

Bruno Pfeiffer Costa

Utilização de Energia Solar conversão fotovoltaica aplicada a um
sistema de purificação de água no lago Paranoá, Brasília DF

São Paulo – SP

2019

Bruno Pfeiffer Costa

Utilização de Energia Solar conversão fotovoltaica aplicada a
um sistema de purificação de água no lago Paranoá, Brasília DF

Monografia apresentada a Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo como parte das exigências
para obtenção do título de Especialista em Energias
Renováveis, Eficiência Energética e Geração
Distribuída.

São Paulo, 07 de Junho de 2019

Orientador: Prof. Dr. Cláudio Roberto de Freitas
Pacheco

São Paulo - SP

2019

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Assinatura: _____

Data: ____/____/____

Catálogo na Publicação

Costa, Bruno

Utilização de Energia Solar conversão fotovoltaica aplicada a um sistema de purificação de água no lago Paranoá, Brasília DF / B.P. Costa – São Paulo, 2019.

108 p.

Monografia (Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia..

Orientador: Prof. Dr. Cláudio Roberto de Freitas Pacheco

1.Energia Solar 2.Aquecimento Global 3.Mudanças Climáticas 4.Geração Distribuída 5.Viabilidade Econômica I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia II.

Dedico esta monografia ao movimento para mitigação do desperdício energético e a um futuro com uma evolução mais consciente e sustentável para vivência humana.

A todas as crianças que irão viver no amanhã com as consequências do que fazemos hoje.

A minha amada e companheira Ana Luiza e meus filhos Filipa e Raul.

Agradecimentos

A todos os professores do curso de Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética da Universidade de São Paulo – USP por compartilharem o conhecimento e vivências ao longo do curso e me darem esta oportunidade de enriquecimento. Em especial agradeço ao Prof. Dr. Cláudio Roberto de Freitas Pacheco pelo seu excepcional direcionamento no decorrer desta monografia, pela sua dedicação e suporte, que me possibilitaram com sucesso elaborar este estudo.

“Na Natureza nada se cria, nada se perde, tudo se
transforma”

Lavoisier (1760)

Resumo

Os tempos turbulentos que temos vivido nos últimos anos têm aumentado as discussões sobre melhor aproveitamento dos recursos existentes. Crise econômica, aquecimento global, mudanças climáticas, escassez de recursos e aumento da frequência dos desastres naturais estão dominando as pautas nos grandes debates das entidades internacionais. Estes acontecimentos despertam a necessidade de aproveitar os recursos existentes de forma mais consciente e sustentável. A geração distribuída terá um papel fundamental na matriz energética no futuro, assim é importante estimular a construção de mais unidades de minigeração e microgeração aproveitando áreas ociosas, principalmente em unidades privadas e estatais com grande área e consumo energético alta. Estações de tratamento de água estão presentes em todo o território nacional sendo estas responsáveis por 3% do consumo de energia elétrica nacional. Estações de Ultrafiltração contêm em seu layout uma área significativa de cobertura que acaba sendo inutilizada, neste estudo esta área será aproveitada para geração de energia elétrica e esta energia será injetada na rede da concessionária. Com a compensação dos créditos gerados conseguimos atender parte da carga consumida pelo sistema. Por utilizar uma energia limpa para geração de energia elétrica contribuímos com a redução das emissões de GEEs e ao mesmo tempo colaboramos também com a expansão da geração distribuída.

Palavras chave: Energia Solar Fotovoltaica, Geração Distribuída, Dimensionamento Solar, Aquecimento Global, Viabilidade Econômica.

Abstract

The turbulent times we have experienced over the last few years have increased discussions about better use of existing resources. Economic crisis, global warming, climate change, scarcity of resources and increased frequency of natural disasters are dominating the guidelines in the debates of international entities. These events raise the need to take better use of existing resources in a more conscious and sustainable way. Distributed Generation will play a key role in the energy matrix in the future, so it is important to stimulate the construction of more mini-generation and microgeneration units by utilizing unused areas, especially in private and state-owned units with large area and high energy consumption. Water treatment plants are present throughout the national territory and these are responsible for 3% of the national electricity consumption. Ultrafiltration stations contain in their layout a significant area of coverage that ends up being unused, in this study this area will be used for electric power generation and this energy will be injected into the network of the concessionaire. With the compensation of the credits generated we were able to meet part of the load consumed by the system. By using clean energy for electric power generation we contribute to the reduction of GHG emissions and at the same time we also collaborate with the expansion of distributed generation.

Keywords: Photovoltaic Solar Energy, Distributed Generation, Photovoltaic Project Design, Global Warming, Project Viability.

Lista de Siglas

'	Minutos
"	Segundos
%	Percentual
°	Graus
°C	Graus Centígrados
A	Amperes
a.a.	ao ano
a.m.	ao mês
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
ca	Cateto adjacente
CEB	Companhia Energética de Brasília
CH ₄	Metano
co	Cateto oposto
CO ₂	Dióxido de Carbono
CO _{2eq}	Dióxido de Carbono equivalente
Corhora	Índice de correção horária
cos	Cosseno
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sergio S. Brito
E _{dia}	Energia dia
E _{GFV}	Energia fornecida ao Inversor
E _{rede}	Energia da rede
ETA	Estação de Tratamento de Água
f	Frequência

FDI	Fator de Dimensionamento do Inversor
FV	Fotovoltaico
GEE	Gases de Efeito de Estufa
γ_{MP}	Coeficiente para temperatura para potência máxima
G_{ref}	Radiação solar nas condições STC
γ_s	Azimuth solar
γ_{ss}	Azimuth solar no por do sol
G_T	Radiação solar média no plano de célula
h	horas
H	Altura do Pannel
H_{adCM2}	Hadley Centre Coupled Model, version 2
H_{adCM3}	Hadley Centre Coupled Model, version 3
HFC	Hidrofluorcarbonetos
hi	hipotenusa
HL	Hora Local
HL_s	Horário local do por do sol
HS	Hora solar
HSP	Horas de Sol Pleno
HS_s	Horário solar do por do sol
I	Corrente
IHM	Interação Homem Máquina
I_{max}	Corrente máxima de entrada
I_{mp}	Corrente no ponto máximo
IPCA	Índice de Preços ao Consumidor Amplo

IPCC	The Intergovernmental Panel on Climate Change
I_{sc}	Corrente de curto circuito
kit	conjunto kit
kW	Mil Watts
kWh	Quilo Watt hora
L	Longitude
l/h	Litro por Hora
l/s	litros por segundo
LE	Leste
LO	Longitude hora legal
Ls	Comprimento de sombra
m	metro
M	milhão
m ²	metro quadrado
m ³ /dia	metro cúbico por dia
m ³ /s	metro cúbico por segundo
MJ/m ²	milhões de Joules por metro quadrado
mm	milímetros
MPPT	Rastreador do Ponto de Máxima Potência
Mt	Milhão de toneladas
N	Norte
n	número do dia do ano
N	Duração da Insolação
N _{//}	Número de Painéis em paralelo
N ₂ O	Oxido Nitroso

N_c	Número de Circuitos
n_i	Quantidade de Inversores
NOX	Óxidos de Nitrogênio
N_p	Número de Painéis
N_p	Número do Painéis
N_{serie}	Número de Painéis em serie
$N_{serie.max}$	Painéis em serie máximo
$N_{serie.min}$	Painéis em serie mínimo
N_{string}	Número de String
O	Oeste
Ø	Latitude
O ₃	Ozônio
P	Potência
P°_{GFV}	Potência Nominal do Gerador Fotovoltaico
P°_{INV}	Potência Nominal do Inversor
P°_{max}	Potência inicial máxima
P°_{MP}	Potência Nominal do Painei Fotovoltaico
P_A	Porcentagem de Atendimento
P_{ζ}	peças
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PEBD	Polietileno de Baixa Densidade
PFC	Perfluorados
P_{MP}	Potência de Pico Painei Fotovoltaico
P_{mp}	Potência no Ponto máximo
Qtd	Quantidade

r	Taxa de Desconto
R\$	Reais
S	Sul
SEEG	Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito de Estufa
SF ₆	Hexafluoreto de Enxofre
STC	Condições Padrão de Teste
T [°] C	Temperatura de Célula inicial
T _a	Temperatura Ambiente
T _{max}	Temperatura ambiente máxima
T _{min}	Temperatura ambiente mínima
T _C	Temperatura de Célula
T _{Cmax}	Temperatura da Célula máxima
T _{Cmin}	Temperatura da Célula mínima
TD	Taxa de desempenho do Gerador
tg	Tangente
TIR	Taxa Interna de Retorno
TLP	Taxa a Longo Prazo
T _{NOC}	Temperatura Nominal de operação da Célula
T _{NOC}	Temperatura Nominal de Operação da Célula
TWh	Trilhão de watts hora
V	Volts
V [°] OC	Tensão de circuito aberto do gerador
V _{AC}	Tensão de saída nominal
vb	verba
V _{mp}	Tensão no ponto máximo

V_{OC}	Tensão de Circuito Aberto
V_{OCmax}	Tensão de Circuito Aberto máxima
V_{OCmin}	Tensão de Circuito Aberto mínima
VP	Valor Presente
VPL	Valor Presente Líquido
W	Watts
W	Watts
X	Distância Entre Painéis
Y_F	Produtividade anual por FDI
α	Ângulo alpha
δ	Declinação solar
η_{inv}	Rendimento do Inversor
η_{spmp}	Rendimento do seguidor de ponto de máxima potência
Θ_z	Ângulo zenital
Θ_{zs}	Ângulo zenital no por do sol
ω	Ângulo horário
ω_s	Ângulo horário do por do sol

Lista de Equações

2.1 - Payback	21
2.2 – Valor Presente	22
2.3 – Valor Presente Líquido.....	22
2.4 – Payback Descontado.....	22
2.5 - TIR	23
3.1 – Fórmula da Tangente	36
3.2 – Fórmula do Cosseno	36
3.3 – Energia Lançada na Rede	45
3.4 – Energia Fornecida ao Inversor.....	45
3.5 – Energia Fornecida ao Inversor.....	45
3.6 – Potência de Pico do Painel Fotovoltaico	45
3.7 – Temperatura de Operação de Célula	46
3.8 – Potência Nominal do Inversor	47
3.9 – Potência Nominal do Inversor	48
3.10 – Potência Nominal do Gerador Fotovoltaico	48
3.11 – Tensão de Circuito Aberto.....	51
3.12 – Temperatura da Célula.....	51
3.13 – Tensão de Circuito Aberto máxima.....	52
3.14 – Tensão do Ponto de Máxima Potência	52
3.15 – Corrente no Ponto de Máxima Potência	52
3.16 – Corrente de Circuito Aberto	53
3.17 – Número de Paineis em Paralelo.....	53
3.18 – Número de Painéis em Série mínimo	53
3.19 – Número de Painéis em Série máximo.....	53

3.20 Número de Circuitos.....	54
3.21 Número de Strings	54
3.22 – Corrente de Curto Circuito máxima por String	55
3.23 – Tensão de Circuito aberto máxima por String.....	55
3.24 – Tensão de Circuito aberto mínimo por String	55
3.25 – Tensão no Ponto de Potência máxima por String.....	55
3.26 – Cálculo Taxa de Juros BNDES	61
3.27 – Payback.....	62
3.28 – Payback Descontado.....	62
3.29 – Valor Presente	62
3.30 – Valor Presente Líquido.....	63
3.31 – TIR.....	65

Lista de Figuras

Figura 2.1 - Ranking dos 10 maiores emissores de GEEs.....	4
Figura 2.2 - Emissões de GEEs por setor de atividade econômica	5
Figura 2.3 - Gráfico de CO2 acumulado e projeção de cenários futuros com e sem emissões..	6
Figura 2.4 - Mapa das Principais Bacias hidrográficas Mundiais	7
Figura 2.5 - Variação da média anual de precipitação	8
Figura 2.6 - Cenários com níveis de escassez de água	9
Figura 2.7 -Manchete do G1 de em Outubro de 2017	10
Figura 2.8 - Precipitação Acumulada em Brasília.....	10
Figura 2.9 - Registro do histórico do volume útil das represas Descoberto e Santa Maria 11/2017	11
Figura 2.10 - Gráfico de composição do consumo de energia elétrica Industrial	14
Figura 2.11 - Gráfico de evolução de consumo de energia elétrica e despesas com energia elétrica 2005 a 2017.....	15
Figura 2.12 - Dados do crescimento da geração Distribuída 2016 e 2017	16
Figura 2.13 - Ilustração para compreensão da grandeza Horas de Sol Pleno.....	18
Figura 2.14 - Gráfico fontes de Geração Elétrica	19
Figura 3.1 - Localização da estação de tratamento.....	24
Figura 3.2 - Diagrama de Sankey carga por equipamento e etapa	29
Figura 3.3 - Vista frontal da cobertura	31
Figura 3.4 - Vista lateral da cobertura	31
Figura 3.5 - Orientação Norte da cobertura.....	32
Figura 3.6 - Layout da ETA com áreas para instalação de painéis FV	32
Figura 3.7 - Trajetória solar para cálculo de sombra.	35

