpadas são reciclados e reaproveitados.

O sistema HO – fluorescente precisa de um processo de Trituração com tratamento térmico para ser reciclado, e é feito por meio do esmagamento da lâmpada e destilação do mercúrio. Assim, são separados: terminais de alumínio, pinos de latão, componentes de ferro e metal, vidro, poeira fosfórica – onde está presente o mercúrio e isolamento baquelítico. A poeira fosfórica é destilada para a recuperação do mercúrio e os demais resíduos são descontaminados e encaminhados à reciclagem para que voltem ao processo produtivo. O único componente que não é reciclado é o isolamento baquelítico presente nas extremidades da lâmpada.

Assim, mesmo o sistema de lâmpadas fluorescentes serem práticos, relativamente duráveis e econômicos quando comparados com lâmpadas incandescentes e LED's, em seu interior, possuem o componente químico mercúrio que é muito prejudicial à saúde por ser um metal pesado e tóxico.

Na Tabela 3 – Manutenção: Mão de obra e Reposição de Produtos nota-se que o custo de manutenção do sistema deve ser calculado através da vida útil de cada tipo de lâmpada e a quantidade de lâmpadas que foram trocadas ao longo do ano.

Tabela 3 – Manutenção: Mão de obra e Reposição de Produtos

Custo Manutenção (MO/Ponto)	R\$ 5,00
Produção: Utilização Diária (horas/dia)	18
Produção: Utilização Mensal (dias/mês)	22

MANUTENÇÃO: MÃO-DE-OBRA e REPOSIÇÃO DE PRODUTOS											
Tipo Produto		Vida útil (h)	Vida útil (anos)	% Trocas Anos	Quant. Produtos	Custo Produto	Custo Mão-de-Obra	Custo Equipamento	Custo Total	Economia anual (R\$)	Economia anual (%)
<i>Atual</i>	<i>Ho - fluorescente 110w</i>	7.500	1,58	63%	60	R\$ 20,00	R\$ 190,08	R\$ 760,32	R\$ 950,40	R\$ 850,61	90%
<i>Proposta</i>	<i>Lâmp. Led 22W</i>	50.000	10,52	10%	10	R\$ 100,00	R\$ 4,75	R\$ 95,04	R\$ 99,80		

Fonte: Autoria Própria

Pode-se observar que a vida útil de uma lâmpada LED é muito superior ao da lâmpada fluorescente, além de ocasionar menos trocas devido a defeitos e problemas de fabricação. Mesmo com o custo unitário maior das lâmpadas de LED, a quantidade de produtos é inferior, referente ao sistema de dimerização que pode apenas ser implantado com essa nova tecnologia, além de proporcionar um sistema de controle melhor, consegue-se evitar a queima das lâmpadas de LED devido aos picos de energia da própria rede alimentadora. Assim chega-se ao custo anual com uma economia de aproximadamente 90% do sistema atual.

Ao realizar a substituição do sistema atual de iluminação pelo sistema mais eficiente, tem-se uma diminuição do consumo de energia em aproximadamente 183 MWh/ano e uma Redução de Demanda na Ponta de 33,92 kW, mostrado Tabela 4 – Economia Energia Iluminação.

Tabela 4 – Economia Energia Iluminação

Economia de Iluminação		
183,00 MWh	R\$ 89.827,44	ano
15,25 MWh	R\$ 7.485,62	mês

Fonte: Autoria Própria

Essa economia de energia elétrica para a Universidade será importante para mesclar com o estudo a seguir de geração de energia solar. A quantidade de geração de energia será mais eficiente se utilizada junto com a eficiência energética pois tratando-se de energia

solar, teremos apenas geração de energia no fora ponta. Unindo com a economia de energia consumida na ponta o projeto fica mais atrativo tecnicamente.

4.3 ESTUDO PRELIMINAR GERAÇÃO DISTRIBUIDA MACKENZIE

Para realizar o estudo preliminar de geração distribuída, utilizou-se o conceito de minigeração estipulado pela norma da Aneel - 482 apresentadas a seguir os principais pontos:

A resolução normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, atualizou a resolução normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015, estabelecendo as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuídas aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica.

Assim, o estudo preliminar foi feito no modo de minigeração distribuída, de acordo com o tópico 2 da resolução da ANEEL - 482:

Foi considerado a instalação de um sistema fotovoltaico no modelo de *carport*. Nesse modelo serão instaladas diversas placas solares fotovoltaicas em cima de uma estrutura de estacionamento no local que hoje fica o estacionamento da Universidade Presbiteriana Mackenzie – Tamboré, mostrada na Figura 1:

Figura 1 - Localização do estacionamento da Universidade e Colégio Presbiteriano Mackenzie – Campus Barueri – Alphavile.



Fonte: Google Earth

Na Figura 1 pode-se ver um dia típico de eventos sendo realizado na Universidade. Em conversa com o gestor do campus, em dias como esse pode-se chegar a 300 – 500 carros no estacionamento.

Em dias convencionais o estacionamento comporta cerca de 100 – 200 carros. Alunos da Universidade, professores, pais de alunos utilizam as dependências do estacionamento diariamente. Como pode-se observar o local que hoje é descoberto e tem piso de gramado e terra, conforme Figura 2, Figura 3 e Figura 4.

Figura 2 – Estacionamento Mackenzie



Fonte: Autoria Própria

Figura 3 - Estacionamento Mackenzie



Fonte: Autoria Própria

Figura 4 - Estacionamento Mackenzie



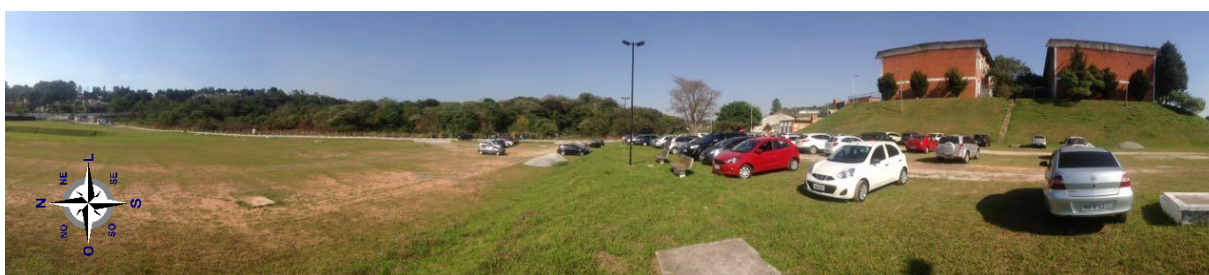
Fonte: Autoria Própria

Foi verificado no local que essa região é propícia a alagamentos em períodos chuvosos do mês. Uma quantidade alta de brita e pedras são colocadas junto ao gramado para evitar a formação de poças de água.

Após todos os estudos aplicados anteriormente, foi verificado uma grande possibilidade de instalação de uma usina solar com uma potência total de 535kWp utilizando a área do estacionamento.

O estacionamento está localizado de forma ideal para a instalação dos módulos fotovoltaicos, pois está voltado exatamente para o norte, conforme Figura 5.

Figura 5 – Estacionamento Mackenzie 360°



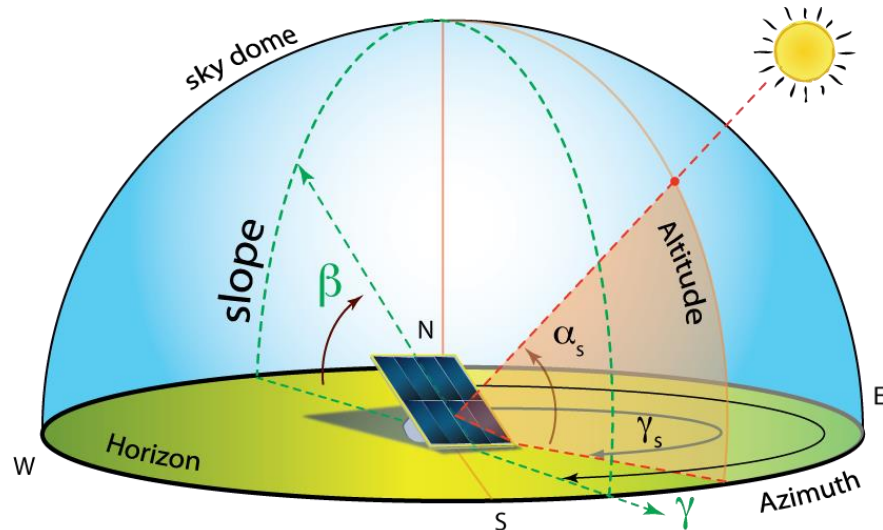
Fonte: Autoria Própria

Os conceitos básicos para proporcionar ao estudo a melhor solução, irradiação solar e ângulo de inclinação necessariamente é preciso ter o conhecimento de Latitude, Longitude, Azimute e conceitos básicos para o estudo de energia solar, conforme a Figura 6 e as definições a seguir:

- A. LATITUDE (°): Distância angular entre o equador e ponto determinado do planeta (medido ao longo do meridiano no qual se encontra tal ponto). Determina localização N-S.
- B. LOGITUDE (°): Distância angular entre um ponto da superfície terrestre e o meridiano 0° (meridiano de Greenwich). Determina localização E-O.
- C. AZIMUTE (°): É o ângulo formado entre o Norte e o alinhamento em questão. É medido a partir do Norte, no sentido horário, podendo variar de 0° a 360°. São exceções, por exemplo, a convenção FITS (*Flexible Image Transport System*) do Observatório Europeu do Sul, em que ele é medido a partir do sul, crescendo para o oeste, ou a convenção FITS do *Sloan Digital Sky Survey* (SDSS), em que ele é medido a partir do sul, crescendo para o leste
- D. IRRADIÂNCIA: Potência instantânea recebida por uma superfície [W/m²].

E. IRRADIAÇÃO: Quantidade de energia solar recebida durante um determinado período de tempo [Wh/m²]

Figura 6 – Imagem de referência solar.



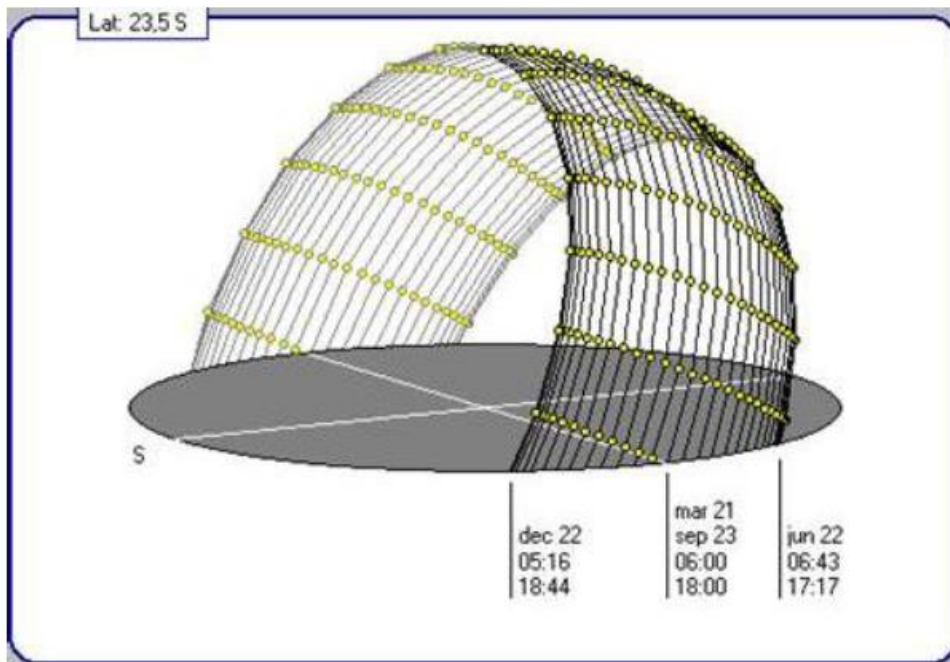
Fonte: Google Imagens

Conforme visto na Figura 6, o ângulo de azimute é o que determina a melhor posição para a instalação dos módulos fotovoltaicos. Como a linha do Equador está direcionada para o Norte, no caso do Brasil, para a Universidade Presbiteriana Mackenzie, a melhor posição para o *azimuth* será de 0°, visto que para o caso da Universidade de Portugal, a melhor posição de azimute será de 180°.

Assim como a própria movimentação do Sol em relação a Terra, a inclinação do Sol varia no decorrer dos dias do ano. Para uma latitude de 23,5° sul, exatamente onde passa o Trópico de Capricórnio, delimitando a zona tropical sul, que corresponde a um limite do solstício, que é a declinação mais meridional da elíptica do Sol sobre o equador celeste. Pode-se ver as seguintes condições:

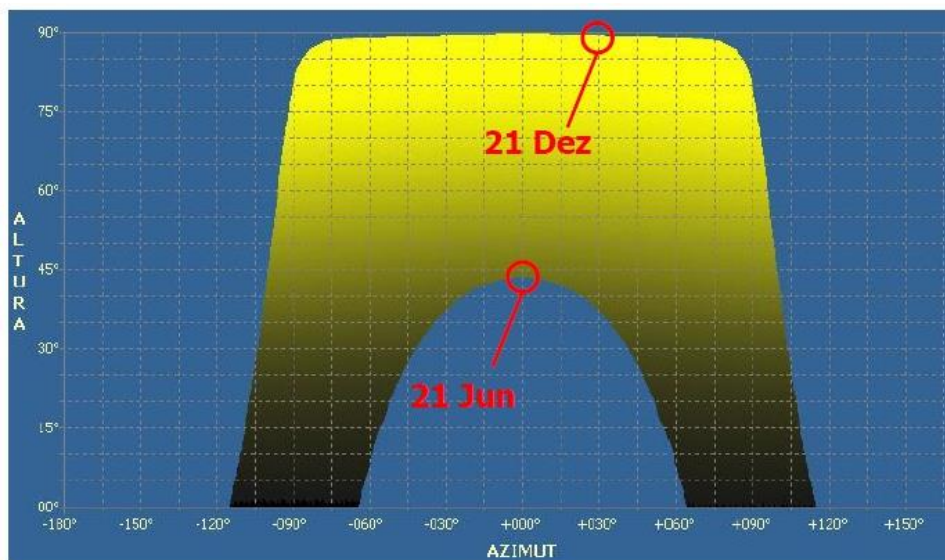
Com o passar dos dias no ano pode-se ver na Figura 7 e Figura 8 trajetória solar e a diferença de posição do verão ao inverno. Enquanto no inverno o sol está a uma inclinação maior ao Norte, no verão temos uma inclinação maior ao Sul.