Figura 3.8 - Diagrama de cálculo de sombra.....	35
Figura 3.9 - Cálculo do espaçamento X entre os painéis.....	37
Figura 3.10 - Definição da quantidade de painéis instalados na área disponível	38
Figura 3.11 - Gráfico de Radiação solar global diária, média mensal - Junho.....	39
Figura 3.12 - Gráfico de Radiação solar global diária, média mensal – Dezembro.....	40
Figura 3.13 - Localização e posição geográfica ETA	41
Figura 3.14 - Dados de irradiação média mensal Brasília no plano inclinado	41
Figura 3.15 - Gráfico de Produtividade anual YF por FDI	47
Figura 3.16 - Curva característica I-V e P-V de um módulo PV.....	49
Figura 3.17 - Curva característica I-V de um modulo PV a 0 e 75°C.....	50
Figura 3.18 - Análise da faixa de utilização	55
Figura 3.19 - Diagrama de Configuração dos Strings	56
Figura 3.20 - Gráfico Fluxo de Caixa Livre	60
Figura 3.21 - Gráfico Fluxo de Caixa para VPL a $r=8,099\%$	64
Figura 3.22 - Gráfico de Evolução da TIR	65
Figura 3.23 - Gráfico Fluxo de caixa de VPL a 8,099% para Cenário 1.....	69
Figura 3.24 - Gráfico Fluxo de caixa de VPL a 8,099% para Cenário 2.....	70
Figura 3.25 - Gráfico Fluxo de caixa de VPL a 8,099% para Cenário 3.....	72
Figura 3.26 - Gráfico consolidado do Fluxo de VPL a 8,099% dos cenários	73

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 - Custo de Implantação e Operação entre sistema Convencional com Carvão Ativado e Ultrafiltração.....	12
Tabela 2.2 - Indicador de custo por m ³ de água tratada.....	13
Tabela 2.3 - Tipo de Geração Distribuída	17
Tabela 3.1 - Relação de equipamentos e cargas Captação	25
Tabela 3.2 - Relação de equipamentos e cargas Tratamento de Lodo	26
Tabela 3.3 - Relação de equipamentos e cargas Ultrafiltração.....	27
Tabela 3.4 - Relação de equipamentos e cargas Tanque de água Potável e Alimentação.....	28
Tabela 3.5 - Relação de equipamentos e cargas Ultrafiltração.....	30
Tabela 3.6 - Resumo de cálculo do ângulo solar	34
Tabela 3.7 - Cálculo do comprimento da sombra Ls.....	36
Tabela 3.8 - Cálculo da distância entre painéis	37
Tabela 3.9 - Dados climatológicos Brasília.....	42
Tabela 3.10 - Tabela análise de eficiência de Painel FV	43
Tabela 3.11 - Característica Técnicas do Painel.....	44
Tabela 3.12 - Características Técnicas do Inversor	48
Tabela 3.13 - Resumo de configuração do sistema	54
Tabela 3.14 - Resumo Potência de Pico	56
Tabela 3.15 - Resumo de custos estimativos de Implementação	57
Tabela 3.16 - Proporção de tipo de consumo por horário	58
Tabela 3.17 - Simulador de Tarifa Branca para consumo horário de 24 horas	59
Tabela 3.18 - Cálculo de Economia mensal com Geração pelo método HSP.....	60
Tabela 3.19 - Resumo Payback Simples e Descontado.....	62

Tabela 3.20 - Fluxo de Caixa do Valor Presente Líquido	63
Tabela 3.21 - Resumo de indicadores de investimento Cenário 0.....	66
Tabela 3.22 - Histórico da Bandeira Tarifária 2015-2018.....	67
Tabela 3.23 - Resumo de indicadores de Viabilidade para Cenário 1.....	69
Tabela 3.24 - Resumo de indicadores de Viabilidade para Cenário 2.....	71
Tabela 3.25 - Resumo de indicadores de Viabilidade para Cenário 3.....	72
Tabela 3.26 - Resumo indicadores de viabilidade dos cenários	74

Sumario

1	Introdução	1
2	Revisão Bibliográfica	1
2.1	Sustentabilidade	1
2.2	Aquecimento Global	3
2.3	Provimento de água	7
2.4	Provimento de água de Brasília	9
2.5	Razões da seleção de ultrafiltração como tratamento de água e não tratamento convencional.....	12
2.6	Crescimento do consumo de energia elétrica no fornecimento de água.....	13
2.7	Geração Distribuída	15
2.8	Conceito Horas de Sol Pleno	17
2.9	Bandeira Tarifária Aneel.....	19
2.10	Indicadores de Análise de Viabilidade.....	20
2.10.1	Payback Simples.....	21
2.10.2	Valor Presente Líquido (VPL).....	21
2.10.3	Payback Descontado.....	22
2.10.4	Taxa Interna de Retorno (TIR)	23
3	Estudo de Caso	23
3.1	Descrição do Sistema de Tratamento e seu Consumo Energético.....	23
3.1.1	Captação	25
3.1.2	Tratamento de lodo	25
3.1.3	Ultrafiltração.....	26
3.1.4	Tanque de água potável e Alimentação da rede	27
3.1.5	Carga a ser atendida.....	28
3.2	Estudo da área disponível para coleta.....	30

3.3	Cálculo da quantidade de painéis.....	33
3.4	Dimensionar pelo método HSP do CRESESB a carga atendida pelos painéis	39
3.4.1	Dados climatológicos do local.....	39
3.4.2	Escolha do painel fotovoltaico	42
3.4.3	Cálculo do porcentual da carga a ser atendida pelo método HSP	44
3.5	Escolha dos Inversores e Configuração dos Strings	46
3.5.1	Escolha dos Inversores	46
3.5.2	Configuração dos Strings	49
3.6	Avaliação de investimento	57
3.7	Avaliação da viabilidade econômica	58
3.7.1	Estudo de sensibilidade	66
4	Considerações finais	74
5	Referências Bibliográficas.....	77
6	Apêndices	81

1 Introdução

Este trabalho teve como motivação o constante crescimento econômico aliado as necessidades e desafios de um futuro visando o melhor aproveitamento energético dos recursos que temos disponíveis de forma consciente e sustentável. Em uma cultura de abundância temos muitas oportunidades para aproveitamento de espaços ociosos e inutilizados para geração de energia limpa e sustentável e assim colaborar com a expansão de matriz energética distribuída. A geração distribuída terá um papel fundamental na matriz energética no futuro, assim é importante estimular a construção de mais unidades de minigeração e microgeração aproveitando áreas ociosas, principalmente em unidades privadas e estatais com grande área e consumo energético alta. As Estações de Tratamento de Água (ETA) que estão presentes em boa parte do território brasileiro possuem áreas internas no layout disponíveis para aplicação de painéis FV e geração de energia elétrica. O processo de tratamento de água tem um consumo alto de energia elétrica devido aos sistemas de elevatórias, ou seja, bombeamento para elevação de água para reservatórios elevados ou para aumento de pressão para injeção nas linhas de alimentação de água tratada.

Nesta monografia será dimensionado um sistema FV para aplicação em uma estação de purificação de água por membranas de ultrafiltração e realizado uma análise de sensibilidade para 3 cenários.

Considero a Geração Distribuída uma forma muito coerente para um futuro mais consciente e disponível para um crescimento sustentável.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Sustentabilidade

A sustentabilidade se tornou uma palavra de ordem no caminho da evolução e crescimento econômico de uma nação, empresa ou organização qualquer que seja sua dimensão. Ela deve

estar no nosso dia a dia ditando as ações cotidianas de todos nós. Uma busca a alteração cultural vem crescendo e se instalando com maior ênfase principalmente nas gerações que estão vindo e vivendo o reflexo das escolhas tomadas no passado. O investimento em matrizes energéticas não renováveis e poluentes além de não se regenerarem à velocidade que o crescimento econômico demanda, geraram passivos às gerações futuras que estão hoje criando alternativas para mitigação dos seus impactos.

Para entendermos o seu significado recorreremos primeiramente a definição de Sustentável em que é “Que se pode sustentar., Que se pode defender., Que tem condições para se manter ou conservar” (DICIONÁRIO AURÉLIO, 2018.) e também a definição de Sustentabilidade que é “Conceito que, relacionando aspectos econômicos, sociais, culturais e ambientais, busca suprir as necessidades do presente sem afetar as gerações futuras.” (DICIONÁRIO ONLINE DE PORTUGUÊS, 2019).

No artigo publicado por FEIL e SCHREIBER (2017) é realizada uma análise sobre a evolução do conceito de sustentabilidade. Temos o primeiro registro em 1713 por Hans Carl Von Carlowitz que publica o livro *Sylvicultura Oeconomica oder Anweisung zur wilden Baumzucht*, onde cita a preocupação sobre a devastação florestal na Europa e constrói pensamentos sobre reaproveitamento energético, consumo consciente, reflorestamento e busca de equilíbrio entre consumo e produção.

Em 1972 foi realizada em Estocolmo a primeira conferência das Nações Unidas, onde o assunto abordado foi a sustentabilidade socioeconômica da evolução humana. Foram pontuados os perigos da atividade humana e degradação ambiental que poderia comprometer o futuro da sobrevivência da humanidade (FEIL e SCHREIBER, 2017)

Nos anos subsequentes, o movimento de sustentabilidade foi crescendo e progressivamente se transformando no World Conservation Strategy ¹(1980), Brundtland Report - Our Common Future (1987) e a Conferência Ambiental e Desenvolvimento das Nações Unidas (Adams, 2006) e se estendeu para planos de órgãos governamentais e privados.

¹ Primeiro documento Internacional sobre desenvolvimento sustentável criado por instituições governamentais, privadas e especialistas.

2.2 Aquecimento Global

O efeito de estufa é o fenômeno natural responsável por manter a temperatura terrestre e garantir a vida no planeta Terra. Da radiação solar que chega no planeta, parte é absorvida pela superfície terrestre e parte é refletida novamente para o espaço. A radiação refletida é bloqueada pelos Gases de Efeito de Estufa (GEE). Devido ao aumento da sua concentração, resultante das emissões de GEEs derivados das atividades humana insustentáveis, a permeabilidade da radiação refletida está reduzindo e a consequência é a elevação da temperatura média da Terra (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2019).

O Protocolo de Quioto foi um marco ambiental firmado entre 55 países que estabeleceu as diretrizes para mudança global no caminho de um desenvolvimento mais sustentável. Criado em 1997, entrou em vigor em fevereiro de 2005. Em um primeiro período, 37 países industrializados e a Comunidade Europeia estabeleceram para 2008-2012 metas de redução de emissão de gases de efeito de estufa de 5% em relação aos níveis de 1990. Em um segundo período, entre 2013-2020, redução 18% em relação as emissões de 1990 onde cada país negociou a sua própria meta de redução. (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2019).

Abaixo os principais GEE's regulados no Protocolo de Quioto:

- 60% - Dióxido de Carbono (CO_2) proveniente de queima dos resíduos fosseis e biomassas;
- 15% - Gás metano (CH_4) resultante de aterros sanitários, lixões e reservatórios de hidrelétricas;
- 12% - Gases fluoretados (SF_6 , HFCs, PFCs) aerossóis e refrigeradores;
- 8% - Ozônio (O_3) gás resultante da reação química na atmosfera a partir dos óxidos de nitrogênio NO_x ;
- 5% - Óxido nitroso (N_2O) resultante de processos agropecuários e industriais;

Para padronizar a linguagem e facilitar o controle dos órgãos responsáveis pelo acompanhamento das medições de emissão de GEEs, foi definido o indicador Dióxido de Carbono Equivalente (CO_2eq). Cada gás tem um valor proporcional de CO_2eq e assim as emissões de outros gases é transformada na mesma unidade. Para referência a energia elétrica gera cerca de $0,11\text{kgCO}_2\text{e/kWh}$ (DAN EPSTEIN, JUDITH SYKES, JO CARRIS, 2011).

No relatório de 2018 do SEEG (Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito de Estufa), o Brasil se encontra no 7º lugar como maior emissor de GEEs. Os valores correspondem a soma total das emissões resultantes de toda a atividade socioeconômica de cada país.

Figura 2.1 - Ranking dos 10 maiores emissores de GEEs

1	China	23.7%
2	United States	12.9%
3	European Union (28)	7.4%
4	India	6.5%
5	Indonesia	5.1%
6	Russian Federation	4.2%
7	Brazil	3.4%
8	Japan	2.7%
9	Canada	1.8%
10	Germany	1.7%

Fonte: SEEG, 2018

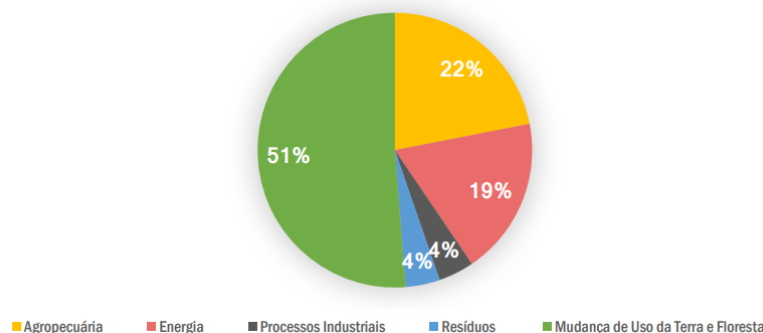
Olhando para o âmbito da economia brasileira segundo o relatório da SEEG 2018, as principais atividades emissoras de GEEs são: Agropecuária, Energia, Processos Industriais, Resíduos e Mudança de uso da Terra e Floresta.

Neste trabalho, o foco de estudo é o setor de Energia, que representa 19% na matriz de emissões brasileira por atividade econômica, conforme apresentado no gráfico abaixo.

Figura 2.2 - Emissões de GEEs por setor de atividade econômica

Emissões Brasileiras de GEE em 2016

2.278 Mt CO₂e

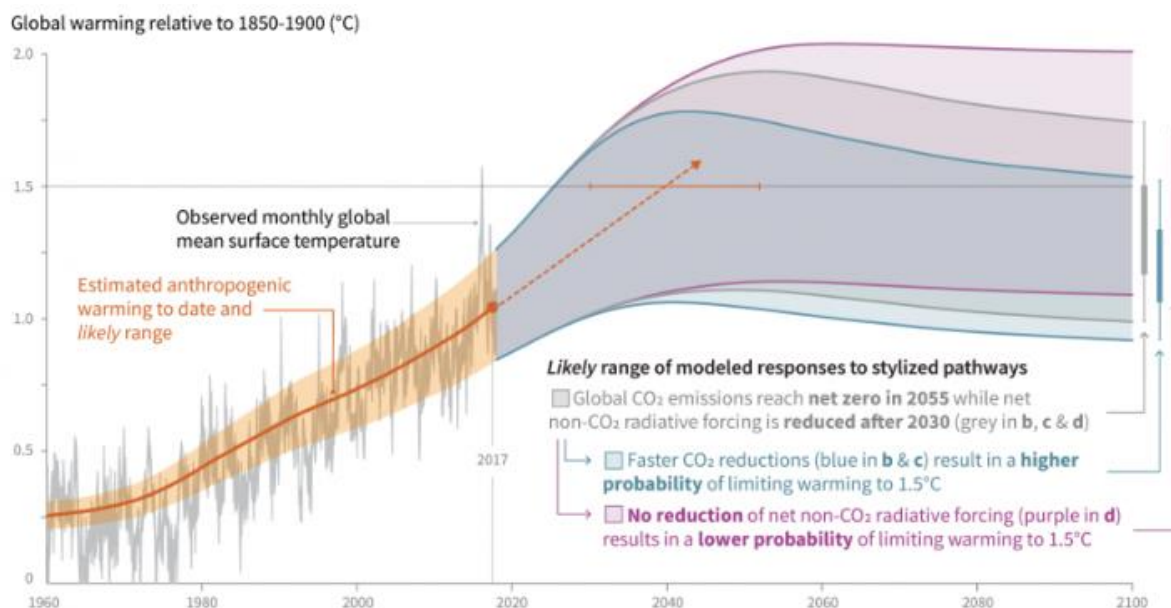


Fonte: SEEG, 2018

O trabalho proposto tem como objetivo sugerir uma economia financeira com a geração de energia elétrica e também criar oportunidade de redução das emissões de CO₂eq, colaborando com o compromisso ambiental proposto pelas Nações Unidas.

Em 2017 temos o registro do aumento da temperatura média no planeta em 1°C, isso resultado das atividades humanas com o desenvolvimento industrial até o momento. No Gráfico da figura abaixo temos o registro do histórico da variação da temperatura mostrando o crescimento da média representada pela linha laranja. Após 2017 temos a projeção de 3 cenários possíveis ocorrerem dependendo das ações que forem tomadas hoje. Os cenários variam em um primeiro que não prevê mudança nas emissões de CO₂, um segundo em que contempla o plano de ação internacional para redução para emissões 0 (zero) até 2055 de CO₂ e um terceiro que prevê uma redução maior e mais rápida das emissões do que o estipulado em acordo. Este relatório foi elaborado pela IPCC “The Intergovernmental Panel on Climate Change” uma corporação das Nações Unidas, e teve como objetivo uma avaliação dos riscos das mudanças climáticas com o aumento da temperatura média do planeta para 1,5°C e 2°C.

Figura 2.3 - Gráfico de CO2 acumulado e projeção de cenários futuros com e sem emissões



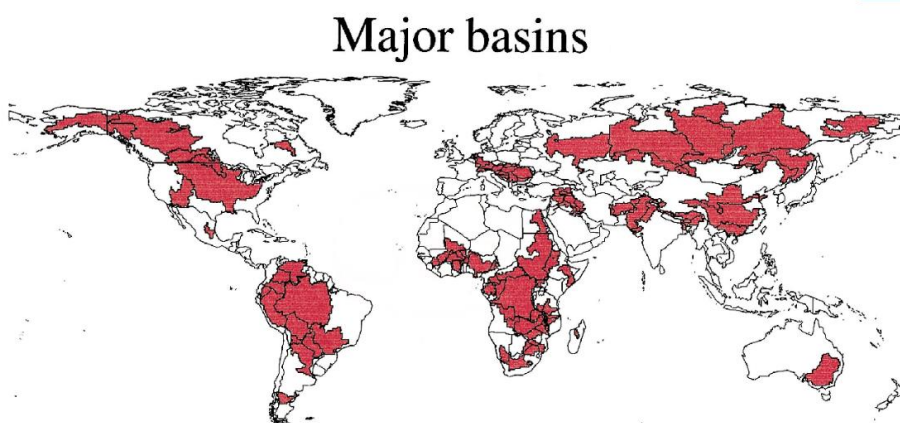
Fonte: THE INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – (Global Warming of 1.5 °C, p.9)

Com o aquecimento que temos hoje de 1°C as consequências estão surgindo em várias formas de fenômenos naturais e estão acontecendo em diferentes regiões do planeta. Temos observado o derretimento das calotas polares e consequente aumento do nível do mar, maior frequência fenômenos naturais como tempestades, furacões, terremotos, nevascas, enchentes, ondas de calor, queimadas e secas extremas em lugares que não eram frequentes (WWF-BRASIL, 2019). Com o aumento de 1,5°C as mudanças irão se intensificar teremos impactos na biodiversidade e ecossistemas incluindo extinção de espécies de fauna e flora. Teremos o aumento dos impactos sentidos em áreas terrestres, provisão de água e áreas costeiras. Agravamento da instabilidade das placas de gelo na Antártica e perda parcial ou total das placas de gelo na Groelândia que podem gerar um aumento significativo do nível do mar. E com isso aumenta muito a exposição das zonas costeiras e pequenas ilhas a erosão da água salgada, inundações e danificação de infraestrutura. (THE INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - Global Warming of 1.5 °C, p.9).

2.3 Provimento de água

Estudos e dados sobre provimento de água é difícil obter devido a complexidade do fluxo e crescimento do consumo populacional. A agenda do GEE's e aquecimento global tem sido assunto principal da agenda internacional não sendo realizados estudos dedicados ao provimento de água. A questão será qual a influência das mudanças climáticas sobre o provimento de água. Estudos estão sendo realizado localmente nas bacias hidrográficas e sub-bacias, mas até os anos 2000 não haviam estudos que analisassem as interdependências entre os fluxos das bacias e os impactos a termo global (GREEN, P., LAMMERS, R.B., SALISBURY, J., VÖRÖSMARTY, 2000, p.284-288).

Figura 2.4 - Mapa das Principais Bacias hidrográficas Mundiais

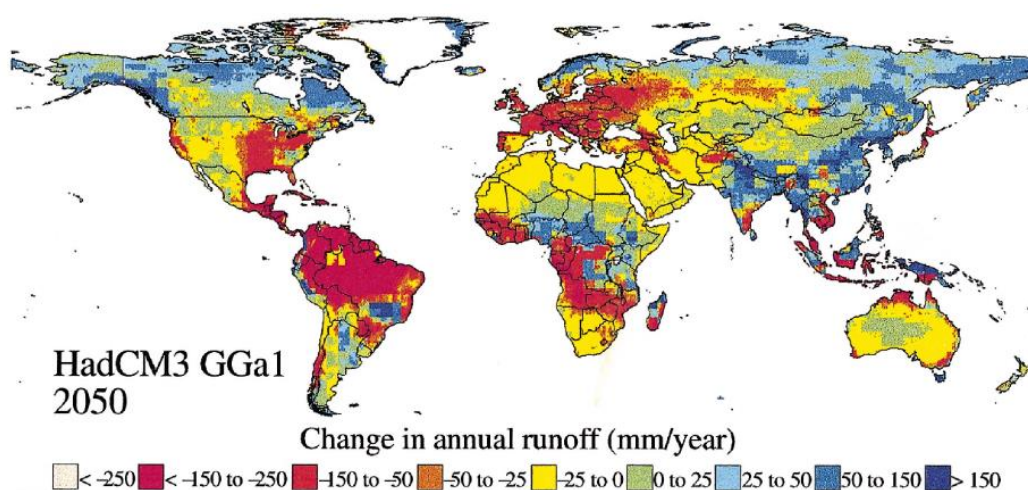


Fonte: ARNEL, W.N,1999.

Hadley Centre do Reino Unido é referência no desenvolvimento de modelo matemático que realiza simulações do comportamento dos fluxos hidrológicos terrestres (HadCM2 e HadCM3). Estes modelos calculam cenários com macro variações dos fluxos da água considerando o aumento da temperatura global e condições de risco previstas nos relatórios das Nações Unidas.

A avaliação dos cenários em ambos os casos sugerem que a média anual de escoamento irá aumentar nas altas latitudes e irá reduzir nas regiões equatoriais e dos trópicos. Na figura abaixo verificamos as variações de precipitação média anual para o cenário de 2050.

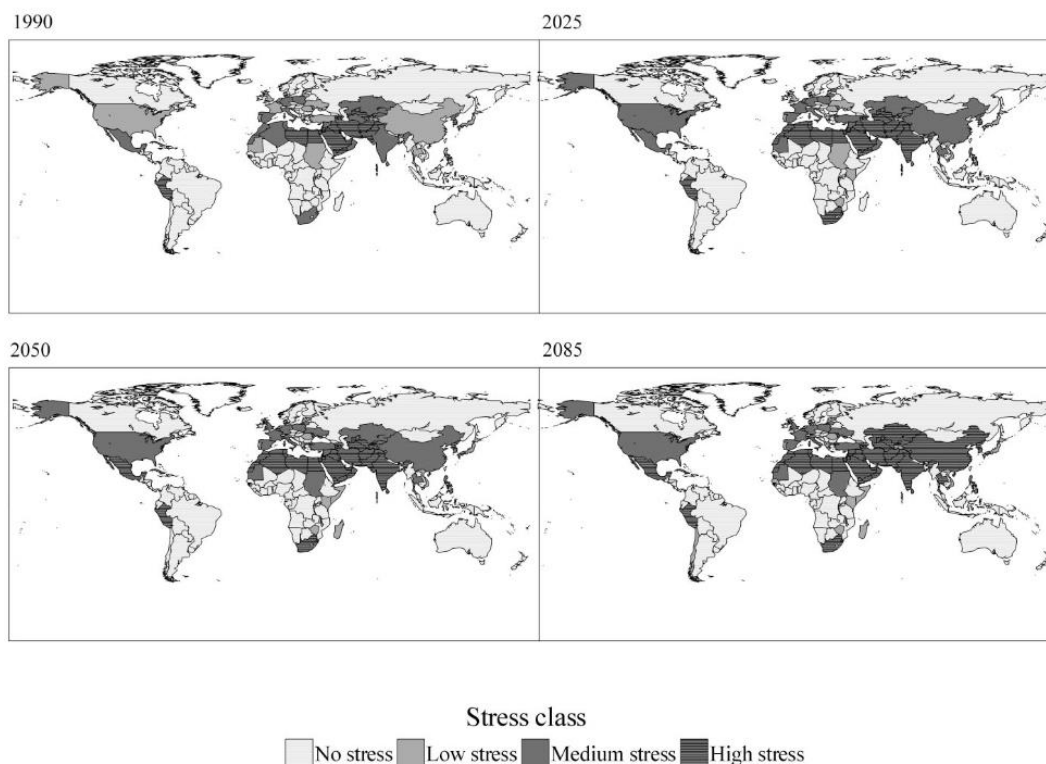
Figura 2.5 - Variação da média anual de precipitação



Fonte: ARNEL, W.N,1999.

As mudanças climáticas resultantes do aquecimento global estão reduzindo os volumes normais de precipitação e neve, e consequentemente as bacias sofrem alterações devido a alteração deste ciclo. O número de pessoas que irão sofrer com a escassez de água em 2025 será próximo de 53 milhões e para 2050 este número aumentará para 69 milhões. Abaixo temos um conjunto de figuras que mostram o aumento de escassez de água em cada região do planeta. Pelas simulações realizadas temos o acompanhamento das mudanças iniciando em 1990 onde principalmente nas regiões do médio oriente se sofria com estiagem, em 2025 observamos a piora da situações em geral, principalmente os países que apresentavam baixo nível de estiagem passam para nível médio, em 2050 o México e o Peru entram para os países com alto nível de escassez de água e em 2085 a situação extrema atinge a China e é muito claro a redução da disponibilidade de água junto as áreas centrai juntas a linha do equador.