Figura 7 – Inclinação do Sol no ano



Fonte: Caderno Temático Energia Solar AES

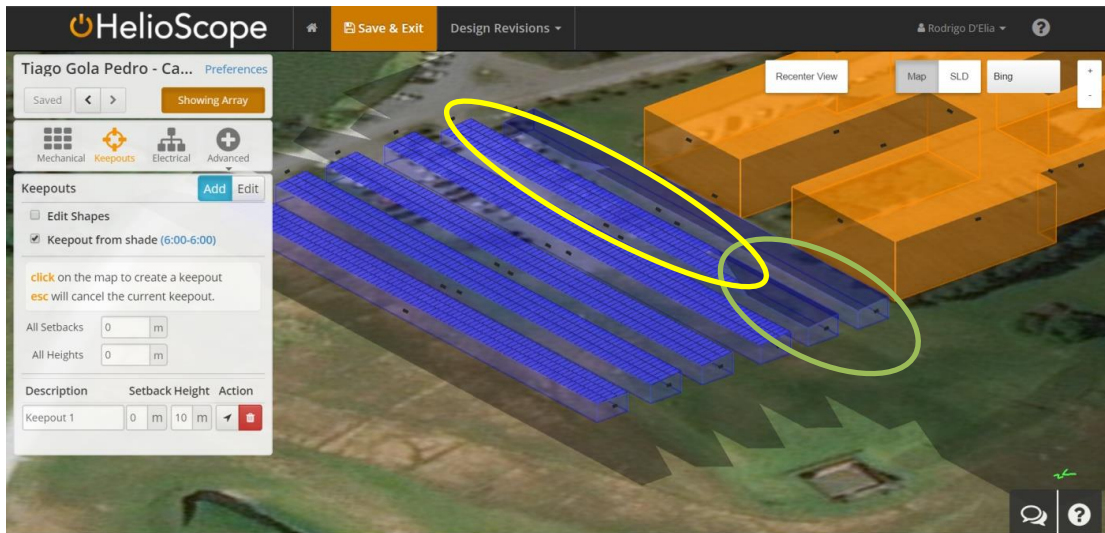
Figura 8 – Trajetória Solar



Fonte: Caderno Temático Energia Solar AES

Visto isso, teremos variações no sombreamento por conta da posição do sol, e a sua variação da sazonalidade, assim houve a necessidade de realizar o estudo de sombreamento do local conforme o exemplo prático na Universidade Mackenzie.

Figura 9 – Estudo sombreamento Verão



Fonte: Autoria Própria

No verão.

25 de dezembro de 2017 – Período 06:00 – 18:00h

Como visto na Figura 9, nessa faixa de período pode-se ver que o sol, as 06:00h estará nascendo ao leste um pouco atrás dos prédios da Universidade, devido ao dia 25 de dezembro, o Sol nascer um pouco mais ao sul com inclinação um pouco menor. Assim tem-se sombra apenas no círculo em verde na imagem.

A partir das 18:00h, ao anoitecer, observa-se uma grande faixa de sombreamento devido à localização das estruturas de estacionamento na ponta oeste sombrear a região leste, em amarelo.

Figura 10 – Estudo sombreamento amanhecer



Fonte: Autoria Própria

25 de dezembro de 2017 – Período 06:00 – 08:00h

Figura 11 – Estudo sombreamento anoitecer



Fonte: Autoria Própria

25 de dezembro de 2017 – Período 17:00 – 18:00h

Na Figura 10, com uma faixa de tempo menor, das 06:00 – 08:00am é possível verificar que o sol está ao leste do sistema, provocando uma grande faixa de sombreamento, circulado em verde. Já na Figura 11, no período das 17:00 – 18:00, ao anoitecer, o sol está ao oeste do sistema, provocando também uma faixa de sombreamento, circulado em amarelo.

No inverno, pode-se ver que as condições de sombreamento são diferentes. Na Figura 7 foi visto que a inclinação do sol influencia diretamente no estudo de sombreamento. Assim nesse novo período, teremos uma inclinação maior ao norte e com o sol nascendo atrás do prédio em forma de H da Universidade Mackenzie.

Figura 12 – Estudo sombreamento Inverno



Fonte: Autoria Própria

No inverno.

25 de junho de 2017 – Período 06:00 – 18:00h

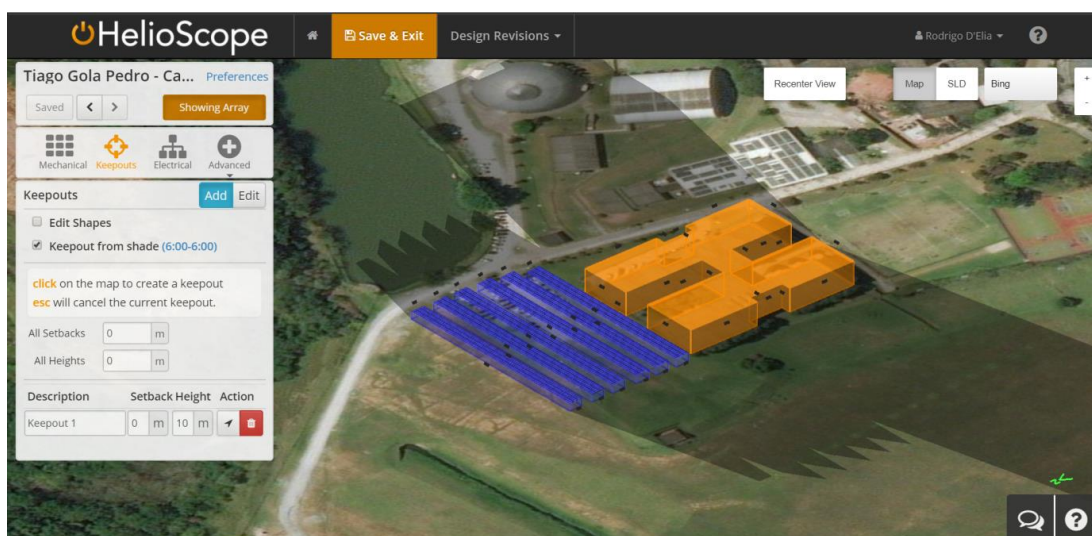
Nessa faixa de período, pode-se ver que o sol, as 06:00h estará nascendo ao leste um pouco a frente dos prédios da Universidade, devido ao dia 25 de junho, o Sol nascer um pouco mais ao norte e a inclinação ser um pouco maior. Assim observa-se o sombreamento apenas nas primeiras fileiras das primeiras estruturas de *carport* durante um período pequeno de tempo, conforme demonstrado pelos retângulos em amarelo.

A partir das 18:00h, ao anoitecer, não haverá sombra nas estruturas por conta da inclinação do sol ser um pouco maior no inverno do que no verão.

Ao longo do ano, não haverá a interferência do sol com relação ao sombreamento, visto que o projeto foi dimensionado para trabalhar com a máxima eficiência, e posição ideal para que não aconteça sombreamento de uma estrutura à outra.

Assim, em períodos intermediários, primavera e outono, a inclinação do sol é menor e a movimentação do sol ao longo do dia é mais linear, ou seja, ao amanhecer e ao anoitecer o sistema não apresenta problemas de sombreamento.

Figura 13 – Estudo sombreamento Outono



Fonte: Autoria Própria

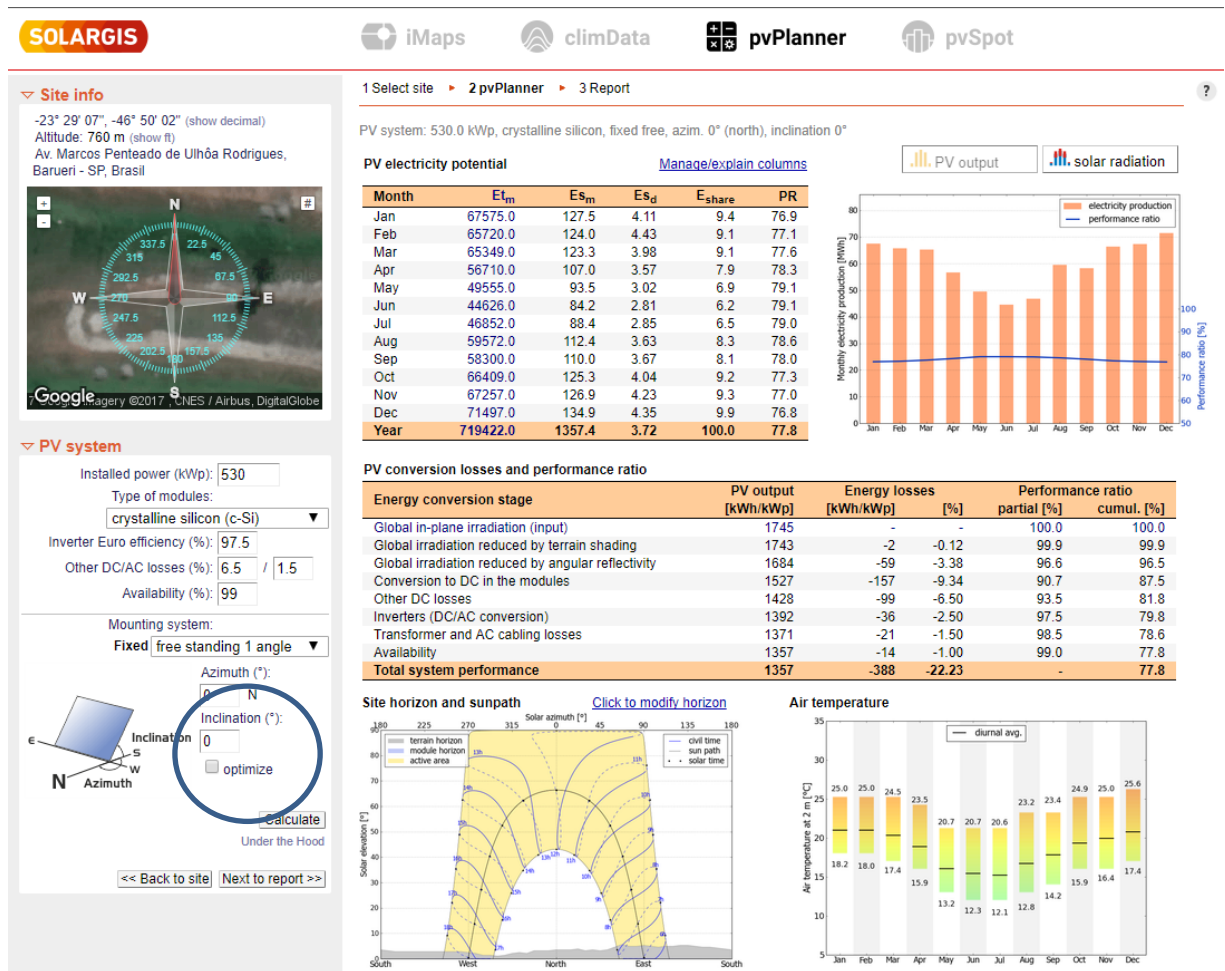
Outono.

19 de abril de 2017 – Período 06:00 – 18:00h

Na Figura 13, um pouco mais distante, como seria a influência do sol e o sombreamento das estruturas e prédios. No outono e primavera, não haverá muitos problemas de sombreamento.

Para continuar com a análise técnica, deve-se escolher a melhor inclinação dos módulos para a captação de energia solar. Para isso, a escolha do melhor ângulo depende de diversos fatores. Utilizando uma estrutura de estacionamento, ou seja, *carport*, a mesma deverá ter no máximo uma inclinação de 10° para que não fique esteticamente mal proporcionado. Porém a melhor inclinação, posicionada para o norte (*azimuth* = 0°), utilizando um sistema fixo, deveria ser em torno de 23,5°, para essa região. Assim foi realizadas simulações com diferentes inclinações angulares dos módulos e diferença de posição de *azimuth* para mostrar essa variação de eficiência. Foi utilizado o software PvPlanner, variando as informações de input circulada em azul na Figura 14 :

Figura 14 – Software PvPlanner – Variação de inclinação do módulo solar



Fonte: Autoria Própria

Já considerando algumas perdas como:

- A. Sombreamento
- B. Inclinação do terreno e dos módulos
- C. Reflexão angular
- D. Conversão DC nos módulos
- E. Transmissão de energia DC
- F. Conversão de energia DC/AC no inversor
- G. Transmissão de energia AC
- H. Transformador

Utilizando a localização geográfica da Universidade Presbiteriana Mackenzie, localizado na latitude e longitude - -23.485487, -46.833926. A inclinação ideal seria em torno de 23,5°. Variando a inclinação de 0° a 50° chegou-se aos seguintes resultados conforme a Tabela 5 - Sensibilidade à inclinação.

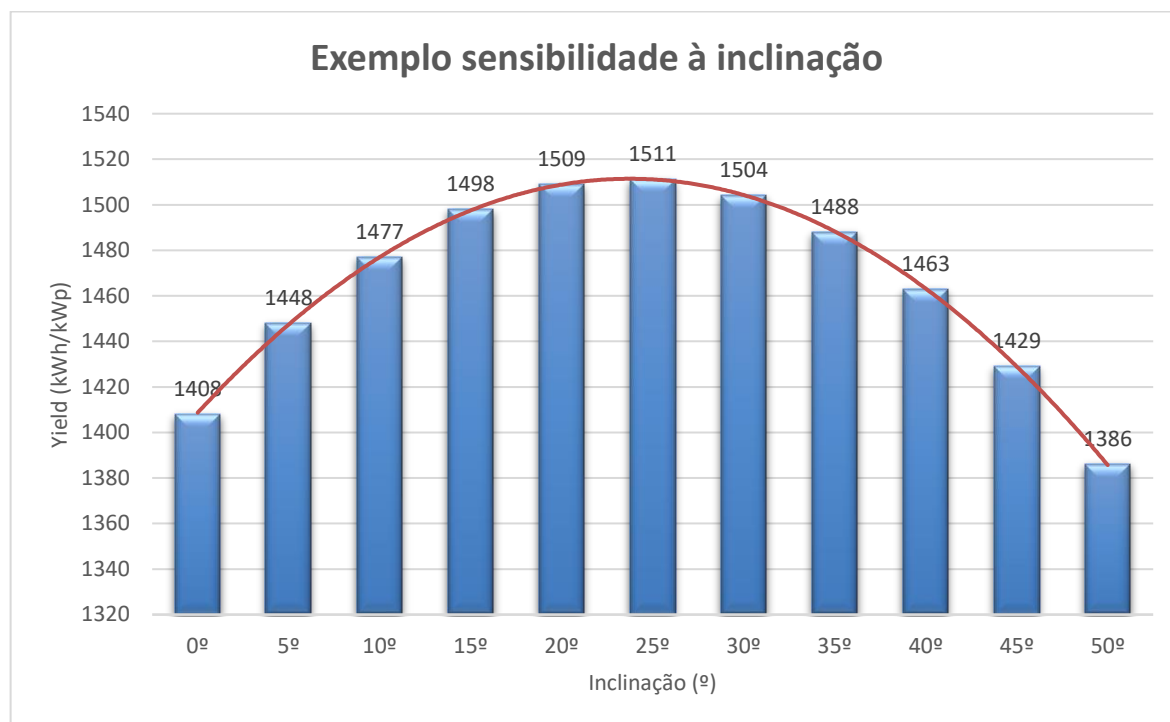
Tabela 5 - Sensibilidade à inclinação

Inclinação (°)	Yield (kWh/kWp)	Diferença
0°	1408	6,82%
5°	1448	4,17%
10°	1477	2,25%
15°	1498	0,86%
20°	1509	0,13%
25°	1511	0,00%
30°	1504	0,46%
35°	1488	1,52%
40°	1463	3,18%
45°	1429	5,43%
50°	1386	8,27%

Fonte: Autoria Própria

Verifica-se que a melhor inclinação está entre 20° e 25° para resultar em um coeficiente *Yield* mais eficiência possível. O *Yield*(Energia Específica), tem a unidade de (kWh/kWp) ou seja, refere-se diretamente ao total máximo de energia produzido dividido pela potência instalada. Utilizando o Gráfico 1 – Sensibilidade à inclinação, observa-se visualmente como a eficiência do sistema pode impactar se utilizado o ângulo de inclinação incorreto para o local.

Gráfico 1 – Sensibilidade à inclinação



Fonte: Autoria Própria

Foi calculado, além do teste de inclinação do módulo solar, a disposição do mesmo em relação ao norte – azimuth=0°.

Utilizando o melhor ângulo de inclinação dos módulos de 23,5° e variando a disposição de 0° - Norte até 180° - Sul, chega-se aos seguintes resultados, na Tabela 6 - Sensibilidade à orientação:

Tabela 6 - Sensibilidade à orientação

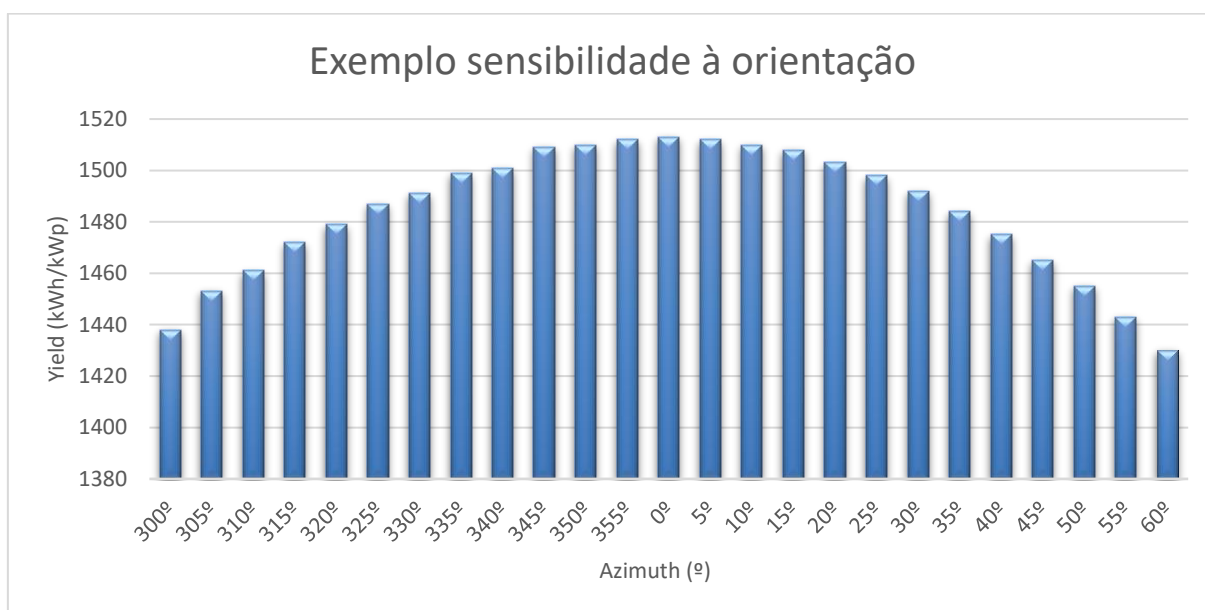
Azimuth (°)	Yield (kWh/kWp)	Diferença
300°	1438	4,96%
305°	1453	3,97%
310°	1461	3,44%
315°	1472	2,71%
320°	1479	2,25%
325°	1487	1,72%
330°	1491	1,45%
335°	1499	0,93%
340°	1501	0,79%
345°	1509	0,26%
350°	1510	0,20%
355°	1512	0,07%

0°	1513	0,00%
5°	1512	0,07%
10°	1510	0,20%
15°	1508	0,33%
20°	1503	0,66%
25°	1498	0,99%
30°	1492	1,39%
35°	1484	1,92%
40°	1475	2,51%
45°	1465	3,17%
50°	1455	3,83%
55°	1443	4,63%
60°	1430	5,49%

Fonte: Autoria Própria

Novamente utilizando um gráfico, observa-se visualmente, no Gráfico 2 – Sensibilidade à orientação como a eficiência do sistema pode impactar se utilizado a orientação do sistema incorreta.

Gráfico 2 – Sensibilidade à orientação



Fonte: Autoria Própria

Após o estudo anterior, que mostra o melhor grau de inclinação para a instalação dos módulos no local, no caso 23,5°, para o caso estudado foi necessário a utilização da inclinação de apenas 10°. A estrutura de *carport* utiliza essa inclinação máxima para ajudar na limpeza dos módulos em períodos com chuva, além de ser a inclinação ideal para ficar esteticamente viável a estrutura com relação a geração.

Existem diversos tipos de estruturas para a cobertura de estacionamento, visto isso, iremos utilizar-se-á uma estrutura base conforme a Figura 15:

Figura 15 – Carport estacionamento parque Vila Lobos



Fonte: Google Imagens

Nota-se que a maioria das estruturas de *carport* trabalham com dois carros por estrutura, assim para o projeto foi limitado o tipo de estrutura com 15 painéis solares por estrutura, colocados na vertical, conforme a Figura 16.

Figura 16 – Estrutura Carport para 15 módulos



Fonte: Autoria Própria

É importante verificar o tipo de estrutura que será utilizado para vincular ao modelo ideal de painel solar. Neste caso utilizar-se-á um modelo de 72 células polycristalino de 320 - 335w de potência. Esses modelos possuem uma dimensão média de largura, altura e espessura iguais a 1956×992×40mm, respectivamente.

Foi avaliado no estudo que diversos fornecedores possuem curvas de eficiências melhores e garantia de fornecimento de energia com pouca queda de rendimento ao longo de 20 anos. Visto isso, foi utilizado equipamentos de marcas Tier 1 no mercado de energia solar, para o estudo.

Estabeleceu-se uma empresa de módulos solares como Tier 1 no mercado dependendo da capacidade de fabricação, medidas em MW/ano, além de outros dados técnicos como a eficiência da placa solar e principalmente certificados que garantem a qualidade do produto e a utilização mundialmente.

Na Tabela 7 pode-se ver quais são as empresas Tier 1 listadas pela empresa Bloomberg L.P. Uma empresa de tecnologia e dados para o mercado financeiro e agência de notícias operacional em todo o mundo com sede em Nova York.

Tabela 7 – Lista equipamentos Tier 1

5. TIER 1 MODULE MAKER LIST, Q4 2016

Company/ brand	In-house module capacity (MW/year)
Jinko Solar	6,500
GCL	6,000
Trina	6,000
JA Solar	5,500
Canadian Solar	5,000
Hanwha Q Cells	4,800
First Solar	3,200
Risen Energy	3,100
Talesun	2,800
Suntech/ Shunfeng	2,400
Seraphim	2,100
Chint/ Astronergy	2,000
Hareon	2,000
SunPower	1,800
ZNSHine	1,600
SolarWorld	1,500
Renesola	1,500
China Sunergy	1,450
REC Solar	1,300
HT-SAAE	1,200
LG	1,100
Solar Frontier	1,050
Phono Solar*	1,000
ET Solar	1,000
BYD	1,000
Hyundai Heavy	600
S-Energy	530
Waaree	500
Tata	500
AU Optronics	435
Aleo Solar	250
Anjitek	170
Winaico	150
Total	70,035

Fonte: Google Imagens

Foi escolhido painéis fotovoltaicos da empresa Jinko Solar para realizar o estudo. O modelo foi o JKM320PP-72-V, o qual já opera para a faixa de tensão de 1500V, mas como ainda é uma tecnologia recente, iremos trabalhar com o modelo de faixa de tensão de 1000V.

No Anexo 2, apresenta-se o datasheet do módulo solar. Pode-se ver as especificações técnicas mais importantes para o projeto. O módulo escolhido possui as certificações para operar no Brasil e no Mundo, assim como várias informações técnicas como: a curva de eficiência, potência e tensão de operação, entre outros dados, evidenciados na Tabela 8.

O inversor escolhido para o estudo também está entre os melhores do mercado, com as melhores curvas de eficiência, garantido assim a melhor performance para o estudo, o inversor da marca Ingeteam, modelo INGECON SUN 100TL - PRO. No Anexo 4, pode-se ver o datasheet do equipamento, além das informações técnicas mais importantes na Tabela 9.

Tabela 8 – Dados técnicos módulo solar

Modelo	JKM320PP-72-V
Potência máxima (Pmax)	320Wp
Tensão máxima (Vmp)	37.4V
Corrente máxima (Imp)	8.56A
Tensão de curto-circuito (Voc)	46.4V
Corrente de curto-circuito (Isc)	9.05A
Eficiência do módulo STC (%)	16,49%
Tipo de Célula	Poly-crystalline 156×156mm
Quantidade de Células	72 Células
Dimensões	1956×992×40mm
Peso	26.5 kg

Tabela 9 – Dados técnicos inversor

Modelo	INGECON SUN 100TL - PRO
Potência máxima (Pmax)	100kW
Tensão máxima dc (Vmax)	1100Vdc
Range tensão de operação (Vac)	360 - 440V
Quantidade de MPPT	1
Corrente de curto-circuito (Isc)	240A
Corrente de operação (Idcmax)	185A
Frequência de Operação	50 / 60 Hz
Eficiência Máxima	98,8%
Dimensões	720 mm x 905 mm x 315 mm
Peso	75Kg
Fusível de proteção	250A / 1500V

Com os dados anteriores é possível determinar quantos módulos por *strings* serão utilizados no estudo do projeto. Os programas usados, como o Helioscope e o Pvsyst já possuem essa ferramenta no sistema que determina automaticamente a quantidade ideal de módulos por *strings*. O cálculo é feito pela Equação 1:

Equação 1 – Cálculo para determinar a quantidade de módulos por *string*

$$Q_{max} = \frac{V_{dcmaxinversor}}{V_{ideal}} = \frac{1000}{50} = 20 \text{ módulos por string}$$

Videal é calculado através da temperatura mínima de operação do sistema nas melhores condições, ou seja, quando temos um dia com muita irradiação solar e temperatura baixa, fazendo com que a temperatura de operação do modulo seja menor e a sua curva de operação ideal.

Para o estudo, foram considerados *strings* com 18 e 19 módulos em série para facilitar as interconexões com os inversores, além de adequar a quantidade de inversores com as estruturas de *carport* e a utilização de menos *string box*.

No *software* Helioscope conseguimos modelar e limitar a quantidade de módulos por *string* utilizando a seguinte ferramenta, conforme a Figura 17.