Figura 2.6 - Cenários com níveis de escassez de água



Fonte: ARNEL, W.N,1999.

Posto esta visão de mudanças climáticas e seus reflexos no equilíbrio da convivência humana é valido refletir e atuar na direção de reduzir as emissões de GEE's para atmosfera.

2.4 Provimento de água de Brasília

Os principais reservatórios para abastecimento no Distrito Federal são a barragem de Santa Maria e de Descoberto. Até 2017 estas juntas atendiam 90% da população e os restantes 10% eram atendidos por estações isoladas.

No ano de 2016 e 2017 Brasília estava passando por um período complicado no seu abastecimento de água resultado da escassez de chuva nos últimos anos.

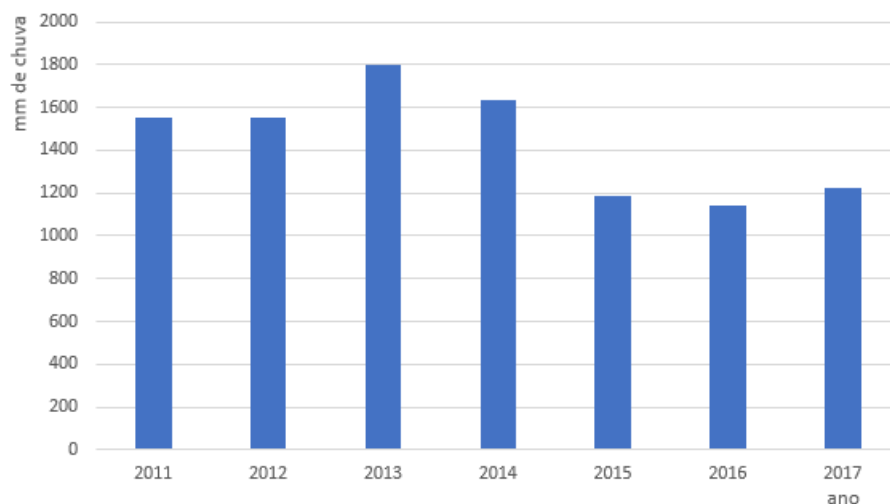
Figura 2.7 -Manchete do G1 de em Outubro de 2017



Fonte: JORNAL NACIONAL,2017

Abaixo um gráfico que ilustra o histórico de precipitação acumulada entre os anos de 2011 até 2017 onde podemos observar uma redução significativa do volume de chuva no ano de 2015, 2016 e 2017.

Figura 2.8 - Precipitação Acumulada em Brasília



Fonte: INMET, 2019

Com o crescimento populacional e econômico no DF houve o aumento do consumo de água de uso o que saturou o sistema e em 2017 os reservatórios chegaram a um nível crítico, Descoberto com 5,5% e Santa Maria com 21,9% conforme tabela de controle da Adasa abaixo. Estes níveis alarmantes geraram varias ações de racionamento de água inclusive o corte de água dos canais agropecuários. Em Brasília houve racionamentos constantes durante o período de estiagem. (GOVERNO NO DISTRITO FEDERAL, 2019).

Figura 2.9 - Registro do histórico do volume útil das represas Descoberto e Santa Maria 11/2017



Adasa
Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal

SISTEMA DE INFORMAÇÕES SOBRE RECURSOS HÍDRICOS - SIRH

MONITORAMENTO DO NÍVEL DE RESERVATÓRIOS

A ADASA informa os níveis oficiais dos reservatórios. As atualizações das medições serão feitas, diariamente, até às 11:00h.

HISTÓRICO DESCOBERTO

Data	Volume Útil (%)	Cota (m)
27.11.17	6,7	1.022,06
26.11.17	6,4	1.022,01
25.11.17	5,6	1.021,89
24.11.17	5,7	1.021,90
23.11.17	5,5	1.021,88
22.11.17	5,7	1.021,91
21.11.17	5,7	1.021,91
20.11.17	5,8	1.021,92
19.11.17	6,0	1.021,95

HISTÓRICO SANTA MARIA

Data	Volume Útil (%)	Cota (m)
27.11.17	22,0	1.064,22
26.11.17	21,9	1.064,20
25.11.17	21,6	1.064,17
24.11.17	21,9	1.064,20
23.11.17	21,9	1.064,20
22.11.17	21,9	1.064,21
21.11.17	22,3	1.064,25
20.11.17	22,3	1.064,26
19.11.17	22,4	1.064,27

Fonte: ADASA, 2019

Para contornar este cenário crítico foi realizado investimento no sistema de saneamento onde surgiram projetos de captação e tratamento de água. Em 2017 o Lago Paranoá era utilizado unicamente para geração de energia elétrica. Sendo um dos principais volumes de água do Distrito foi licitado um projeto para captar e tratar água do Paranoá para consumo humano sendo 600mil pessoas beneficiadas.

2.5 Razões da seleção de ultrafiltração como tratamento de água e não tratamento convencional.

A Ultrafiltração é um processo utilizado para tratamento de água e muito utilizado na indústria alimentícia. Ela é basicamente uma forma de separação de sólidos em suspensão, coloides, bactérias e vírus. As vantagens da ultrafiltração comparando com o tratamento convencional é a eficiência na separação principalmente de microrganismos que são resistentes ao tratamento com cloro e ozônio, outra vantagem é ser um sistema compacto necessitando uma área menor para instalação, ser um sistema de fácil operacionalidade, baixo custo de manutenção, utiliza uma menor carga química que causam passivos ambientais e garante maior constância de qualidade da água tratada. Abaixo a tabela apresenta valores comparativos entre os dois sistemas sendo que, para obtermos uma comparação mais equalizada temos que considerar para o sistema convencional a aplicação de carvão ativado, desta forma aproximamos a eficiência na qualidade da água tratada entre os dois processos.

Tabela 2.1 - Custo de Implantação e Operação entre sistema Convencional com Carvão Ativado e Ultrafiltração

Custo de Implantação e Operação (R\$)		
Descrição	Sistema convencional com carvão ativado	Ultrafiltração
Implantação	2.752.943,78	2.373.238,50
Operação		
Mão de Obra	186.763,00	93.381,00
Produtos Químicos	97.400,00	54.234,00
Custo de Energia	83.000,00	463.038,00
Reposição de elementos	344.000,00	226.800,00

Fonte: MIERZWA, J.C., SILVA, M.C.C., RODRIGUES, L.D.B., HESPANHOL, I. 2008

O custo de investimento da Ultrafiltração chega a ser quase o dobro do sistema convencional, quando comparamos ao sistema com carvão ativo é 12% inferior, nos anos seguintes temos um retorno mais rápido, isso devido ao custo de operacional inferior (ALMEIDA, A.L.M.,2011).

Tabela 2.2 - Indicador de custo por m³ de água tratada

Custo de tratamento (R\$/m³)		
Período de Retorno (Anos)	Sistema convencional com carvão ativado	Sistema de ultrafiltração
1	1,24	1,15
5	0,5	0,51
10	0,41	0,44
15	0,39	0,42
20	0,38	0,41
25	0,37	0,4
30	0,37	0,4

Fonte: MIERZWA, J.C., SILVA, M.C.C., RODRIGUES, L.D.B., HESPAHOL, I. 2008

Como podemos ver na Tabela 2.2 os custos de tratamento são muito próximos sendo que a Ultrafiltração ocupa uma área inferior e tem um processo com menor carga química.

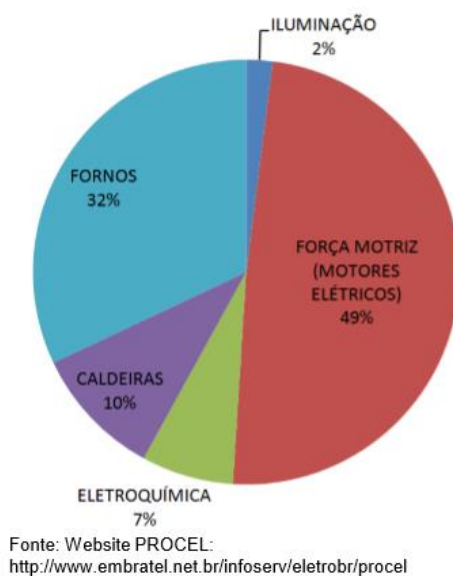
2.6 Crescimento do consumo de energia elétrica no fornecimento de água

O consumo de energia elétrica deve acompanhar o crescimento do PIB de forma a suportar o aumento de produção, crescimento do número de negócios e crescimento populacional. O consumo de energia para melhor controle e monitoramento está dividido em vários setores da economia onde o setor industrial é o principal consumidor. O setor de tratamento de água e esgotos também possuem um volume alto de consumo de energia elétrica sendo responsável por 3% do consumo total nacional. Isso deve-se a quantidade elevada de motores os quais são responsáveis pelo bombeamento de água e lodo, ventiladores e compressores de ar utilizados

nos processos de tratamento (LUZ, C.E., RÉ, A.M., HERNANDES, F, CASTANHO, M.J.P., 2016).

Como ilustrado abaixo no gráfico a força motriz é responsável por 49% do consumo industrial.

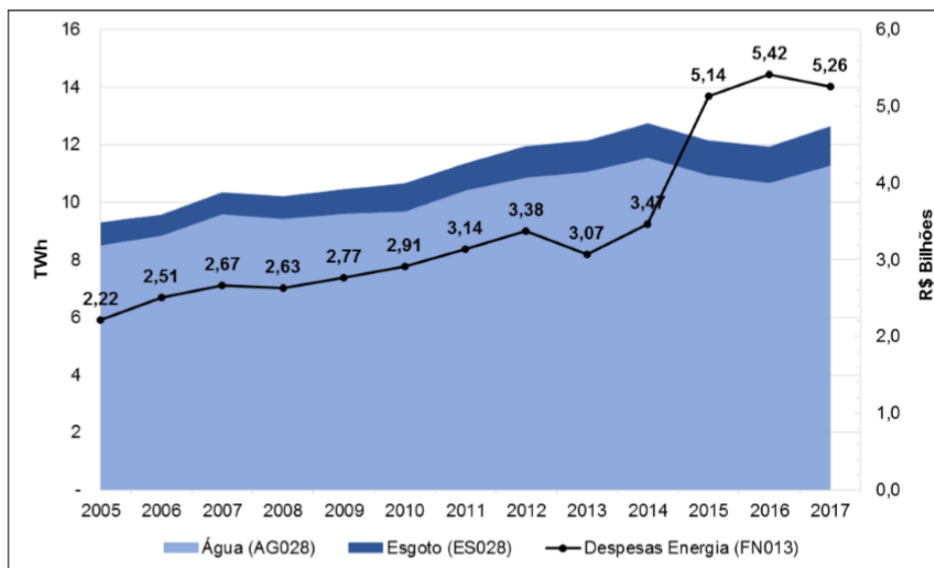
Figura 2.10 - Gráfico de composição do consumo de energia elétrica Industrial



Fonte: IOSHIMOTO, E., 2017 parte I, p. 5.

Segundo o relatório Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto – 2017 emitido pelo SNIS, em 2017 o total de energia consumida para abastecimento de água foi 12,6 TWh. Podemos observar um crescimento acentuado entre 2014 e 2015 que foi reflexo da implementação do sistema de bandeiras tarifárias e acréscimo de tarifas.

Figura 2.11 - Gráfico de evolução de consumo de energia elétrica e despesas com energia elétrica 2005 a 2017



Fonte: SNIS, 2017, p. 50

Entre 2015 e 2017 o patamar de valores se manteve praticamente o mesmo, havendo uma pequena redução de custo de energia em 2016.

Este ponto valida a necessidade de colaborarmos com a geração elétrica em sistemas como este que possui um alto consumo.

2.7 Geração Distribuída

O constante aumento do consumo e demanda de energia elétrica na matriz existente, conjugada a previsão de crescimento econômico conduz a novos diálogos sobre um futuro onde o desenvolvimento tecnológico abre as portas a novas possibilidade de geração com menor impacto ecológico.

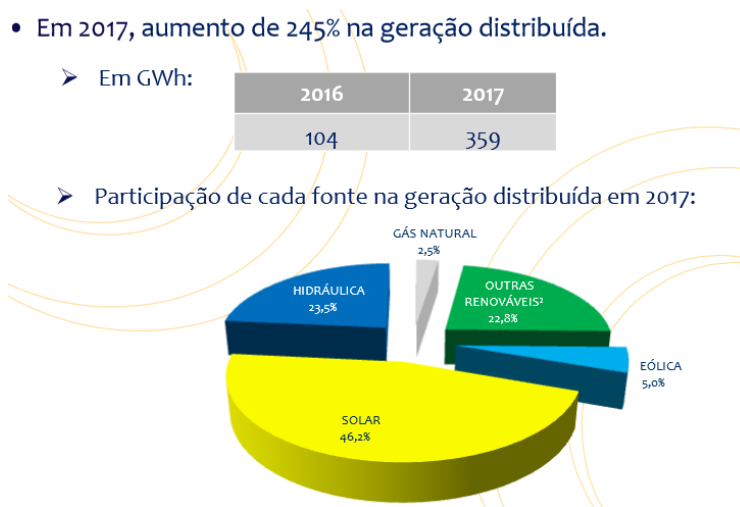
Hoje o crescimento econômico está atrelado ao crescimento da disponibilidade de energia e a disponibilidade energética depende na sua maioria da construção de novas centrais de geração de grande porte. As construções de empreendimentos de grande dimensão alocam volumes

consideráveis de recursos financeiros, atrelam riscos de construção, necessitam prazos de construção extensos e geram um grande impacto ambiental.