Figura 17 – Modelagem quantidade de módulos por *string*

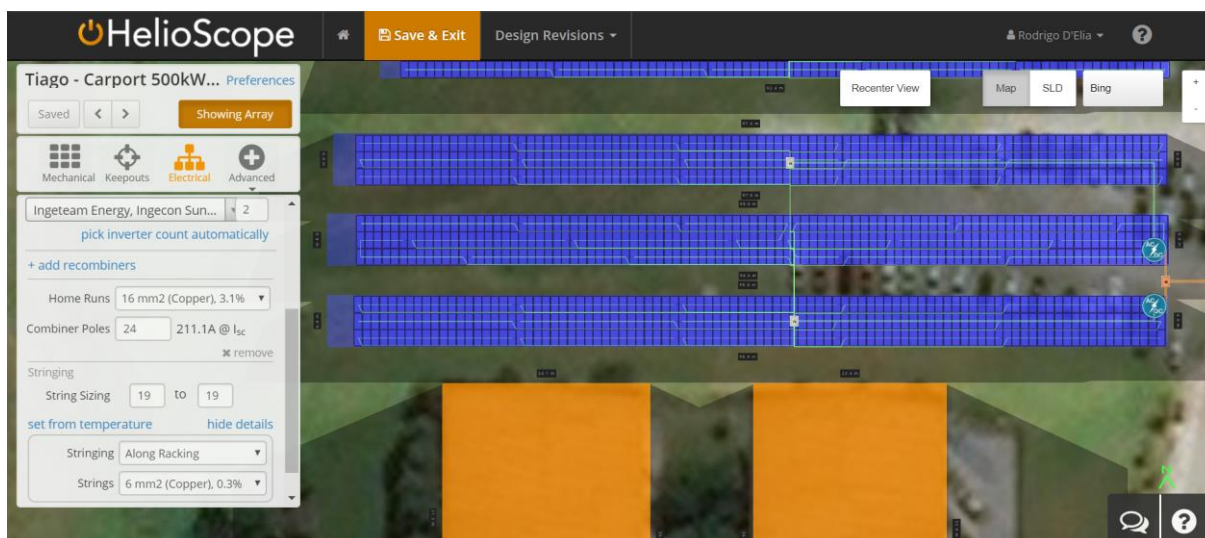


Fonte: Autoria Própria

Foi utilizada a ferramenta do software Helioscope que possibilita dividir o sistema elétrico para melhor adaptação ao terreno. O terreno contempla dois platôs em alturas diferentes, desta forma o ideal foi padronizar três estruturas de *carport* colocadas na parte mais próxima do prédio, nomeada como *Wiring zone 2*, no platô de cima. Nesta parte foi limitado a

quantidade de módulos por *string* em 19 módulos em série, interligados em *string box*, identificados pelos quadrados em branco na imagem e os mesmos são interligados diretamente nos inversores, como mostra a Figura 18:

Figura 18 – Ligação módulos – *string box*



Fonte: Autoria Própria

Indicado como *wiring zone 2*, temos um total de 19 módulos por *string* em série, além de um total de 45 *strings* em paralelo para interligar em cada um dos dois inversores, identificados pelo círculo em azul. O software traz os seguintes resultados de corrente e tensão de operação, mostrados na Tabela 10 – *Wiring Zone 2*

Tabela 10 – *Wiring Zone 2*

Wiring zone 2	Plato de baixo do estacionamento
Quantidade de módulos em série	19 módulos
Quantidade de strings em paralelo Inversor 1	22 strings
Potência Nominal	134kWp
Tensão correspondente a potência máxima	643Vmpp
Corrente correspondente a potência máxima	189A
Quantidade de strings em paralelo Inversor 2	23 strings
Potência Nominal	132kWp
Tensão correspondente a potência máxima	643Vmpp
Corrente correspondente a potência máxima	198A
Quantidade total de strings	45 strings
Quantidade total de módulos WZ 1	855

Fonte: Autoria Própria

Para o segundo platô, referenciado como *Wiring Zone 1*, tem-se os seguintes dados pela Tabela 11 – *Wiring Zone 1*

Tabela 11 – *Wiring Zone 1*

Wiring zone 1	Plato de baixo do estacionamento
Quantidade de módulos em série	18 módulos
Quantidade de strings em paralelo Inversor 1	22 strings
Potência Nominal	127kWp
Tensão correspondente a potência máxima	609Vmpp
Corrente correspondente a potência máxima	189A
Quantidade de strings em paralelo Inversor 2	23 strings
Potência Nominal	132kWp
Tensão correspondente a potência máxima	609Vmpp
Corrente correspondente a potência máxima	198A
Quantidade total de strings	45 strings
Quantidade total de módulos WZ 1	810

Fonte: Autoria Própria

Ainda utilizando a Figura 18 – Ligação módulos – *string box*, podemos ver os dois inversores do platô de cima do estacionamento interligando em uma *string box ac*, que deverá ser interconectada no transformador existente no local.

Assim, com os dois inversores conectados ao transformador existente no local, haverá a quantidade total de módulos por *wiring zone* conforme a Fórmula 2:

Fórmula 2 – Quantidade total de módulos

$$\begin{aligned} \text{Quantidade total de modulos} &= \text{Wiring zone 1} + \text{Wiring zone 2} = 1665 \\ \text{Wiring zone 1} &= 18 \text{ modulos por string em serie} * 45 \text{ string em paralelo} = 810 \\ \text{Wiring zone 2} &= 19 \text{ modulos por string em serie} * 45 \text{ string em paralelo} = 855 \end{aligned}$$

O software Helioscope é um programa com ferramentas visuais e simples de trabalhar. Por isso o estudo do projeto foi modelado utilizando este software e a partir dos dados coletados no relatório final, conforme o Anexo 5, utilizou-se outro software, o Pvsyst para simular novamente todo o projeto e comparar os resultados.

Pelo relatório final do software Helioscope, conforme o Anexo 5, retiram-se todas as informações necessárias para o estudo preliminar do projeto.

Tais como:

- A. Potência total dc/ac
- B. Produção anual de energia medida em MWh/ano
- C. Performance total do projeto

- D. Yield medido em kWh/kWp
- E. Gráfico e tabela de perdas de energia do sistema
- F. Gráfico e tabela com a produção mensal de energia
- G. Tabela com as condições utilizadas na simulação
- H. Tabela com a quantidade total de equipamentos
- I. Tabela com a metragem aproximada de cabos

Além dos dados mostrados anteriormente é possível ainda trabalhar com o estudo de sombreamento do projeto, já mostrado anteriormente.

Para finalizar o software ainda trabalha com uma visão prévia do diagrama unifilar do sistema elétrico dos módulos até a rede. Já adaptado o sistema ficaria basicamente conforme o Anexo 6:

Ao começar o novo estudo pelo software Pvsyst, foi verificado que a base de dados que o programa utiliza para efetuar os cálculos é diferente do programa HelioScope. Assim, diferentes bases de dados apresentam irradiações solares com muita variação tornando o resultado final de cada software diferente.

Levando em consideração esses fatos foi necessário a criação da Tabela 12 que mostra a média entre diferentes bases de dados:

Tabela 12 – Base de dados irradiação solar

Base de Dados	GHI Diária	GHI Ano	Irradiância Inclinada	Yield
Meteonorm	3,97	1449,1	1521,50	1217,2
INPE - High Resolution	4,86	1774,6	1863,36	1490,7
INPE 2ed	4,76	1738,5	1825,42	1460,3
NASA	4,64	1693,6	1778,28	1422,6
NREL - 1	4,52	1651,3	1733,82	1387,1
NREL - 2	4,98	1817,7	1908,59	1526,9
CRESESB	3,96	1445,4	1517,67	1214,1
Média	4,53	1652,88	1735,52	1388,4
Desvio Padrão	0,41	150,32	157,83	126,3

Fonte: Autoria Própria

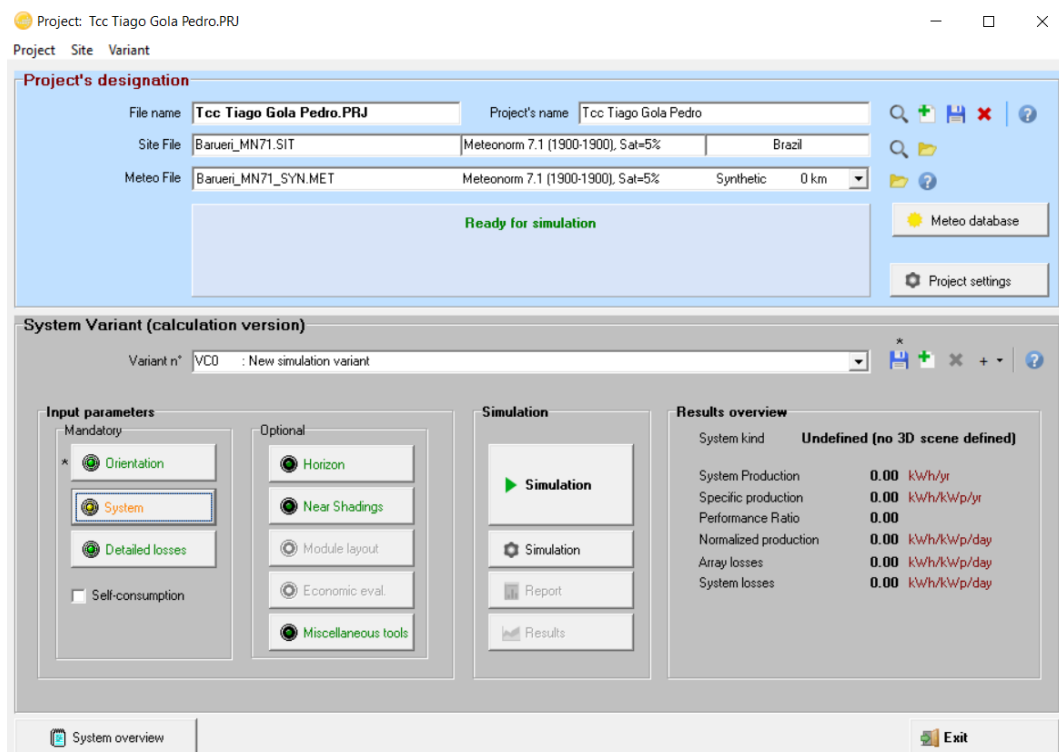
Realizados os cálculos utilizando 7 bases de dados de irradiação solar diferentes conseguimos extrair um valor padrão para os dois softwares e assim chegar a um resultado final mais coerente.

Utilizando o software Pvsyst, foi efetuado todo o processo novamente, utilizando as mesmas premissas de equipamentos, sistema e modulação técnica.

Na primeira página do software, observou-se que foi necessário estabelecer as configurações da região, ou seja, foi necessário configurar os *inputs* de dados do mesmo modo que fizemos no programa HelioScope.

Na Figura 19, pode-se ver a primeira parte da configuração do projeto onde selecionamos o local que deverá ser realizado o projeto, foi selecionado a base de dados correta, para o nosso caso adaptada para o valor que foi informado na Tabela 12.

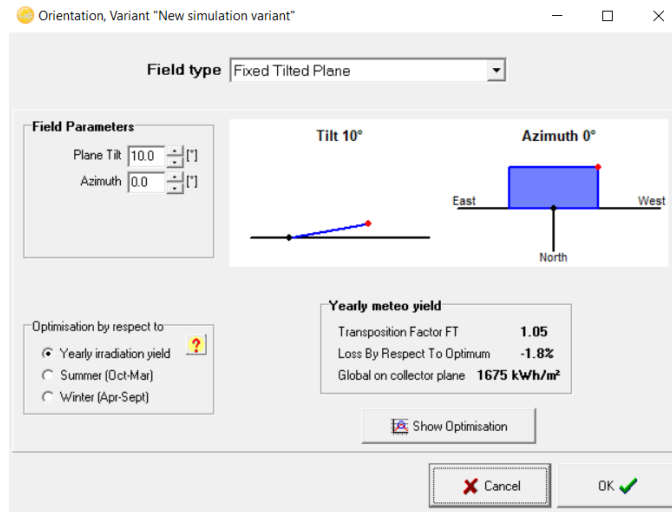
Figura 19 – Configuração do local e base de dados



Fonte: Autoria Própria

Após a configuração anterior, realiza-se a orientação do sistema, assim como a posição e inclinação dos módulos. Na Figura 20, foram configurados esses dados para a inclinação ideal do *carport* de 10° e posição de *azimuth* de 0° Norte.

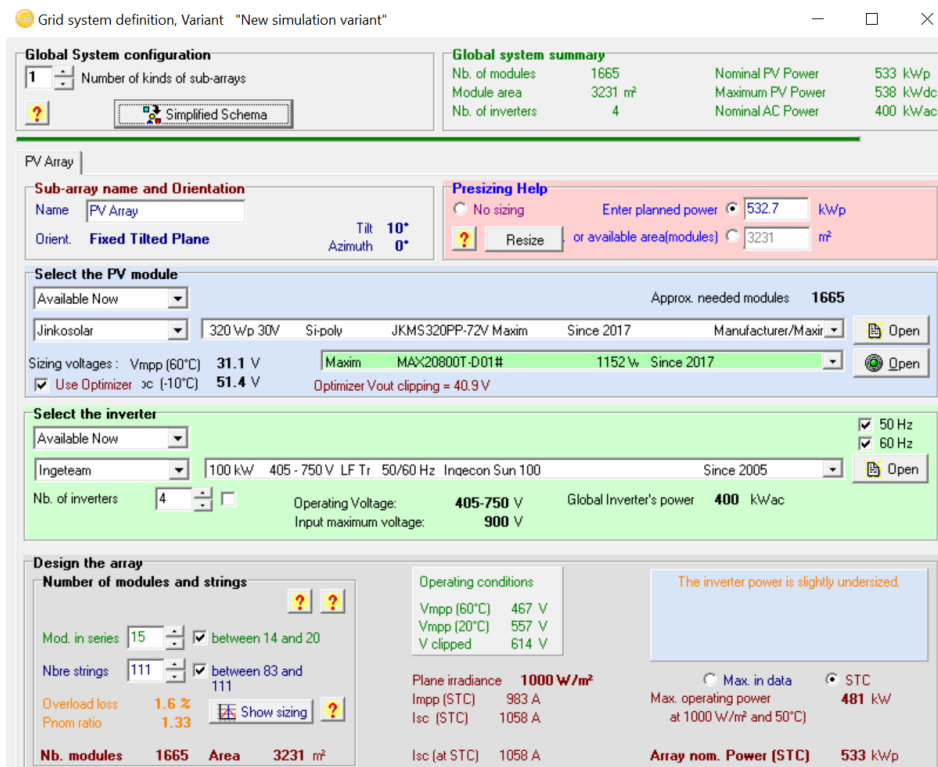
Figura 20 - Orientação do módulos solar



Fonte: Aatoria Própria

Configurado a disposição dos módulos, a próxima etapa é configurar o sistema por completo, como a escolha do módulo e inversor e a quantidade de ambos. Na Figura 21, foi utilizando a mesma quantidade de módulos e inversores utilizados no software HelioScope para padronizar o projeto.

Figura 21 – Configuração do sistema



Fonte: Aatoria Própria

Na primeira parte da configuração, selecionamos o módulo do fabricante Jinko solar, modelo de 320W de potência. Limita-se a potência total do projeto em 532,7kWp para agregar aproximadamente 1665 módulos no total. Na segunda parte selecionamos os inversores da marca Ingeteam, modelo de 100kW de potência, utilizando o total de 4 inversores e finalizamos essa parte da configuração do sistema.