Estas restrições e condições influenciam a procura de soluções que gerem menor impacto ambiental e à busca de um cenário futuro com geração descentralizada poderá ser uma solução. Cada consumidor poderá gerar a sua própria energia e colaborar para uma rede integrada de geração próxima ao consumo, isso vem motivar o desenvolvimento de condições políticas para diversificação da matriz energética.

Os dados abaixo ilustram o crescimento do mercado de geração distribuída de 2016 a 2017, tendo o aumento de 245%. Podemos observar que a geração fotovoltaica representa 46,2% do total das conexões de geração distribuída. Isso deve-se ao maior aplicabilidade e facilidade da utilização do sistema (BEM, 2018).

Figura 2.12 - Dados do crescimento da geração Distribuída 2016 e 2017



Fonte: BEM 2018, EPE, p. 36

A Resolução 482 de 2012 veio para regular o mercado de geração distribuída, a tabela abaixo define as tipologias com as condições que restringem a aprovação de uma unidade ser considerada como Geração distribuída.

Tabela 2.3 - Tipo de Geração Distribuída

Tipologia	Potência Instalada	Condições
Microgeração	$P.I. \leq 75kW$	<ul style="list-style-type: none"> • Cogeração Qualificada • Fontes Renováveis de Energia Elétrica • Conectada na Rede de Distribuição por meio de Unidades Consumidoras
Minigeração	$75kW < P.I. \leq 3MW$	<ul style="list-style-type: none"> • Fontes Hídricas • Conectada na Rede de Distribuição por meio de Unidades Consumidoras
	$75kW < P.I. \leq 5MW$	<ul style="list-style-type: none"> • Cogeração Qualificada • Fontes Renováveis de Energia Elétrica • Conectada na Rede de Distribuição por meio de Unidades Consumidoras

Fonte: REN 482, 2012

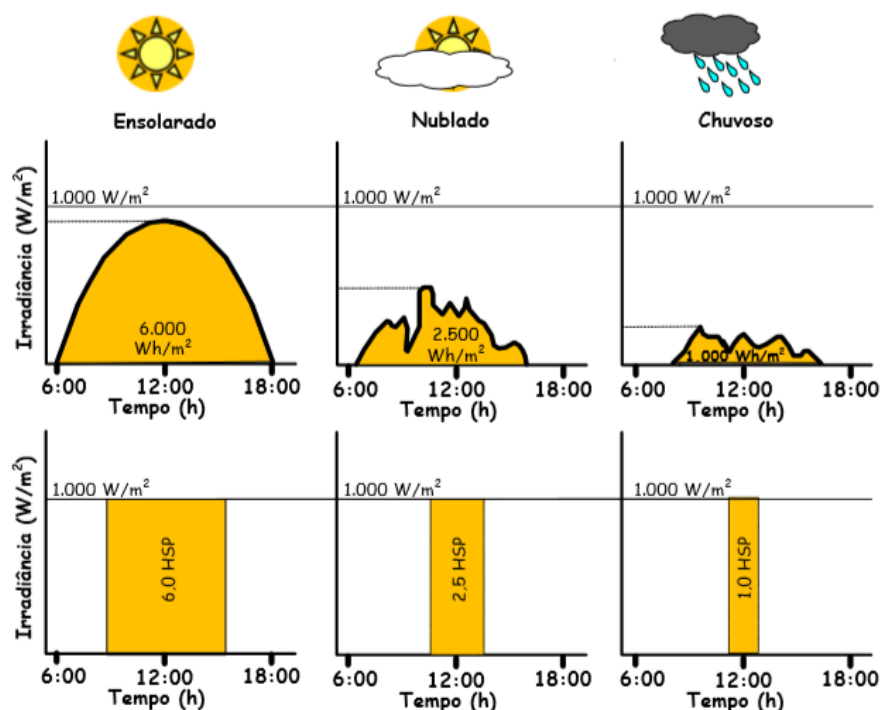
Estando a unidade de geração elétrica incluída dentro das tipologias de Micro ou Minigeração, esta pode beneficiar-se da compensação de energia onde deve ocorrer primeiramente no mesmo posto tarifário (ponta, fora de ponta, intermediário) de geração e posteriormente os seguintes observando-se a diferença dos valores do tarifário (REN 482, 2012).

2.8 Conceito Horas de Sol Pleno

O projeto de um sistema fotovoltaico depende da avaliação do recurso solar disponível na região de aplicação os quais não são constantes todo o tempo. Desde modo utilizamos metodologias de tratamento de dados de forma a quantificar uniformizar os valores. Para obtermos valores coerentes e que expressem uma situação ao longo do tempo de maneira uniforme utiliza-se para

os cálculos os valores da média mensal do histórico anual. A produção de energia está diretamente ligada com a irradiância solar incidente sobre o plano do painel, desta forma a grandeza para dimensionamento será o número de horas no qual a irradiância permanece constante a 1.000 W/m^2 . Este método é chamado de Horas de Sol Pleno (HSP), assim temos um valor equivalente de horas de um determinado local que a irradiação é constante (PINHO, J.T., GALDINO, M.A., 2014).

Figura 2.13 - Ilustração para compreensão da grandeza Horas de Sol Pleno



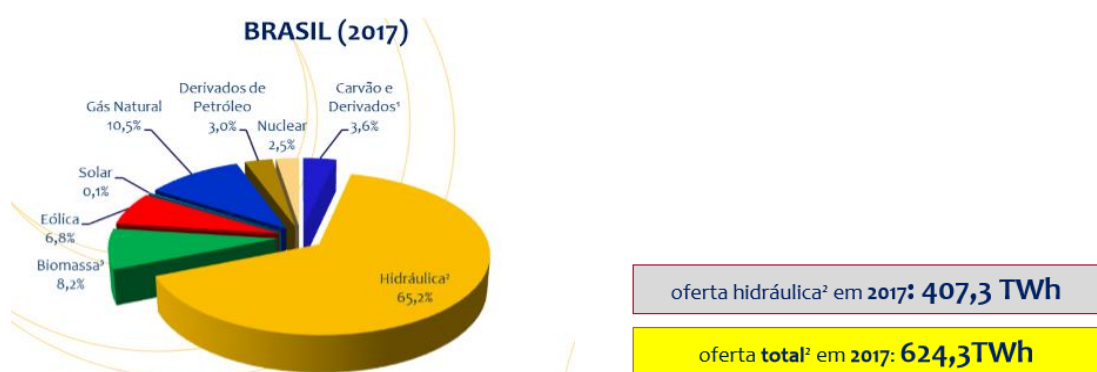
Fonte: PINHO, J.T., GALDINO, M.A., 2014 p.301.

Irradiação incidente no plano do painel é convertida em média diária em kWh/m^2 , este valor é acumulado e encontrada a sua média histórica mensal para o determinado plano e é utilizada nos cálculos de geração energética.

2.9 Bandeira Tarifária Aneel

No Brasil a geração de energia elétrica é principalmente sustentada pela geração hidrelétrica que corresponde a 62,3% de toda a energia produzida. Apesar do alto impacto ambiental e o alto custo de construção de uma hidrelétrica ainda é a fonte de energia mais barata de kWh.

Figura 2.14 - Gráfico fontes de Geração Elétrica



Fonte: BEM 2018, EPE, p. 30

Em épocas de estiagem como vivemos em 2015-2017 que os níveis dos reservatórios estavam bastante baixos a produção hidrelétrica é reduzida e assim é ativada outras fontes de transformação sendo principalmente Unidades Termoelétricas. A energia proveniente de produção termoelétrica as é mais cara e mais poluente, sendo o custo do kWh mais alto este acréscimo na produção é repassado para os consumidores.

Estes custos são compensados por acréscimos no valor da energia no cliente final por modalidade de Bandeiras Tarifárias.

Bandeira Verde – condições favoráveis para geração de energia, não gera acréscimo na tarifa.

Bandeira Amarela – condições menos favoráveis para geração de energia, acréscimo de 0,10 R\$/kWh consumidos.

Bandeira Vermelha Patamar I – condições mais custosas para geração de energia, acréscimo de 0,30 R\$/kWh

Bandeira Vermelha Patamar II – condições muito custosas para geração de energia, acréscimo de 0,50 R\$/kWh

Em períodos de grande volume de chuvas teremos maior disponibilidade de energia hidrelétrica o que permite uma geração de energia mais barata e ao mesmo tempo significa que temos água disponível nos reservatórios. (ANEEL, 2015).

2.10 Indicadores de Análise de Viabilidade

Para implantação de um projeto seja de qualquer natureza e principalmente se este envolve alto valor de investimento é necessário realizar a sua análise de viabilidade. Antes de decidirmos ou um pull de investidores aprovar o investimento temos de obter previamente algumas respostas que são: é ou não compensatório o investimento; em quanto tempo se terá o retorno dos valores investidos; qual o lucro esperado com o investimento. Para isto é necessário utilizar indicadores de viabilidade os quais são o Payback, Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR) (PARENTE, 2018).

Para iniciarmos com as análises financeiras devemos primeiramente ter uma estimativa orçamentária do projeto, com os valores de investimento e operação ao longo do tempo. Seguidamente os faturamentos ou economia que será obtido ao longo dos meses/anos. Devemos estimar junto os investidores, acionistas e mercado o fator de desconto (r) que iremos aplicar na atualização financeira. Este fator irá depender dos interesses dos acionistas, patrimônio líquido, quantidade de equity, quantidade de dívida e custos de crédito. Com estas variáveis definidas podemos seguir com a avaliação financeira do projeto.

2.10.1 Payback Simples

O Payback Simples é a análise financeira que avalia a recuperação entre projetos ou investimentos onde é contabilizado o investimento inicial e as entradas incrementais de caixa. (PARENTE, 2017). O cálculo do Payback Simples, é realizado pela seguinte equação:

$$Payback = \frac{|Investimento\ Inicial|}{Fluxo\ de\ Caixa\ Anual} \quad (2.1)$$

As vantagens deste cálculo é a simplicidade, facilidade e apelo intuitivo. Por ser um cálculo simples não é necessário aferir com precisão a entrada de fluxo. A avaliação de risco é medida pelo tempo que demora a recuperar o investimento inicial (quanto maior a exposições maior o risco). Deve ser utilizada como uma técnica simples e complementar a decisões complexas. Algumas desvantagens deste método é que não utiliza fluxos descontados assim poderá haver distorções no prazo real de recuperação e não oferece a visão aos acionistas do valor acrescentado do negócio (PARENTE, 2017).

2.10.2 Valor Presente Líquido (VPL)

A técnica do Valor Presente Líquido (VPL) é mais completa que o cálculo de Payback, devido a considerar os descontos financeiros agregados a um investimento ao longo do tempo. A regra do Valor Presente diz que o valor de é sempre maior que o valor amanhã. Os fluxos de caixa ao longo do tempo não podem ser agregados nem comparados sem ser trazidos ao mesmo ponto do tempo. (PARENTE, 2017).

As principais fórmulas são:

Valor Presente

$$VP = \frac{FC}{(1+r)^n} \quad (2.2)$$

Valor Presente Líquido

$$VPL = \sum_{t=0}^n \frac{FC_t}{(1+r)^t} \quad (2.3)$$

Sendo que

FC_t , Fluxos de Caixa;

t , Fator Tempo que varia de $t=0$ a $t=n$;

r , Taxa de Desconto, necessário definir previamente.

Sendo o seguinte parâmetro o critério de avaliação:

- Se o $VPL > 0$, o projeto é economicamente viável, o projeto com maior VPL é considerado o mais interessante.

2.10.3 Payback Descontado

O Payback se torna um método mais confiante quando é aplicado o fator de desconto no seu cálculo o que torna em valor atual.

$$Payback Descontado = \sum_{t=1}^n II_0 + VP_t \quad (2.4)$$

Para o Payback Descontado o cálculo é realizado até o fluxo se tornar positivo aí é encontrado o tempo para retorno.

2.10.4 Taxa Interna de Retorno (TIR)

Taxa Interna de Retorno (TIR) é a taxa que iguala o VP das entradas do fluxo de caixa com o valor de saída do Investimento. Podemos afirmar que a TIR é taxa para que o VPL seja igual a zero. (PARENTE, 2017).

$$VPL = 0 \Rightarrow \sum_{t=0}^n \frac{FC_t}{(1 + TIR)^t} = 0 \quad (2.5)$$

O indicador de Taxa Interna de Retorno (TIR) utilizado na avaliação de viabilidade de investimentos nos auxilia na tomada de decisão.

Sendo os seguintes parâmetros critérios de análise:

- $TIR > r$: retorno maior que mínimo exigido, projeto seria aprovado;
- $TIR = r$: retorno igual ao mínimo exigido, projeto pouco atrativo mas seria aprovado;
- $TIR < r$: retorno menor ao mínimo exigido, projeto seria reprovado.