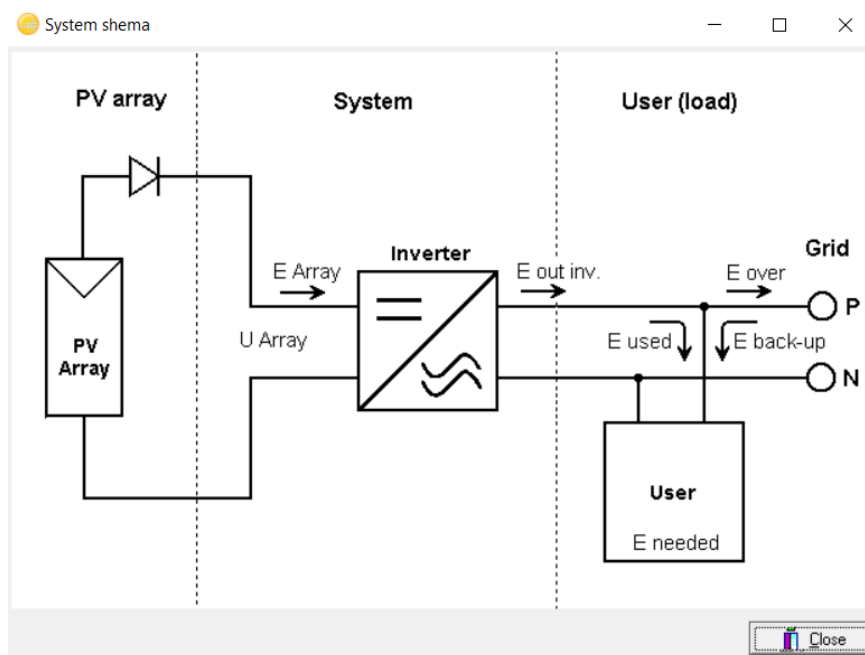
A quantidade de módulos e inversores é a mesma utilizada no software Helioscope, assim como a mesma proporção de aproximadamente 30% a mais de potência dc/ac. O programa Pvsyst alerta que a potência do inversor está um pouco abaixo e o mesmo permite que seja feita essa configuração. Em contato com o fornecedor, a Ingeteam, também foi averiguado que o inversor trabalha com até 45% de potência a mais do que a potência estimada no datasheet de 50kW.

Conclui-se utilizar 18 e 19 módulos em série e 90 strings em paralelo igual ao software anterior.

No Pvsyst observa-se com mais detalhes os diferentes valores de tensão e corrente como Tensão máxima de 51,4V no melhor sistema possível. E a corrente de curto de 1058A. Além da potência máxima de operação de 481kW.

O Pvsyst também possui, em uma de suas aplicações, o modelo básico de como ficara o sistema fotovoltaico, conforme a Figura 22.

Figura 22 – Diagrama básico do sistema

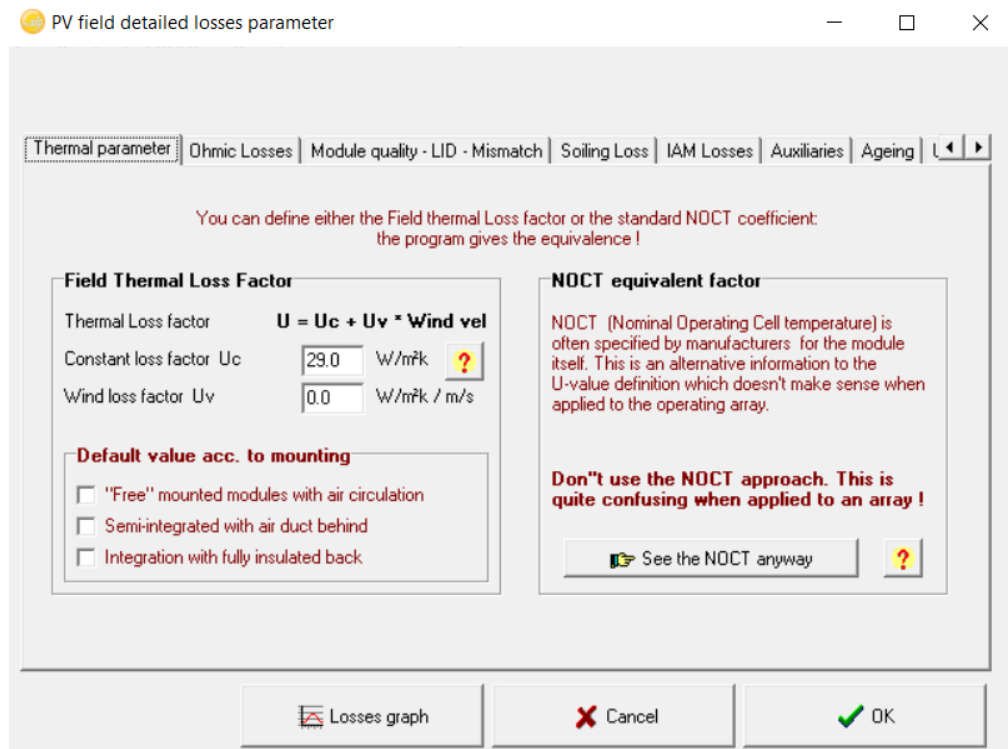


Fonte: Autoria Própria

Com os dimensionamentos realizados, busca-se entrar em outra parte da aplicação do software para estabelecer os critérios de perdas.

Tem-se desde os critérios de perdas ôhmica dos cabos até a qualidade dos módulos, sujeira e outros, conforme a Figura 23 – Tela perdas do sistema.

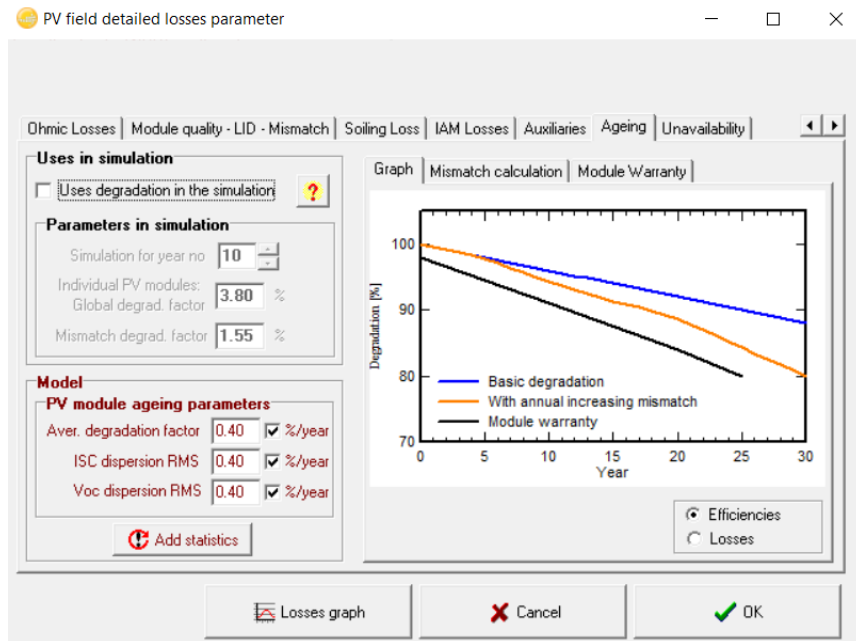
Figura 23 – Tela perdas do sistema



Fonte: Autoria Própria

Outro parâmetro interessante que temos no software Pvsyst é a perda de eficiência dos módulos ao decorrer dos anos, conforme a Figura 24 podemos ver qual será a perda de eficiência do módulo solar nos próximos 30 anos.

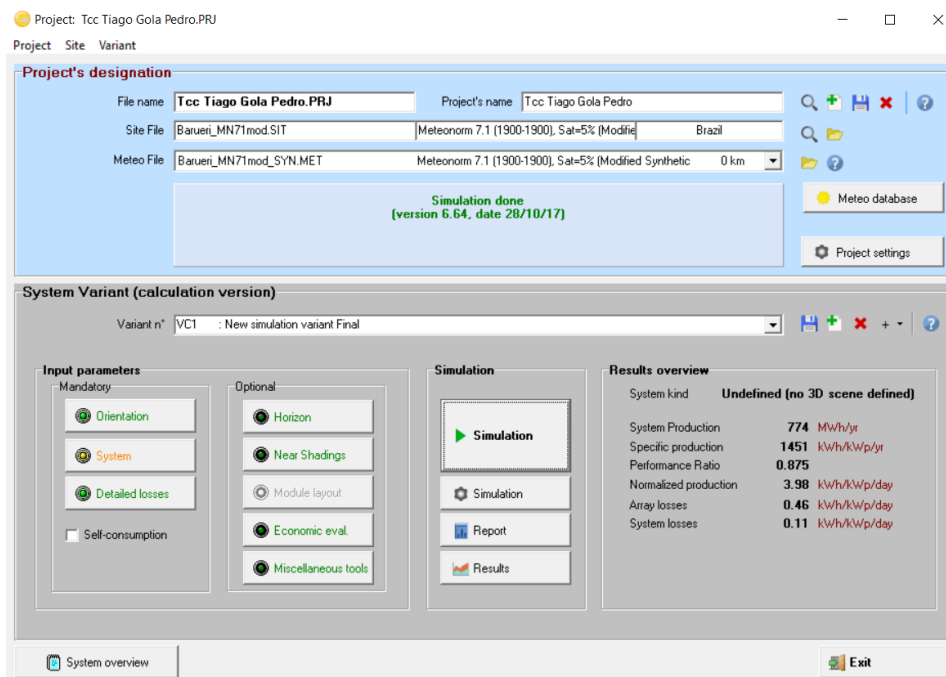
Figura 24 – Perdas por longevidade



Fonte: Autoria Própria

Após todos os dados informados no software e acertados todos os parâmetros simula-se mais uma vez o projeto para extrair o relatório final e comparar os relatórios de ambos os softwares, na Figura 25 pode-se ver a simulação final do projeto.

Figura 25 – Simulação final PvSys



Fonte: Autoria Própria

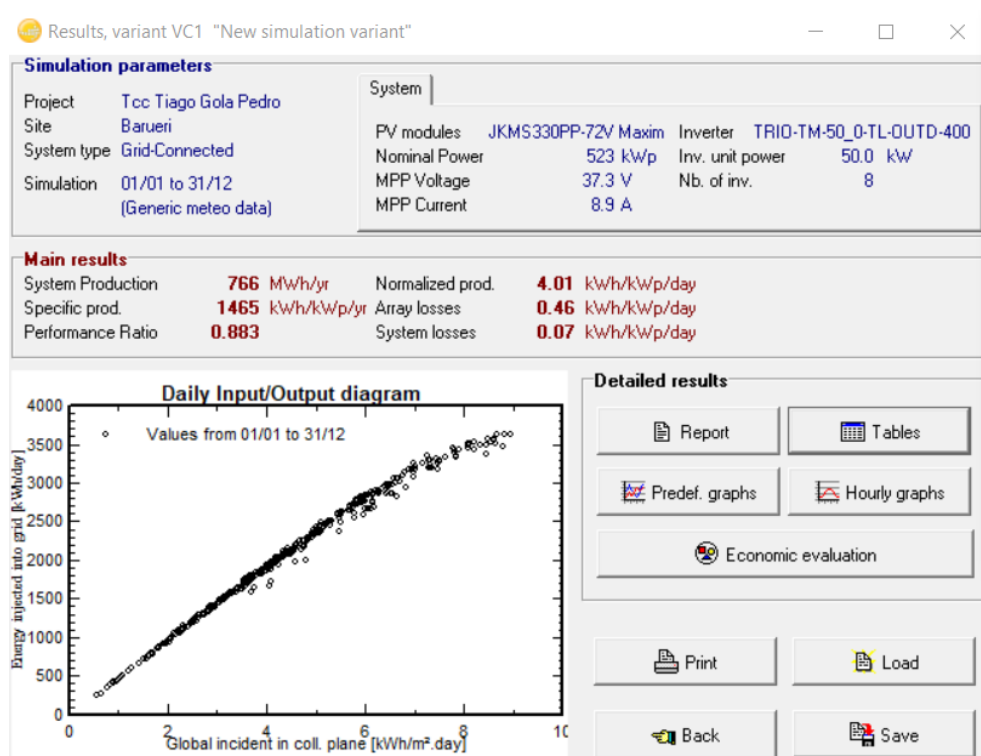
Portanto, tem-se uma geração anual de 774MWh/ano com uma produção específica, *yield*, de 1451kWh/kWp.

Basicamente houve os mesmos resultados nas duas simulações. Poderia ser refeito, e alterando algum parâmetro para se chegar aos mesmos números. Mas como houve a utilização dois softwares diferentes, é compreensível que se tenha aconteça uma defasagem mínima de valores.

Após a simulação, pode-se ainda extrair uma série de dados, tabelas ou gráficos que mostram inúmeras informações interessantes. Clicando na aba resultados, como mostra a Figura 26 e Figura 27, pode-se extrair em forma de tabela e gráficos, resultados como:

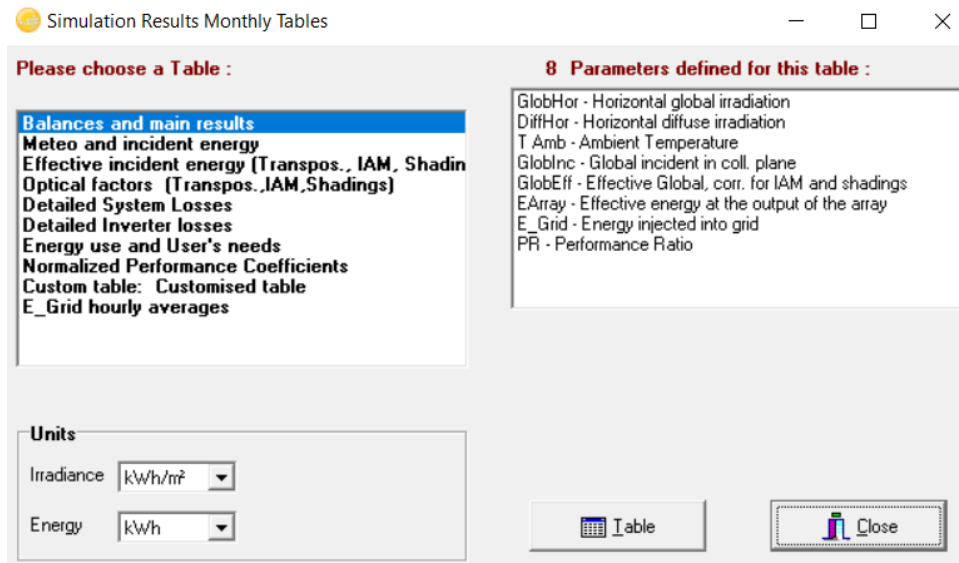
- A. Irradiação global diária, mensal e anual
- B. Temperatura do ambiente
- C. Eficiência global do sistema
- D. A energia efetivamente gerada e injetada na rede ou consumida
- E. Performance do Sistema

Figura 26 – Tela resultados finais



Fonte: Autoria Própria

Figura 27 – Tela para extração de tabelas e gráficos



Fonte: Autoria Própria

Para concluir, o software ainda elabora um relatório com as principais informações necessárias para um projeto executivo, conforme o Anexo 7.

4.4 ESTUDO PRELIMINAR GERAÇÃO DISTRIBUIDA ISEP

Para realizar a comparação de resultados com Portugal, foi feito todo o estudo utilizando as mesmas premissas do projeto para o Brasil. Verificam-se algumas diferenças técnicas que serão abordadas ao longo do estudo.

Foi elaborado primeiramente um estudo dentro das dependências do ISEP, utilizando espaços como os telhados e o próprio estacionamento do campus para a instalação das placas solares. Porém, é necessário seguir com a mesma premissa técnica utilizada no Brasil para comprar os resultados de forma equivalente, desse modo foi escolhido um terreno ao lado do ISEP para a instalação das estruturas de *carport*, conforme a Figura 28, no retângulo em laranja.

Figura 28 – Instituto Superior de Engenharia do Porto - ISEP



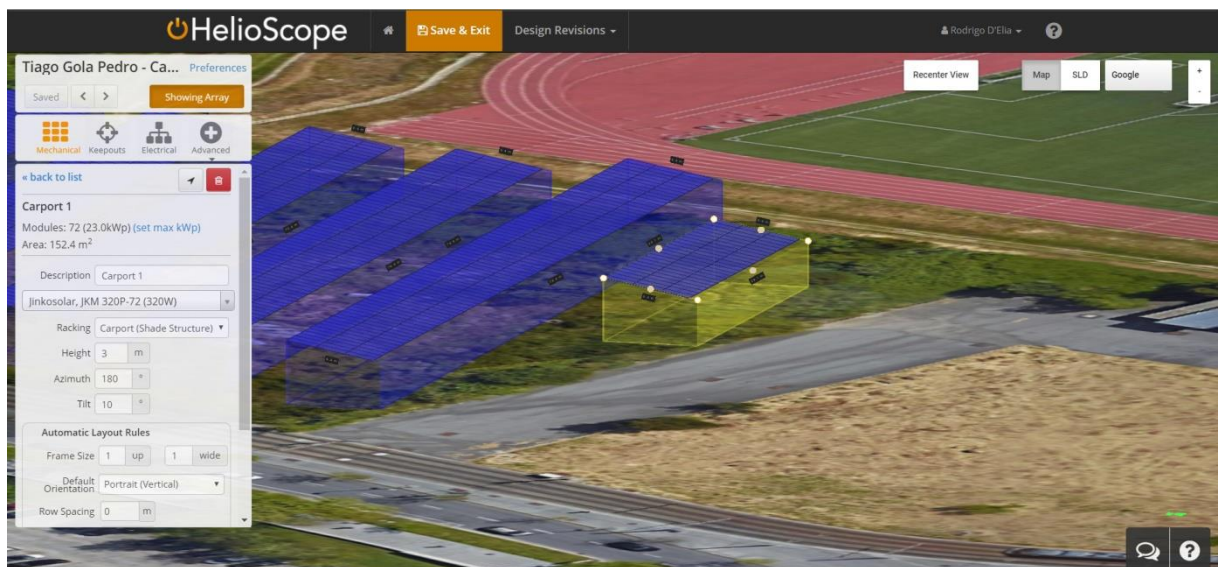
Fonte: Google Earth

Visto a necessidade técnica de comparar os projetos de forma equivalente, foi considerado a possibilidade de utilização desse espaço para a realização do estudo técnico considerando o site como dependência do próprio ISEP.

A primeira parte do estudo preliminar será feito utilizando o software HelioScope e a segunda parte utilizando o software PvSyst para a analogia dos resultados com o Brasil. Como as premissas de equipamentos são as mesmas, podemos considerar os mesmos dados aplicados anteriormente no estudo do Brasil.

Contrário ao Brasil, a disposição da instalação das placas solares será diferente devido à localização geográfica de Portugal. Visto que o ISEP está localizado na região do Porto em Portugal, ao mesmo tempo situado acima da linha do Equador, a disposição dos módulos solares deverá ser para o Sul, posição de azimuth igual a 180°, mostrado na Figura 29

Figura 29 – Posição *carport* ISEP



Fonte: Autoria Própria

Essa diferença impacta diretamente com a captação de energia solar. Com a localização geográfica de 41.177983, -8.607942, o melhor ângulo inclinação para o local seria em torno de 35° para se obter o melhor aproveitamento do sol.

Do mesmo modo, foi traçado a variação de inclinação de 0° a 70° chegou-se aos seguintes resultados conforme a Tabela 13 - Sensibilidade à inclinação.

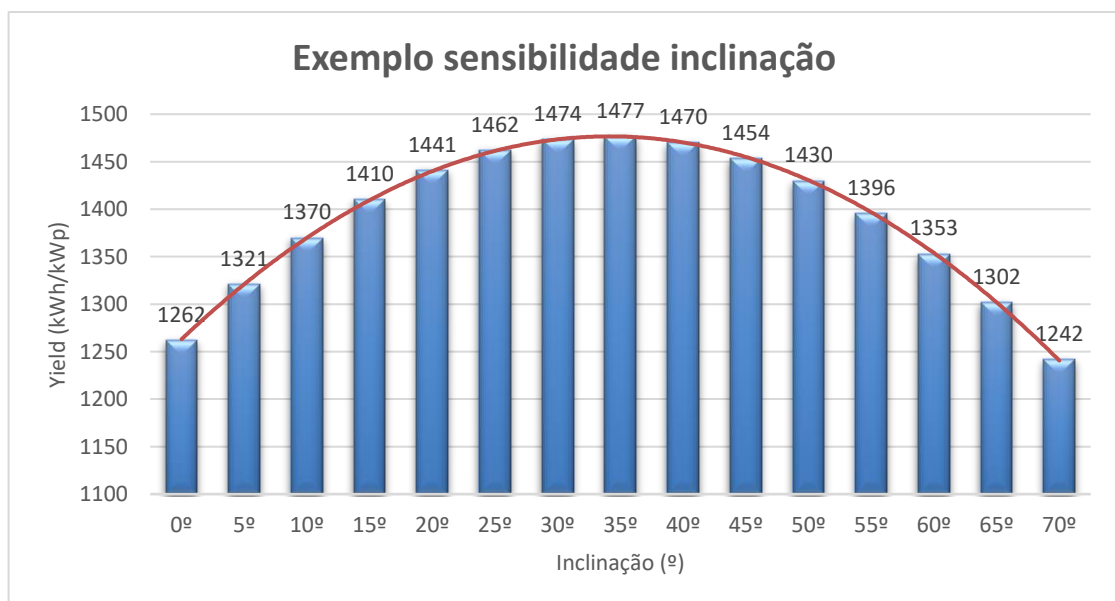
Tabela 13 - Sensibilidade à inclinação

Inclinação (°)	Yield (kWh/kWp)	Diferença
0°	1262	14,56%
5°	1321	10,56%
10°	1370	7,24%
15°	1410	4,54%
20°	1441	2,44%
25°	1462	1,02%
30°	1474	0,20%
35°	1477	0,00%
40°	1470	0,47%
45°	1454	1,56%
50°	1430	3,18%
55°	1396	5,48%
60°	1353	8,40%
65°	1302	11,85%
70°	1242	15,91%

Fonte: Autoria Própria

Verifica-se que a melhor inclinação está entre 30° e 35° para resultar a um coeficiente *Yield* maior possível. O *Yield*, tem a unidade de (kWh/kWp) ou seja, refere-se diretamente ao total máximo de energia produzido dividido pela potência instalada. Utilizando o Gráfico 3 – Sensibilidade à inclinação, observa-se visualmente como a eficiência do sistema pode impactar se utilizado o ângulo de inclinação incorreto para o local.

Gráfico 3 – Sensibilidade à inclinação



Fonte: Autoria Própria

Foi realizado além do teste de inclinação do módulo solar a disposição do mesmo em relação ao norte – azimuth=180°.

Utilizando o melhor ângulo de inclinação dos módulos de 34,5° e variando a disposição de 0° - Norte até 180° - Sul, chega-se aos seguintes resultados, na Tabela 14 - Sensibilidade à orientação:

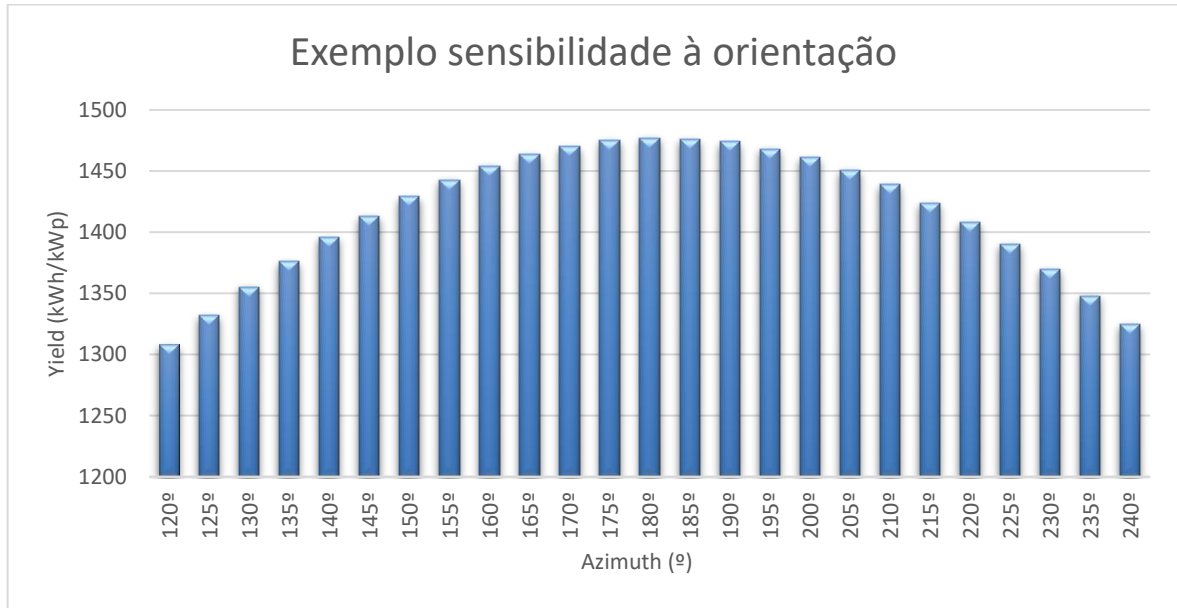
Tabela 14 - Sensibilidade à orientação

Azimuth (º)	Yield (kWh/kWp)	Diferença
120º	1308	11,44%
125º	1332	9,82%
130º	1355	8,26%
135º	1376	6,84%
140º	1396	5,48%
145º	1413	4,33%
150º	1429	3,25%
155º	1443	2,30%
160º	1454	1,56%
165º	1464	0,88%
170º	1470	0,47%
175º	1475	0,14%
180º	1477	0,00%
185º	1476	0,07%
190º	1474	0,20%
195º	1468	0,61%
200º	1461	1,08%
205º	1451	1,76%
210º	1439	2,57%
215º	1424	3,59%
220º	1408	4,67%
225º	1390	5,89%
230º	1370	7,24%
235º	1348	8,73%
240º	1325	10,29%

Fonte: Autoria Própria

Novamente utilizando um gráfico, observa-se visualmente, no Gráfico 4 – Sensibilidade à orientação como a eficiência do sistema pode impactar se utilizado a orientação do sistema incorreta.

Gráfico 4 – Sensibilidade à orientação

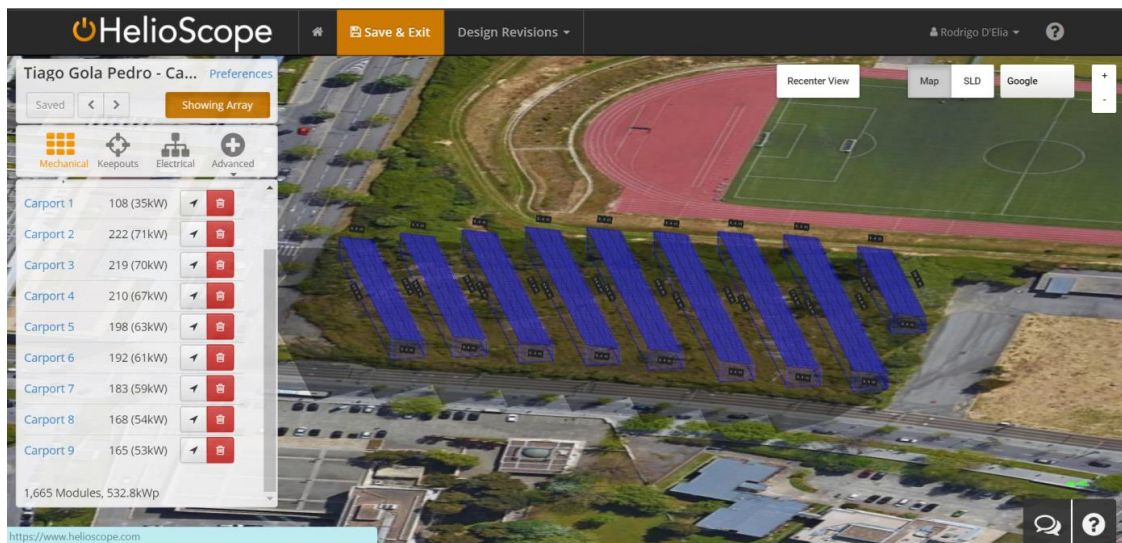


Fonte: Autoria Própria

Após o estudo anterior, que mostra o melhor grau de inclinação para a instalação dos módulos no local, no caso 34,5°, novamente foi necessário a utilização da inclinação de apenas 10° para as estruturas de *carport*.

Basicamente o estudo do projeto ficou com nove estruturas de *carport* interligadas nos 4 inversores e utilizando um total de 1665 módulos. Na Figura 30 pode-se ver como ficou a disposição final das estruturas no terreno.

Figura 30 – Projeto carport ISEP



Fonte: Autoria Própria

No Anexo 8, ilustra-se o relatório final do projeto com todos os dados técnicos importantes para comparar os resultados Brasil e Portugal no próximo capítulo.

Para continuar com o estudo de Portugal, utilizou-se novamente o software PvSyst para comparar os resultados. Do mesmo modo que aplicado anteriormente no Brasil, foi necessário reunir bases de dados de diferentes referências para extrair o melhor resultado. Na Tabela 15 pode-se ver qual a média dos resultados para seguir com mais precisão o estudo do projeto.