3 Estudo de Caso

3.1 Descrição do Sistema de Tratamento e seu Consumo Energético

A ETA de ultrafiltração modelo do estudo está situada à beira do Lago Paranoá em Brasília no DF. A estação é composta por um sistema de captação elevatória que capta a água do lago e bombeia para a estação de tratamento que se situa a aproximadamente 400m para norte.

Figura 3.1 - Localização da estação de tratamento



Fonte: GOOGLE EARTH. 2019

A área da ETA tem aproximadamente 8350m² e se divide entre zonas de circulação, edificação administrativa, sala elétrica, área verde e processo.

O sistema de tratamento de água por ultrafiltração de membranas de osmose reversa é projetado para a capacidade de filtração de 690 l/s com regime de funcionamento de 24 horas sendo filtrado 59.000 m³/dia.

O processo de tratamento de água é composto por etapas, as quais são Captação, Tratamento de Lodo, Ultrafiltração, Tanque de Água Potável e Alimentação da Rede. Cada etapa é composta por processos específicos, para entendimento de cada etapa de uma forma resumida faço um descritivo onde relaciono os trabalhos e os equipamentos que compõem o processo.

Junto no descritivo é relacionado a potência de equipamento, assim é possível avaliar a representatividade de cada etapa no perfil de carga do processo.

O levantamento da carga do sistema foi efetuado através do Diagrama de Processo (Apêndice I) onde está indicado a localização e quantidade dos motores utilizados. As potências dos motores foram levantadas através das folhas de dados, especificações técnicas e descritivos das cotações recebidas (WEG, 2017).

3.1.1 Captação

A captação é realizada por 3 bombas submersíveis de potência 287kW, a água é bombeada para uma diferença de cota com aproximadamente 10m onde está situada a ETA e entra no sistema sem necessidade de elevatória dedicada.

Na Tabela 3.1 temos a lista dos equipamentos de carga para esta etapa do processo

Tabela 3.1 - Relação de equipamentos e cargas Captação

Lista de motores	Qtd	Qtd Funcionamento	Standby	Potência Nominal (kW)
Bomba submersível de captação 3+1	4	3	1	287

Fonte: Própria

3.1.2 Tratamento de lodo

A água bombeada da captação entrará em um filtro fino para retenção de partículas até 200 µm. A água filtrada será encaminhada diretamente para as membranas e o lodo resultante da filtração

que ainda contém grande concentração de água será direcionado para o tratamento químico, neutralização e despejo na rede de esgoto existente.

Na Tabela 3.2 temos a lista dos equipamentos de carga para esta etapa do processo

Tabela 3.2 - Relação de equipamentos e cargas Tratamento de Lodo

Lista de motores	Qtd	Qtd Funcionamento	Standby	Potência Nominal (kW)
Aagitador tanque de neutralização	1	1	0	3,1
Aagitador tanque de recalque	1	1	0	3,1
Bomba de Adensadores	1	1	0	3,7
Bombas de rede coletora	2	1	1	3
Bomba dosadora 1200 l/h	2	1	1	1,1
Bomba dosadora 389 l/h	2	1	1	0,75
Bomba dosadora 195 l/h	2	1	1	0,5

Fonte: Própria

3.1.3 Ultrafiltração

A água filtrada e clarificada proveniente do filtro e do tratamento de lodo é bombeada para 7 skids contendo 90 módulos de membranas cada. Aqui a água é ultrafiltrada por membranas para atender a produção de 0,7m³/s e 60.480 m³/dia, ou seja, com produção de 24h.

Este é um processo de osmose reversa onde a passagem da água pelas membranas é dada pela diferença de pressão proveniente do bombeamento da captação e tanque de água clarificada.

Para garantir o funcionamento e a performance do processo é utilizado um sistema de retrolavagem onde um composto de água com químicos e ar são bombeados e soprado no sentido oposto ao fluxo de filtração de forma a efetuar a limpeza das membranas.

A água filtrada segue para o tanque de água potável e o resíduo resultante da limpeza dos filtros é neutralizado e despejado na rede de esgoto.

Na Tabela 3.3 temos a lista dos equipamentos de carga para esta etapa do processo

Tabela 3.3 - Relação de equipamentos e cargas Ultrafiltração

Lista de motores	Qtd	Qtd Funcionamento	Standby	Potência Nominal (kW)
Bomba de Backwash	2	2	0	37
Sopradores	2	2	0	20
Bombas de CIP	2	1	1	7,5
Agitador CIP	1	1	0	0,25
Compressores 5CV	2	1	1	7,5
Bomba dosadora 1400 l/h	2	1	1	1,1
Bomba dosadora 770 l/h	2	1	1	1

Fonte: Própria

3.1.4 Tanque de água potável e Alimentação da rede

A água filtrada proveniente das membranas leva uma carga química no seu último estágio de potabilização e é lançada para um tanque de água potável onde a mistura será homogeneizada, e através de quatro bombas centrifugas a água potável é lança na rede de distribuição.

Na Tabela 3.4 temos a lista dos equipamentos de carga para esta etapa do processo

Tabela 3.4 - Relação de equipamentos e cargas Tanque de água Potável e Alimentação

Lista de motores	Qtd	Qtd Funcionamento	Standby	Potência Nominal (kW)
Bombas de alimentação de 14m³/h	4	2	2	3
Bomba dosadora 9 l/h	2	2	0	0,3
Agitador de Geocalcio	2	2	0	1,96
Bomba dosadora de Geocalcio 55 l/h	2	2	0	0,3
Bomba dosadora de Hipoclorito 120 l/h	2	2	0	0,5
Bomba Centrifuga 795 m³/h	5	4	1	150
Compressores 12cv	2	2	0	7,5

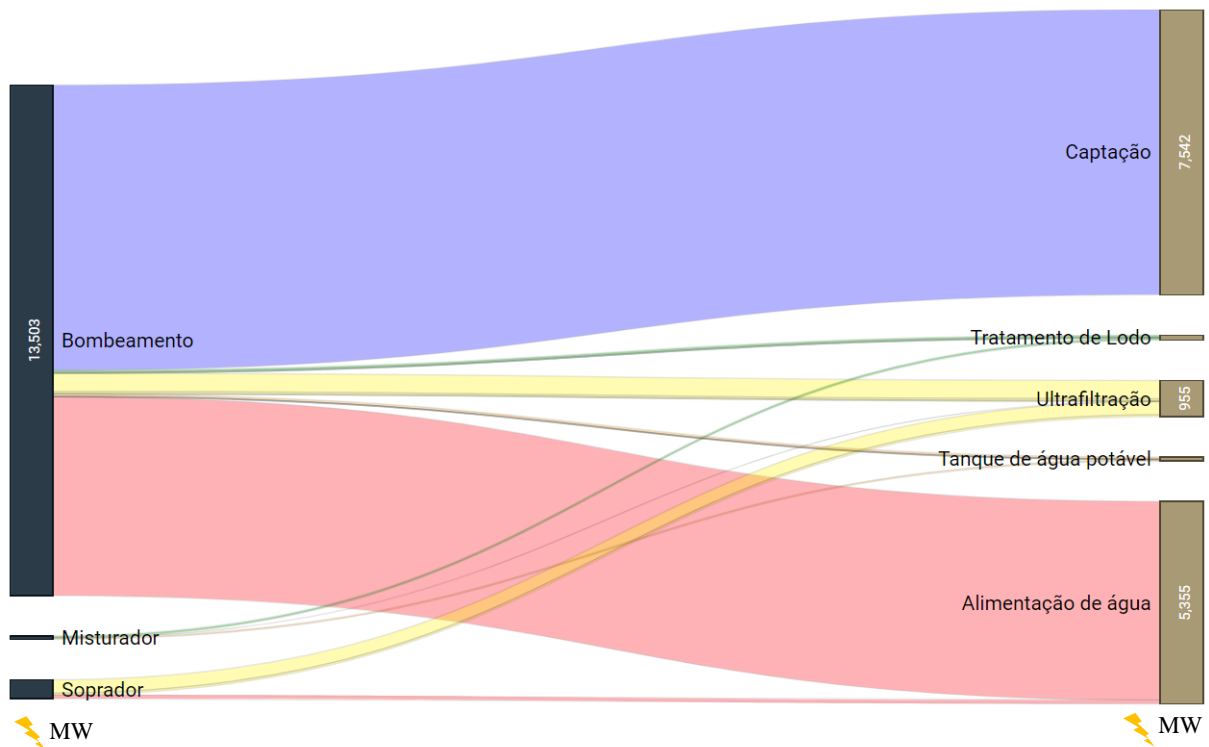
Fonte: Própria

3.1.5 Carga a ser atendida

Os equipamentos rotativos mencionados acima são os com maior representatividade no consumo de energia elétrica do sistema, além destes, temos a alimentação dos equipamentos de automação e elétrica, como instrumentos, painéis, IHM, luzes, etc. os quais não foram contabilizados para o estudo.

O Diagrama de Sankey abaixo ilustra de forma resumida a análise de carga em MW do processo, onde relaciona tipo de equipamento rotativo com as etapas do processo.

Figura 3.2 - Diagrama de Sankey carga por equipamento e etapa



Fonte: Própria (Elaborado em: <http://sankey-diagram-generator.acquireprocure.com/>)

No dimensionamento do sistema foi previsto dois transformadores para garantir o funcionamento da planta respectivamente, 1500kVa e 750kVa. Como objetivo do estudo para este trabalho vamos considerar a energia consumida somente para a etapa de Ultrafiltração onde os equipamentos principais utilizados são os relacionados na Tabela 3.5.

Tabela 3.5 - Relação de equipamentos e cargas Ultrafiltração

Lista de motores	Qtd	Qtd Funcionamento	Standby	Potencia Nominal (kW)	kWh	Regime de Operação	kWdia	kWano
Ultrafiltração								
Bomba de Backwash	2	2	0	37	74,00	18,0	1.332,00	486.180,00
Sopradores	2	2	0	20	40,00	24,0	960,00	350.400,00
Bombas de CIP	2	1	1	7,5	7,50	18,0	135,00	49.275,00
Agitador CIP	1	1	0	0,25	0,25	24,0	6,00	2.190,00
Compressores 5CV	2	1	1	7,5	7,50	18,0	135,00	49.275,00
Bomba dosadora 1500 l/h	2	1	1	1,1	1,10	24,0	26,40	9.636,00
Bomba dosadora 700 l/h	2	1	1	1	1,00	24,0	24,00	8.760,00
Total kW							2.618,40	955.716,00
Total MW								955,72

Fonte: Própria

Levando em conta a potência de cada motor e o seu regime de operação chegamos ao consumo anual de 955,72MW e este valor será o considerado no estudo abordado por este trabalho.

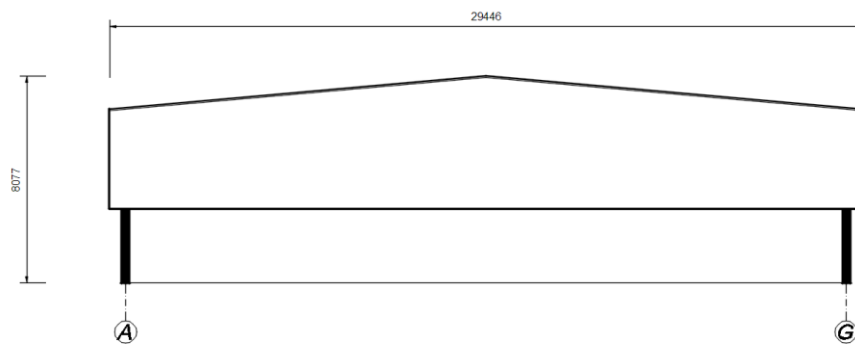
3.2 Estudo da área disponível para coleta

O layout da ETA é dividido em zonas dedicadas a circulação, edificação administrativa, edificação da sala elétrica, área do processo e área verde totalizando 7350m².

No sistema de ultrafiltração os trens das membranas são construídos com material plástico que devem ficar protegidos da exposição solar para evitar deterioração precoce do equipamento (material - PEAD ou PEBD). Para garantir essa proteção é construída uma cobertura sobre toda a área das membranas feita em estrutura metálica e telhas tipo sanduiche. A ideia será utilizar esta área disponível para a instalação de um sistema fotovoltaico para geração de energia elétrica para a etapa de Ultrafiltração.

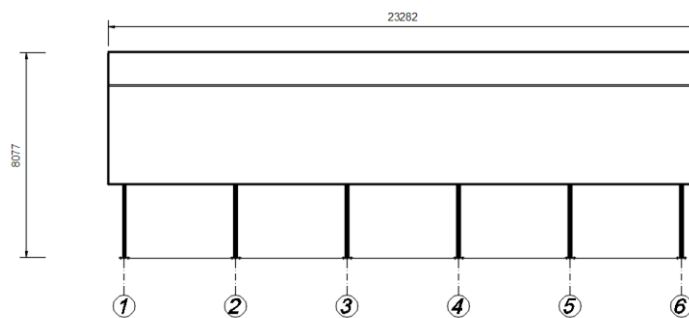
A cobertura mencionada tem as dimensões como mostrado nas figuras 3.3 e 3.4.