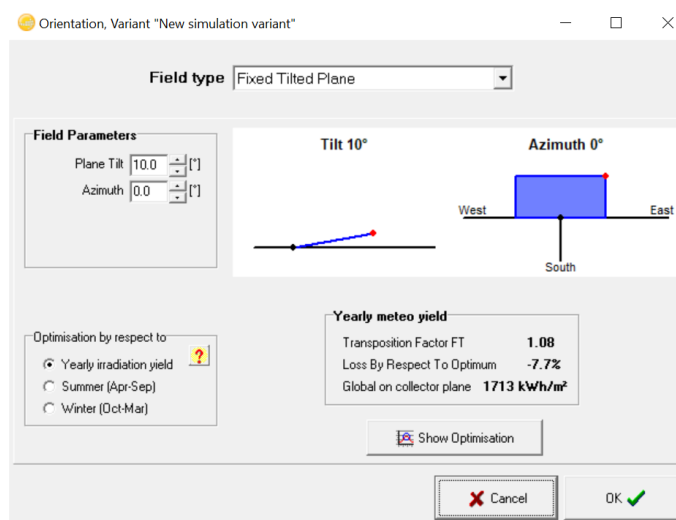
Tabela 15 – Base de dados Irradiação Solar

Base de Dados	GHI Diária	GHI Ano	Irradiância Inclinada	Yield
Meteonorm	3,97	1580,1	1659,11	1327,3
SOLARGIS	4,86	1586,0	1665,30	1332,2
NASA	4,64	1591,9	1671,50	1337,2
NREL – 1	4,52	1590,0	1669,50	1335,6
Média	4,50	1587,00	1666,35	1333,1
Desvio Padrão	0,38	5,22	5,48	4,4

Fonte: Autoria Própria

Efetuada todo o processo de configuração do PvSyst igual feito anteriormente para o projeto do Brasil, notou-se que todo o segmento de localização e escolha do site meteorológico traz resultados mais precisos para Porto. Outra observação é a própria orientação do módulo fotovoltaico. Quando selecionado a região da Europa, no caso, a orientação do sistema já fica orientada automaticamente para o Sul, conforme a Figura 31.

Figura 31 – Orientação do módulo solar



Fonte: Autoria Própria

Utilizou-se a mesma configuração do sistema, totalizando 1665 módulos solares de 320W e quatro inversores de 110kW e para finalizar extraiu-se o relatório final do projeto para realizar a comparação de resultados conforme o Anexo 9 e a Figura 32:

Figura 32 – Simulação final PvSys

The screenshot displays the PvSys software interface for a project named 'ISEP.PRJ'. The 'Project's designation' section includes fields for File name (ISEP.PRJ), Project's name (ISEP), Site File (Porto), Site (MeteoNorm 7.1 station, Portugal), and Meteo File (Porto_MN71_SYN.MET, Meteonorm 7.1 (1991-2010), Synthetic, 6 km). A central message states 'Simulation done (version 6.64, date 30/10/17)'. The 'System Variant (calculation version)' section shows 'Variant n° VCO : New simulation variant'. The 'Input parameters' are divided into 'Mandatory' (Orientation, System, Detailed losses, Self-consumption) and 'Optional' (Horizon, Near Shadings, Module layout, Economic eval., Miscellaneous tools). The 'Simulation' section contains buttons for Simulation, Simulation, Report, and Results. The 'Results overview' section shows the following data:

System kind	Undefined (no 3D scene defined)
System Production	771 MWh/yr
Specific production	1446 kWh/kWp/yr
Performance Ratio	0.851
Normalized production	3.96 kWh/kWp/day
Array losses	0.58 kWh/kWp/day
System losses	0.12 kWh/kWp/day

Buttons for 'System overview' and 'Exit' are visible at the bottom of the interface.

Fonte: Autoria Própria

4.5 ANÁLISE DE RESULTADOS

Após todos esses estudos e análises realizadas, foi possível efetuar uma comparação de resultados e verificar as diferenças de aplicações de projetos nos locais em diferentes continentes.

Para isso, utilizou-se dos últimos relatórios: Anexo 5, Anexo 7, Anexo 8 e Anexo 9 e estabeleceram-se alguns critérios de avaliação.

Avaliaram-se as questões:

- A. Potência Máxima do Sistema (kWp)
- B. Geração Mensal e Anual do Sistema (kWh)
- C. Localização Geográfica
- D. Melhor Posicionamento do Sistema Solar
- E. Perdas do Sistema
- F. Capacidade de Produção – *Yield* (kWh/kWp)
- G. Comparação de Base de Dados

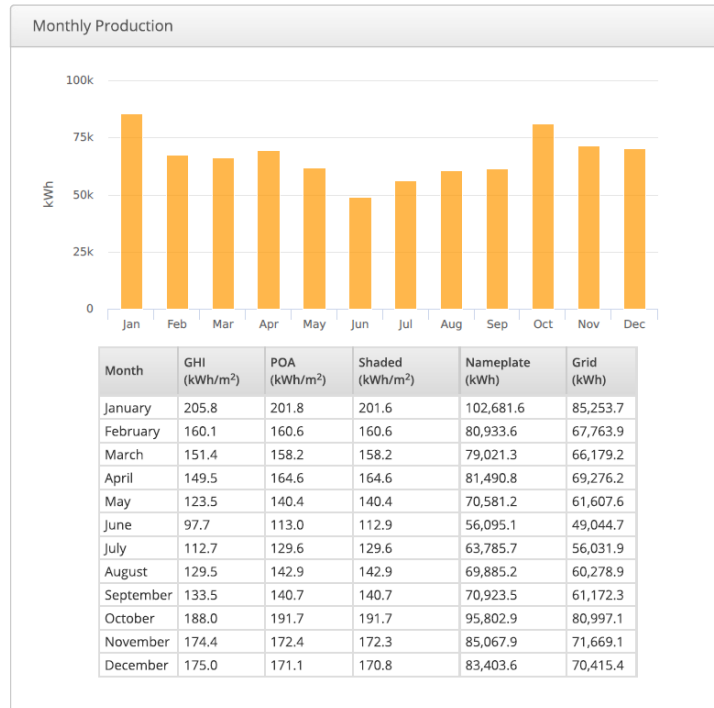
Chegou-se à conclusão que o Brasil é um continente muito favorável à utilização de sistemas fotovoltaicos por questões de localização geográfica, irradiação solar e a possibilidade da descentralização da geração de energia centralizada para o esquema de geração distribuída. Mesmo com a base de dados, Tabela 12, muito defasadas, as informações de GHI (*Global Horizontal Irradiation*) aparentam ser melhores quando comparado com as bases de dados de Portugal, Tabela 15.

Como foi utilizado a mesma quantidade de módulos solares e inversores, para prever a mesma potência máxima, para os dois sistemas, em diferentes continentes, foi possível estabelecer uma linha de comparação e verificar as diferenças de geração mensal, perdas do sistema como um todo, o melhor posicionamento de cada projeto.

Na Figura 33, é visto que a geração de energia anual no Brasil é bastante uniforme, quando comparado com a geração de energia anual em Portugal, mostrado na Figura 34. No verão temos o pico geração de energia em ambos locais, assim como no inverno temos os piores meses de geração.

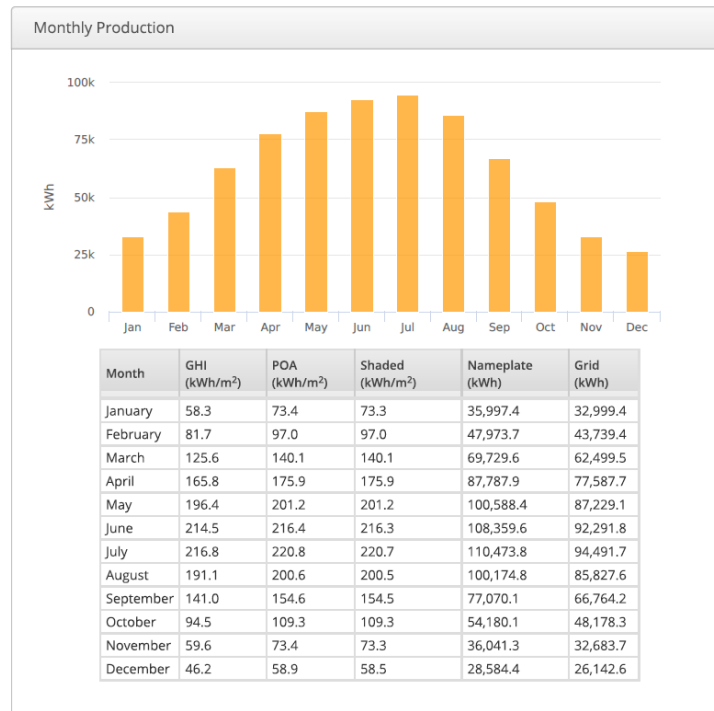
As perdas dos sistemas são muito parecidas, visto que foram utilizadas as mesmas condições de equipamentos e montagem de estruturas e cabeamento para os projetos. Apenas as localizações das estruturas ficaram um pouco diferentes pelas condições do terreno utilizado nos locais.

Figura 33 – Geração anual de energia Mackenzie



Fonte: Autoria Própria

Figura 34 – Geração anual de energia ISEP



Fonte: Autoria Própria

Conforme apresentado a Figura 33 e Figura 34, foram identificados os dados de geração anual de energia em ambos os locais, ficando explícito a discrepância de geração de energia com relação as estações do ano em Portugal, temos em torno de 75% de geração a menos de energia no pior mês do inverno, em Dezembro, com o total de 26MWh quando comparado com o melhor mês do verão, em Julho, com 94,5MWh.

Já no Brasil a geração de energia mais uniforme com uma variação de energia em torno de 30%, quando relacionado o pior mês de geração no inverno, em junho, com a geração de 56MWh e o melhor mês de geração no verão, em Janeiro com o valor de 85MWh.

É interessante notar que no melhor mês de geração em Portugal, no mês de julho, tem-se um total de geração de energia de aproximadamente 94,5MWh, em comparação com o melhor mês de geração no Brasil, em janeiro, a geração máxima foi de 85MWh. Apesar disto, a geração total anual no Brasil é de aproximadamente 800MWh/ano, enquanto em Portugal a geração total anual fica em torno de 750MWh/ano. Ou seja, mais uma vez mostra que a variação de geração de energia no Brasil é mais uniforme quando comparada com Portugal.

Como já foi dito, as bases de dados utilizadas para o Brasil estão com os valores de irradiação solar extremamente defasado e com muita variação. Então é previsto que a geração solar no Brasil seja um pouco maior do que o que foi realmente efetuado nos estudos. Como o projeto no Brasil se trata de um estudo técnico, pratico que está realmente em construção, sendo o mesmo uma parceria entre a Universidade Presbiteriana Mackenzie e a empresa AES Eletropaulo e AES Tietê, pelo projeto do PEE – Plano de Eficiência Energética, esse estudo poderá ser utilizado para comparar os resultados reais, com os resultados obtidos neste trabalho de conclusão de curso após um ano de pleno funcionamento.

O projeto no Brasil teve um investimento de aproximadamente R\$4milhões e um payback em torno de 10 anos. Por ser um projeto em parceria com as empresas citadas, os valores não podem ser mostrados por questões de ética. Mas avaliando de forma genérica os dados e utilizando o Anexo 10 com os valores de demanda, consumo e custo da conta de energia elétrica da Universidade Presbiteriana Mackenzie e o custo do projeto informado anteriormente, chegou-se a Tabela 16 e Gráfico 5 que mostram a curva de retorno financeiro para o projeto.

A Universidade Presbiteriana Mackenzie tem um gasto mensal de energia elétrica na média de R\$68mil. Com a instalação do projeto solar e a troca do sistema de iluminação, a Universidade terá uma economia no consumo de energia elétrica e não terá ultrapassagem de demanda, fatos que ocorreram em dois meses, conforme o Anexo 10. Pode-se ver que o valor total de investimento igual a R\$4milhões no ano 0, ou seja, pagamento à vista do projeto, passa a ter seu retorno de investimento no 10 ano, visto que tem-se

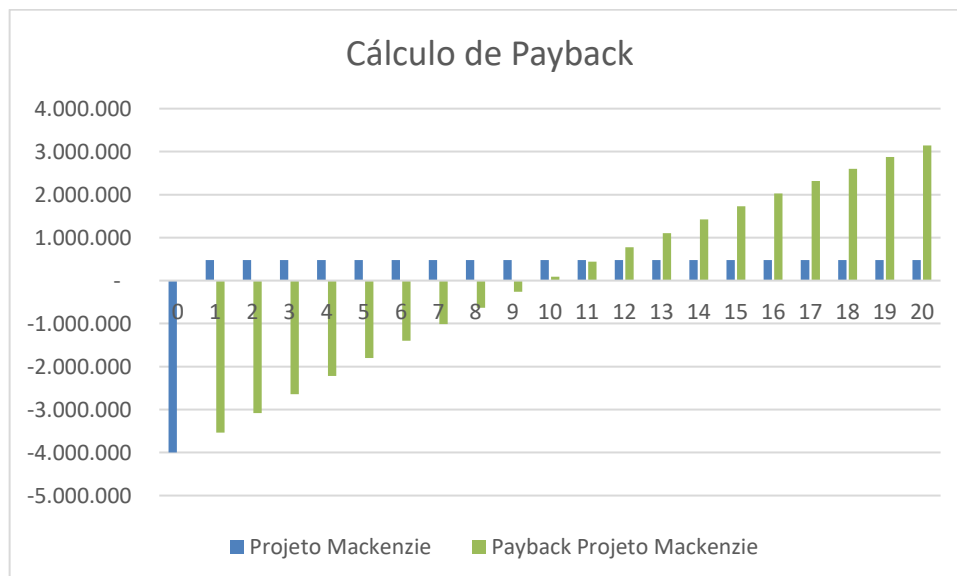
aproximadamente uma econômica anual de R\$480mil referentes à econômica de energia e demanda proveniente do novo sistema de iluminação e a geração de energia da usina solar.