Figura 3.3 - Vista frontal da cobertura



Fonte: Própria

Figura 3.4 - Vista lateral da cobertura



Fonte: Própria

Esta estrutura disponibiliza uma área para instalação de painéis solares com aproximadamente 685m². Com a área definida passamos a analisar o alinhamento da cobertura com o Norte, consideramos a linha longitudinal da cumieira como referência e verificamos que está deslocada 21,4° para oeste conforme imagem abaixo.

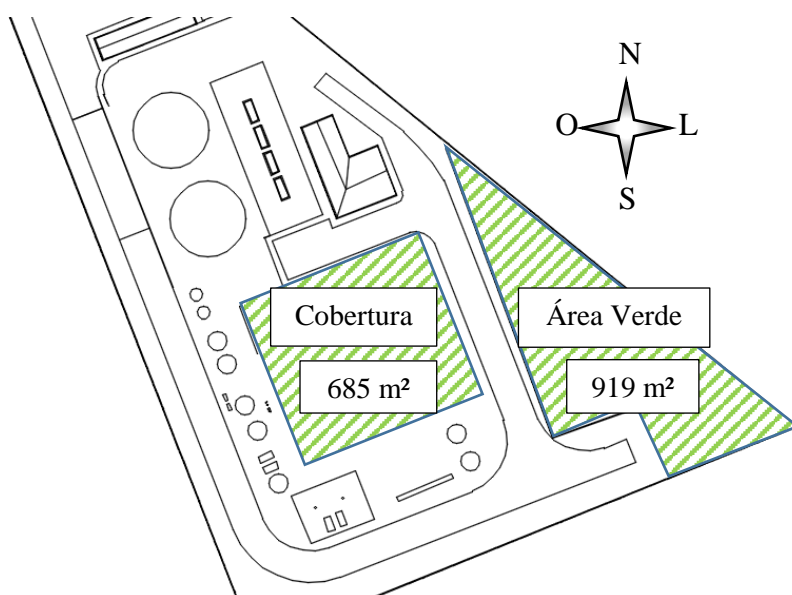
Figura 3.5 - Orientação Norte da cobertura



Fonte: GOOGLE EARTH, 2019

Outra área com possibilidade para instalação de painéis FV será a Área verde destinada a vegetação natural que possui 919 m². Esta área está bem posicionada no Layout com face livre para norte e sem incidência de sombra.

Figura 3.6 - Layout da ETA com áreas para instalação de painéis FV



Fonte: Própria

Somando as duas áreas teremos aproximadamente 1604 m² disponíveis para instalação de painéis solares.

3.3 Cálculo da quantidade de painéis

Para verificarmos a quantidade possível de painéis que cabem na área disponível, temos que primeiramente definir o tamanho do painel a ser utilizado e calcular a sombra deste nos horários de início da manhã (9:30) e final da tarde (15:30) na data de 21 de Junho onde amplitude do ângulo zenital será a maior e assim gerando maior sombra. Assim encontramos o espaçamento necessário entre as fileiras dos painéis de forma a estes não interferirem gerando sombra nos posteriores reduzindo a geração do sistema.

Os painéis certificados pelo Inmetro que estão disponíveis no mercado têm medidas que variam entre 1,2m x 0,6m à 2,1m x 1m, como estamos perante a uma solução industrial e temos um espaço considerável escolhemos o painel de maior dimensão 2m x 1m (IMETRO, 2017).

Do aplicativo Googleearth retiramos as coordenadas geográficas da ETA que são as seguintes: Latitude 15°44'21.89''S, Longitude 47°49'55.52''O

Na tabela 3.6 apresento os cálculos dos ângulos de posicionamento solar relativamente ao plano terrestre, de forma a identificarmos o percurso solar e ilustrar sua posição nos horários definidos.

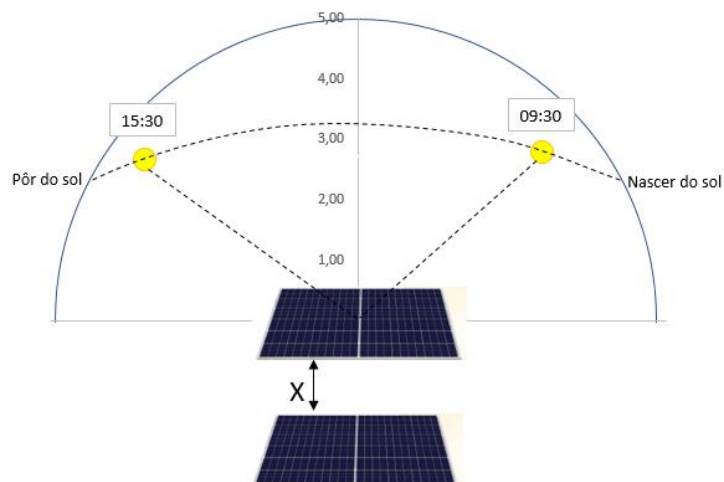
Tabela 3.6 - Resumo de cálculo do ângulo solar

Latitude	Φ		-14,26°	
Longitude	L		47,83°	
Longitude Hora Legal	LO		45°	
Dia do ano	Formulas		21/jun	
N° do dia do ano	n	$n = \text{Dia} + (\text{Mes} - 1) \times 30 + \text{Cor}$ $2 < \text{Mes} \leq 8, \text{Cor} = \text{Int}(\text{Mes}/2) - 2$	172,0	
Declinação Solar	δ	$\delta = 23,45 \times \text{sen}(360/365 \times (284 + n))$	23,45°	
Variável	B	$B = (360/364) \times (n - 81)$	90,0	
Variável	E	$E = 9,87 \times \text{sen}(2B) - 7,53 \times \text{cos}(B) - 1,5 \times \text{sen}(B)$	-1,500	
Índice de correção de hora	Corhora	$\text{Corhora} = ((4 \times (LO - L) + E)) / 60$	-0,214	
Ângulo Horário do por do Sol	ωs	$\text{cos}(\omega_s) = -\text{tan}(\Phi) \times \text{tan}(\delta)$	83,67°	
Duração da Insolação	N	$N = (2/15) \times \omega_s$	11,16	
Horário Solar do por do Sol	HSS	$\omega_s = (HSS - 12) \times 15$	17,58	
Horário Local do por do Sol	HLS	$HSS = HLS + \text{Corhora}$	17,792	
Horário Local do por do Sol	HLs 00:00:00		17:47:31	
Ângulo Zenital no por do Sol	θzs	θzs=90° no por do sol	90°	
Azimute solar no por do Sol	γss	$\gamma_{ss} = \arccos((\text{cos}\theta_{zs} \times \text{sen}\Phi - \text{sen}\delta) / (\text{sen}\theta_{zs} \times \text{cos}\Phi))$	±114,24°	
Hora Local	HL		9,50	15,50
Hora Solar	HS	$HS = HL + \text{Corhora}$	9,29	15,29
Hora Solar	HS 00:00:00		9:17:10	15:17:10
Ângulo Horário	ω	$\omega = (HS - 12) \times 15$	-40,71	49,293
Ângulo Zenital	θz	$\text{cos}\theta_z = \text{sen}\delta \times \text{sen}\Phi + \text{cos}\delta \times \text{cos}\Phi \times \text{cos}\omega$	54,83	61,193
Azimute solar	γs	$\gamma_{ss} = \arccos((\text{cos}\theta_z \times \text{sen}\Phi - \text{sen}\delta) / (\text{sen}\theta_z \times \text{cos}\Phi))$	-132,95	127,47

Fonte: Própria

Para melhor entendimento da trajetória solar no gráfico abaixo temos uma ilustração do posicionamento solar nos horários de 9:30 e 15:30 dentro da trajetória solar para a posição geográfica da ETA.

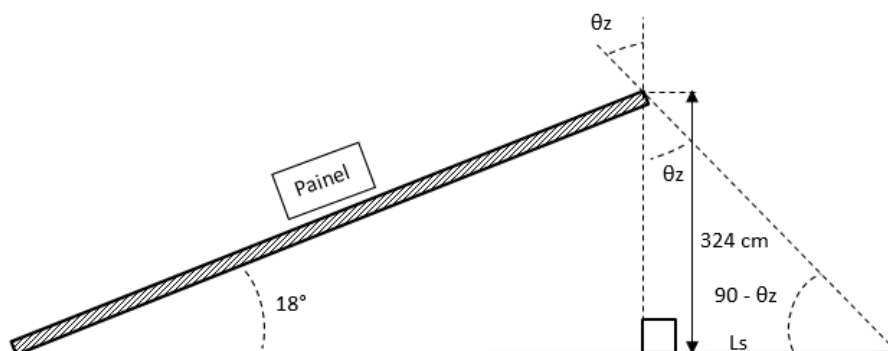
Figura 3.7 - Trajetória solar para cálculo de sombra.



Fonte: Própria

Com o ângulo zenital podemos calcular o comprimento da sombra (L_s) sobre o plano terrestre, para o cálculo consideramos a distância do plano horizontal até a ponta mais alta do painel onde é atingida quando o painel é posicionado no ângulo do plano inclinado definido pelo CRESESB de 18° .

Figura 3.8 - Diagrama de cálculo de sombra



Fonte: Própria

Pela trigonometria temos a fórmula da tangente,

$$tg\alpha = \frac{co}{ca} \Rightarrow tg\theta_z = \frac{Ls}{H}, \quad (3.1)$$

Tabela 3.7 - Cálculo do comprimento da sombra Ls

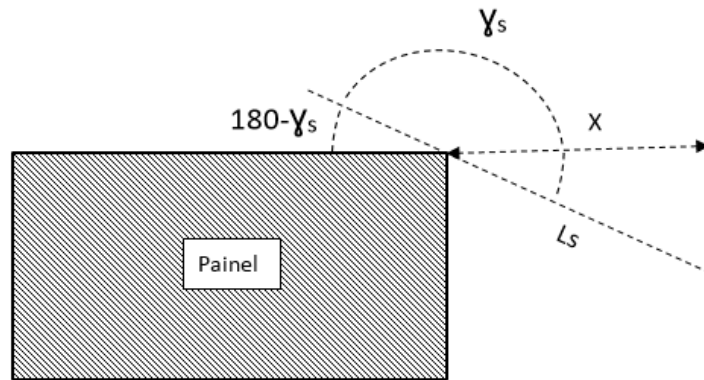
Descrição	Incognitas	Uni.	Horario 1	Horario 2
Hora Local	HL	h	9,50	15,50
Ângulo Zenital	θ_z	°	54,831	61,193
Altura do Painei	H	m	0,324	
Comprimento da Sombra ($Ls=tang(\theta_z) \times H$)	Ls	m	0,46	0,59

Fonte: Própria

O comprimento da sombra Ls será a hipotenusa do triângulo retângulo formado pelo espaçamento entre painéis X e o ângulo ($180-\gamma_s$). Para encontrarmos o espaçamento X recorreremos novamente a trigonometria a fórmula do cosseno,

$$cosa = \frac{ca}{hi} \Rightarrow \cos(180 - \gamma_s) = \frac{X}{Ls} \quad (3.2)$$

Figura 3.9 - Cálculo do espaçamento X entre os painéis



Fonte: Própria

A tabela 3.8 resume os valores das variáveis do problema e apresenta a distância mínima para que não haja sombra sobre os painéis FV, assim temos que ter uma distância mínima de 360mm para garantir a eficiência do painel.

Tabela 3.8 - Cálculo da distância entre painéis

Descrição	Incognitas	Uni.	Horario 1	Horario 2
Hora Local	HL	h	9,50	15,50
Azimute solar	γ_s	°	132,95	127,47
Comprimento da Sombra	L_s	m	0,46	0,59
Distância entre paineis	X	m	0,31	0,36

Fonte: Própria

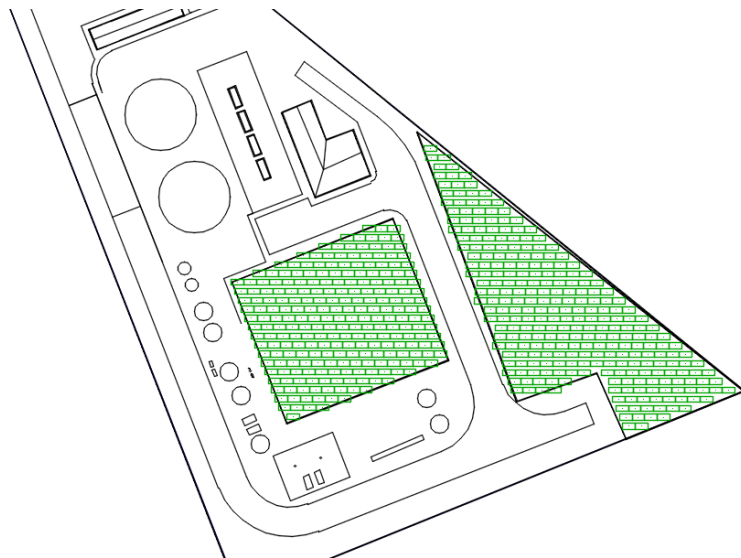
Chegamos ao valor mínimo para espaçamento dos painéis de 0,36m, considerando que precisamos um espaço para manutenção entre as fileiras dos painéis definimos a distância mínima de 500mm entre as fileiras.