Tabela 16 – Cálculo de Payback

Anos	Projeto Mackenzie		Payback Projeto Mackenzie	
0	-R\$	4.000.000,00		
1	R\$	480.000,00	R\$ 466.019,42	-R\$ 3.533.980,58
2	R\$	480.000,00	R\$ 452.446,04	-R\$ 3.081.534,55
3	R\$	480.000,00	R\$ 439.268,00	-R\$ 2.642.266,55
4	R\$	480.000,00	R\$ 426.473,78	-R\$ 2.215.792,77
5	R\$	480.000,00	R\$ 414.052,22	-R\$ 1.801.740,55
6	R\$	480.000,00	R\$ 401.992,44	-R\$ 1.399.748,11
7	R\$	480.000,00	R\$ 390.283,93	-R\$ 1.009.464,18
8	R\$	480.000,00	R\$ 378.916,43	-R\$ 630.547,75
9	R\$	480.000,00	R\$ 367.880,03	-R\$ 262.667,72
10	R\$	480.000,00	R\$ 357.165,08	R\$ 94.497,36
11	R\$	480.000,00	R\$ 346.762,21	R\$ 441.259,57
12	R\$	480.000,00	R\$ 336.662,34	R\$ 777.921,92
13	R\$	480.000,00	R\$ 326.856,64	R\$ 1.104.778,56
14	R\$	480.000,00	R\$ 317.336,55	R\$ 1.422.115,11
15	R\$	480.000,00	R\$ 308.093,73	R\$ 1.730.208,84
16	R\$	480.000,00	R\$ 299.120,13	R\$ 2.029.328,97
17	R\$	480.000,00	R\$ 290.407,89	R\$ 2.319.736,87
18	R\$	480.000,00	R\$ 281.949,41	R\$ 2.601.686,28
19	R\$	480.000,00	R\$ 273.737,29	R\$ 2.875.423,57
20	R\$	480.000,00	R\$ 265.764,36	R\$ 3.141.187,93

Fonte: Autoria Própria

Gráfico 5 – Cálculo de Payback



Fonte: Autoria Própria

5 CONCLUSÃO

Este trabalho objetivou a possibilidade de realizar um projeto de minigeração fotovoltaico, considerando *retrofit* para atender as necessidades de consumo de energia elétrica em diferentes continentes.

Chegou-se à conclusão que é possível realizar esse projeto com uma potência que atenderia parcialmente ou a totalidade das necessidades desse consumo em ambas as Universidades. Em conjunto com estudos de *retrofit* foi possível diminuir a quantidade de potência total necessária para a adequação do projeto, mostrando a importância de trabalhar em conjunto com um plano de eficiência energética, por conceitos de *retrofit* e geração distribuída.

Entre as maiores dificuldades encontradas no trabalho, pôde-se perceber a discrepância de dados entre as bases de dados nas diferentes localidades, mostrando que no Brasil existe a necessidade de uma medição anual, utilizando uma base solarimétrica, que realizará as medições de irradiação solar diárias em um determinado local, durante o período de 365 dias, a fim de comparar com as bases de dados existentes.

Para finalizar, o estudo teórico de todo o projeto para a Universidade Presbiteriana Mackenzie no Brasil acabou sendo base para o projeto prático que está em andamento, juntamente com a parceria entre o Instituto Presbiteriano Mackenzie e a AES Tietê, empresa responsável pela área de geração de energia do grupo AES Brasil. Todo o estudo teórico aprendido na faculdade pode ser aplicado na prática do dia a dia em uma empresa especializada em geração de energia.











O projeto tem como expectativa de entrada em operação para o mês de fevereiro de 2018.

6 TRABALHOS FUTUROS

O estudo e metodologia do trabalho proposto poderá ser usado em outros trabalhos futuros, designadamente no âmbito da mineração e eficiência energética.

O estudo da viabilidade económica é muito importante para a análise de investimento por parte dos investidores. Assim, o caso de estudo técnico referente à produção fotovoltaica no Instituto Superior de Engenharia do Porto – Portugal, que serviu como ponte de comparação com o caso de estudo do Projeto da Universidade Presbiteriana Mackenzie – Brasil, poderá, como trabalho futuro, ser alvo de uma análise de investimento económico (com valores reais portugueses referentes a custos de materiais, custos de operação e manutenção e receitas), de forma a verificar não só a sua viabilidade de construção mas também efetuar a comparação com o resultado do estudo financeiro da produção fotovoltaico da Universidade Presbiteriana Mackenzie.”

ANEXOS

- Anexo 1 – Sistema atual prédio 1  Estudo Iluminação Mackenzie_v2.xlsx
- Anexo 2 – Planta Universidade Presbiteriana Mackenzie  Planta Mackenzie.dwg
- Anexo 3 – Datasheet módulo solar Jinko.  EN-Eagle 1500V 72.pdf
- Anexo 4 – Datasheet inversor Ingeteam.  ingecon-sun-100tl.pdf
- Anexo 5 – Relatório final HelioScope Mackenzie.  helioscope_simulation_1315096_summary
- Anexo 6 – Diagrama adaptado Mackenzie.  helioscope_966645_sld.dxf
- Anexo 7 – Relatório final PvSyst Mackenzie.  Carport Mackenzie.pdf
- Anexo 8 – Relatório final HelioScope ISEP.  helioscope_simulation_1324004_summary
- Anexo 9 – Relatório final PvSyst ISEP.  Carport ISEP.pdf
- Anexo 10 – Análise das Faturas de Energia Mackenzie e Cálculo de Payback.  Contas e Payback Mackenzie.xlsx

BIBLIOGRAFIA

- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. RESOLUÇÃO NORMATIVA N° 482: Microgeração e Minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica. Brasília, 2012. 12 p.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. RESOLUÇÃO NORMATIVA N° 687: Procedimentos de Distribuição – PRODIST. Brasília, 2015.
- ALBUQUERQUE, Fabio Lima de; MORAES, Adélio José de; GUIMARÃES, Geraldo Caixeta. Sistema Solar Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica: Operando como Gerador de Potência Ativa e Compensador de Potência Reativa. In: CONFERÊNCIA DE ESTUDOS EM ENERGIA ELÉTRICA, 8., 2009, Uberlândia - Minas Gerais. Artigo. Uberlândia - Minas Gerais: Universidade Federal de Uberlândia, 2009. p. 1 - 6.
- AMARAL, André Neves do. Estudo da viabilidade econômica da instalação de sistemas de colectores solares fotovoltaicos em edifícios residenciais. 2011. 80 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Coimbra - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Coimbra - Portugal, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5413: Iluminância de interiores. Brasília, 1990. 13 p.
- AVILA, Sérgio Luciano; ALVES, Ricardo Luiz; BUZZATTI, Marcelo Golin (Org.). DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO EM GERAÇÃO DISTRIBUÍDA: Gerenciamento e monitoração de uma microgeração solar. E-tech: Tecnologias para competitividade industrial, Florianópolis, v. 8, n. 1, p.47-69, 2015. Mensal.
- BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Ministério de Minas e Energia. Atlas de Energia Elétrica do Brasil. São Paulo, 2008. 12 p.
- BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Ministério de Minas e Energia. Micro e Minigeração Distribuída: Sistema de Compensação de Energia Elétrica. Brasília, 2016. 34 p.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Secretaria Planejamento e Desenvolvimento Energético. Anuário Estatístico de Energia Elétrica. São Paulo, 2015. 232 p.
- CENTRO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO / CPqD (São Paulo) (Org.). Cadernos de Tecnologia: Artigo 2. CPqD - Tecnologia Brasileira, São Paulo, v. 9, n. 1, p.14-16, jan. 2013. Semestral. Disponível em:
<https://www.cpqd.com.br/cadernosdetecnologia/Vol9_N1_jan_jun_2013/pdf/artigo2.pdf>. Acesso em: 12 maio 2017
- CASTRO, Rui (Org.). Uma Introdução às Energias Renováveis: Eólica, Fotovoltáica e Mini-hídrica. Lisboa - Portugal: Ist Press, 2011. 20 p.
- CONFERÊNCIA INTERNACIONAL DE ENGENHARIA, 2013, Covilhã - Portugal. Geração Distribuída e os seus Impactes no Funcionamento da Rede Elétrica.: Covilhã - Portugal: Área Científica – Ct9, 2013. 9 p.

CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR E CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DA ISES, 4., 2012, São Paulo. EXCEDENTE DE REATIVOS EM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE. São Paulo: Phb Eletrônica Ltda., 2012. 10 p.

FERRAZ, Clarice. A experiência alemã na energia solar: Integração de energia solar fotovoltaica em larga escala: a experiência alemã. 2012. Disponível em: <<https://jornalggm.com.br/blog/luisnassif/a-experiencia-alema-na-energia-solar>>. Acesso em: 23 jul. 2012.

FIGUEIREDO, Raquel Vaz Pato. Potencial solar de parques de estacionamento para carregamento de veículos elétricos. 2015. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia da Energia, Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia, Universidade de Lisboa, Lisboa - Portugal, 2015.

FREITAS, Bruno M. R. de; HOLLANDA, Lavinia. Micro e Minigeração no Brasil: Viabilidade Econômica e Entraves do Setor. 2005. 24 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Fgv - Energia, Fgv - Faculdade Getúlio Vargas, São Paulo, 2005.

HYBINER, Juliana Mara B. M.. ANÁLISE DA ILUMINAÇÃO EM SALAS DE AULAS DE ESCOLAS DA REDE DE ENSINO PÚBLICA DAS SUPERINTENDÊNCIAS REGIONAIS DE ENSINO DE JUIZ DE FORA, PONTE NOVA E UBÁ, MG. 2015. 147 f. TCC (Graduação) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2015.

GASAROTTO, Juliana. A EVOLUÇÃO DA LUZ ARTIFICIAL E O HOMEM: Trabalho Multidisciplinar. Univates - Rs. Rio Grande do Sul, p. 1-2. 13 maio 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (Rio de Janeiro). O QUE É EFICIÊNCIA ENERGÉTICA? 2013. Disponível em: <http://www.inee.org.br/eficiencia_o_que_eh.asp?Cat=eficiencia>. Acesso em: 26 maio 2017.

KEY ELEMENTS FOR A SUSTAINABLE WORLD: ENERGY, WATER AND CLIMATE CHANGE, 2014, São Paulo. Gestão da Eficiência Energética. São Paulo: Usp, 2014. 12 p.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R. Eficiência Energética na Arquitetura. Procel, Brasília, v. 3, n. 3, p.1-387, 27 maio 2017. Anual.

MANGAS, Rui Francisco Gomes Duarte. Redes de Distribuição de Energia com Microgeração: Avaliação do Impacto de diferentes condições de licenciamento. 2009. 133 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Cidade do Porto - Portugal, 2009.

MINISTÉRIO DO AMBIENTE, ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO E ENERGIA. DECRETO-LEI N.º 153/2014: Decreto-Lei n.º 153/2014. Lisboa - Portugal, 2014. 14 p.

MINISTÉRIO DA ECONOMIA E DO EMPREGO. DECRETO-LEI N.º 25/2013: Decreto-Lei n.º 25/2013. Lisboa - Portugal, 2013. 22 p.

OLIVEIRA, Leandro Faroni de. MICROGERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR EM RESIDÊNCIAS E SUAS APLICAÇÕES. 2015. 43 f. TCC (Graduação) - Curso de

Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, 2015.

PEREZ, Valmir. Laboratório de iluminação: História da Iluminação. 2004. Unicamp (São Paulo). Disponível em: <<http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/dicasemail/dica26.htm>>. Acesso em: 10 maio 2017.

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL. FACULDADE DE ENGENHARIA. GRUPO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA. (Rio Grande do Sul). Manual de Economia de Energia. Uso Sustentável da Energia, Rio Grande do Sul, v. 5, n. 5, p.1-28, 18 maio 2017. Mensal.

PORTUGAL. ENERGIAS DE PORTUGAL (EDP). Energia Solar: Manual do Utilizador. Lisboa - Portugal, 2014. 10 p.

PORTUGAL. ENERGIAS DE PORTUGAL (EDP). Quanto custam os painéis solares e quanto posso poupar? Perguntas Frequentes. 2015. Disponível em: <<https://www.edp.pt/particulares/apoio-cliente/perguntas-frequentes/servicos/energia-solar/quanto-custam-os-paineis-solares-e-quanto-posso-poupar/faq-4274>>. Acesso em: 15 maio 2017.

PORTUGAL. ENERGIAS DE PORTUGAL (EDP). Simulador de Energia Solar. 2015. Disponível em: <<https://www.edp.pt/particulares/servicos/energia-solar/simulador/>>. Acesso em: 15 maio 2017.

PORTUGAL. ENERGIAS DE PORTUGAL (EDP). Soluções de Eficiência PME: Energia Solar. Portugal, 2015. 12 p.

RODRIGUES, Mariana Fonte Boa. ANÁLISE DA ATRATIVIDADE ECONÔMICA DA MICROGERAÇÃO E MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA NO BRASIL PELA GERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA. 2013. 80 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia de Energia, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

SALOMÃO, Thais Mazziotti. Eficiência Energética: Projetos Luminotécnicos em Plantas Industriais. 2010. 198 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

SANTOS, Bruno António de Oliveira. Previsão de Produção de Centrais Solares a Muito Curto Prazo. 2010. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Electrotécnica, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Cidade do Porto - Portugal, 2010.

SÃO PAULO. Governo do Estado de São Paulo. Secretaria de Energia e Mineração (Org.). Alemanha é modelo de mudança energética. 2015. Disponível em: <<http://www.energia.sp.gov.br/2015/11/alemanha-e-modelo-de-mudanca-energetica/>>. Acesso em: 23 maio 2017.

SCHEIDT, Paula (Santa Catarina). Instituto Para Desenvolvimento de Energias Alternativas na América Latina. Guia de Microgeradores Fotovoltáicos. 2013. Disponível em: <<http://www.americadosol.org/guiaFV/>>. Acesso em: 25 maio 2017

SERRÃO, Marcos Antonio dos Santos. DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA UMA CASA DE VERANEIO EM POUSO DE CAJAÍBA -

PARATY. 2010. 99 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

SILVA, Rúben Fernandes Guedes de Oliveira e. Estudo da Eficiência Energética na Iluminação: Desenvolvimento de uma Ferramenta de Cálculo Luminotécnico e de Rentabilidade. 2013. 111 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Electrotécnica, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Cidade do Porto - Portugal, 2013.

TEMPEL, Fabio. ESTRATÉGIAS PARA EFICIENTIZAÇÃO EM SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO. 2016. 75 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2016.