Com dimensão de espaçamento entre as fileiras definida e considerando o tamanho do painel selecionado 2m x 1m, utilizamos a projeção no plano horizontal para através de uma aplicação gráfica de desenho projetar a quantidade preliminar de painéis possível de ser instalada nas áreas disponíveis.

Para a área do galpão foi considerado a instalação de uma estrutura sobre o telhado para nivelar o plano horizontal de instalação dos painéis, sendo possível posicionar no máximo 240 painéis.

Na Área verde a instalação será realizada sobre terreno nivelado onde será possível posicionar no máximo 275 painéis.

Figura 3.10 - Definição da quantidade de painéis instalados na área disponível

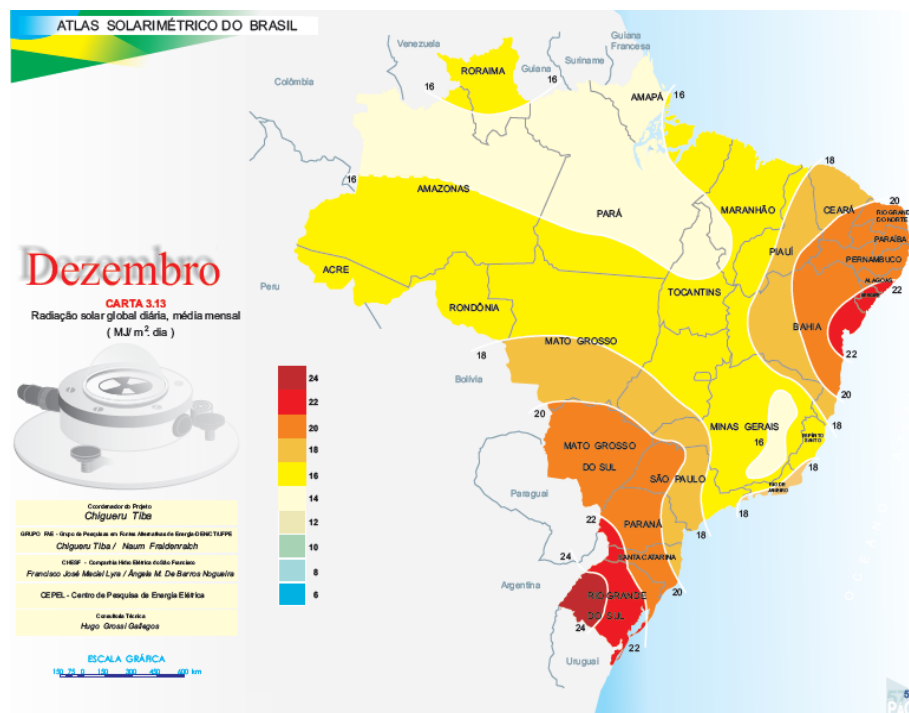


Fonte: Própria

Chegamos ao número total de 515 painéis possíveis para instalação na área da ETA.

No mês de Dezembro temos radiação solar global diária, média mensal disponível de 18 MJ/m².dia (5 kWh/m².dia)

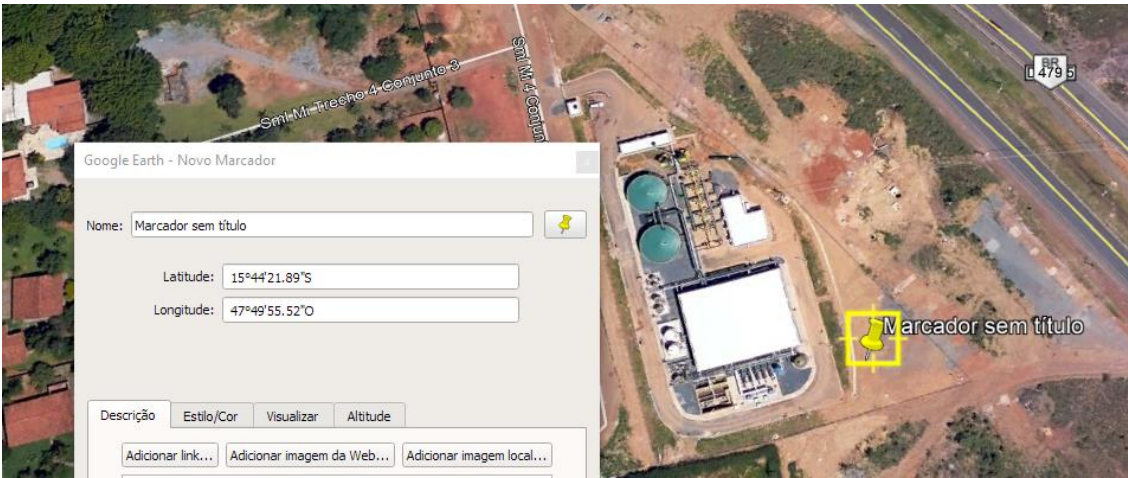
Figura 3.12 - Gráfico de Radiação solar global diária, média mensal – Dezembro



Fonte: ATLAS SOLARIMÉTRICO DO BRASIL, p.57

Abaixo na imagem de satélite identificamos a localização geográfica da ETA em Brasília onde temos o seu posicionamento com Latitude 15°44'21.89''S, Longitude 47°49'55.52''O.

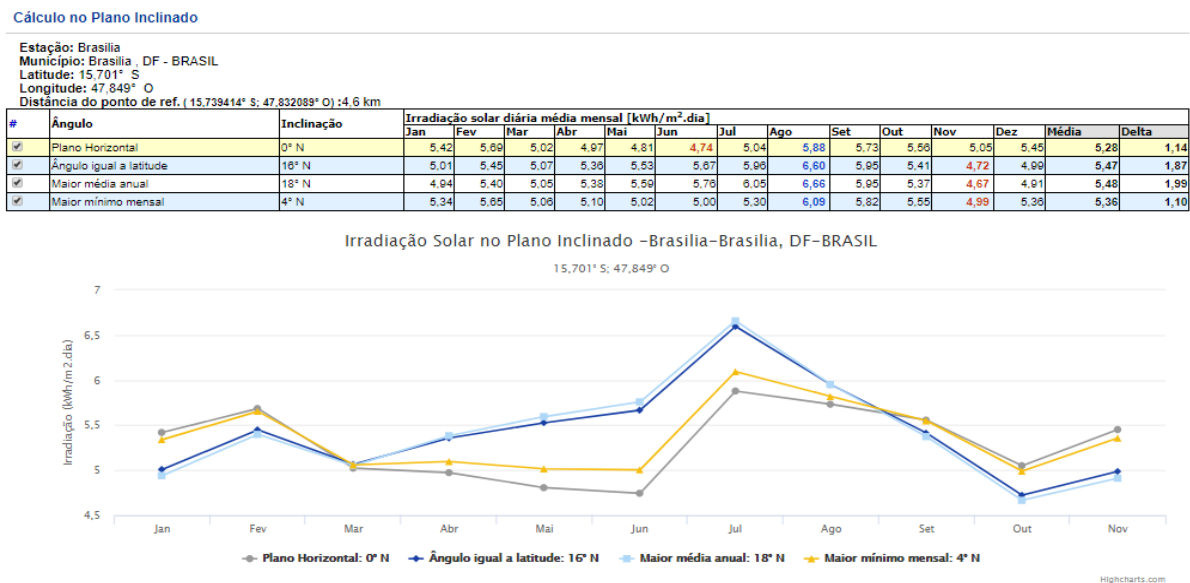
Figura 3.13 - Localização e posição geográfica ETA



Fonte: Google Earth, Acesso em: 24 de fevereiro de 2019

Pelo CRESESB verificamos a radiação diária média mensal no plano inclinado onde assumimos para posicionamento dos painéis solares o angulo com a maior média anual, sendo este de 18° e média mensal de irradiação 5,48 kWh/m²dia.

Figura 3.14 - Dados de irradiação média mensal Brasília no plano inclinado



Fonte: CRESESB,2019.

Para dimensionamento da energia gerada pelos painéis FV e inversores de frequência, necessitamos verificar as temperaturas do local devido a estas terem influência no rendimento energético do painel e também na especificação do inversor de frequência. A tabela abaixo retirada da base de dados do Wikipedia resume o histórico de temperaturas entre 1981 a 2010, utilizamos as temperaturas máximas e mínimas para definição do projeto.

Tabela 3.9 - Dados climatológicos Brasília

https://pt.wikipedia.org/wiki/Predefini%C3%A7%C3%A3o:Tabela_clim%C3%A1tica_de_Bras%C3%Adlia

Dados climatológicos para Brasília													
Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Temperatura máxima recorde (°C)	32,6	31,4	32,1	31,6	30,2	31,6	30,8	33	35,8	36,4	34,5	33,7	36,4
Temperatura máxima média (°C)	26,5	27	26,7	26,6	25,9	25	25,3	26,9	28,4	28,2	26,7	26,3	26,6
Temperatura média compensada (°C)	21,6	21,7	21,6	21,3	20,2	19	19	20,6	22,2	22,4	21,5	21,4	21,4
Temperatura mínima média (°C)	18,1	18	18,1	17,5	15,6	13,9	13,7	15,2	17,2	18,1	18	18,1	16,8
Temperatura mínima recorde (°C)	12,2	11	14,5	10,7	3,2	3,3	1,6	5	9	10,2	11,4	13,5	1,6
Precipitação(mm)	209,4	183	211,8	133,4	29,7	4,9	6,3	24,1	46,6	153,8	226,6	241,5	1477,4
Dias com precipitação (≥ 1 mm)	17	14	14	8	3	1	1	2	5	11	17	19	112
Umidade relativa compensada (%)	76,2	74,7	76,8	72,2	66,2	58,7	52,7	46,8	50,3	62,8	74,5	78	65,8
Horas de sol	150,9	158,9	166,5	204,6	239,5	254,3	268,9	264,4	210,5	183,1	139,9	126,8	2 368,3

Fonte: WIKIPEDIA, 2019

3.4.2 Escolha do painel fotovoltaico

A seleção do Painel Fotovoltaico é realizada primeiramente conforme a aplicação a que se destina, podendo esta ser industrial ou domiciliar. Outros pontos devem ser observados para a escolha do painel:

Condições climáticas do local – resistência do painel contra intempéries

Garantia do produto – Maior garantia melhor a qualidade de melhor o retorno do investimento

Dimensão – Conforme as características físicas do local de instalação

Eficiência do painel

Coeficiente de Temperatura – quanto menor será melhor a eficiência.

Tipo de células utilizadas – monocristalino, policristalino e filme fino.

Custo por m².

Os painéis policristalinos são mais ecológicos devido a sua pegada de carbono ser menor. O motivo disso é o seu processo de fabricação com menor consumo de energia do que o painel monocristalino. O painel monocristalino é o mais eficiente das tecnologias atuais devido a sua maior pureza do cristal, mas é a tecnologia mais cara.

A seleção dos painéis para análise teve como critério serem do fabricante com maior representatividade no mercado atual e a potência ser maior que 350W. Na tabela abaixo está relacionada 4 tipos de painéis FV que diferem em potência, eficiência, custo e tipo de tecnologia, a informação foi organizada de forma a realizarmos uma avaliação para escolha do painel. O critério de escolha será o painel com menor custo Watt por m².

Tabela 3.10 - Tabela análise de eficiência de Painel FV

Descrição Paineis	W	Efi. STC	RS	RS/W	m ²	RS/Wm ²
Canadian Solar 415W Super High Power Poly PERC HiKU	415	18,79%	736	1,77	2,10	0,84
Canadian Solar 395W Super High Power Poly PERC HiKU	395	17,88%	716	1,81	2,10	0,86
Canadian Solar 350W Poly KuMax Half-Cell 35mm Frame	350	17,64%	610	1,74	1,98	0,88
CANADIAN SOLAR KUMAX CS3U-375MS 375W MONO SOLAR PANEL	375	19,91%	938,6	2,50	1,98	1,26

Fonte: THE POWER STORE, 2019

O painel com melhor relação R\$/Watt.m² que foi o selecionado para aplicação no estudo abordado por esta monografia é o Canadian Solar HiKu SUPER HIGH POWER POLY PERC MODULE 415W e apresenta as seguintes características técnicas conforma a tabela abaixo.

Tabela 3.11 - Característica Técnicas do Painei

Siglas	Descritivos	UN	Canadian Solar HiKu SUPER HIGH POWER POLY PERC MODULE 415W
T_{NOC}	Temperatura Nominal de operação da Celula	°C	45
P^s_{MP}	Potencia nominal do Painei Fotovoltaico	W	415
TD	Taxa de desempenho do Gerador (0,7 - 0,8)		0,75
	Dimensão do Painei	mm	2108x1048x40
A_p	Area do painei	m ²	2,21
Y_{mp}	coeficiente para temperatura para potencia máxima	%°C ⁻¹	-0,37%
Y_{OC}	Coeficiente de tensão de operação	%°C ⁻¹	-0,29%
Y_{SC}	Coeficiente de curto circuito	%°C ⁻¹	0,05%
V^0_{OC}	Tensão de circuito aberto	V	47,80
V_{mp}	Tensão de operação	V	39,30
I_{SC}	Corrente de curto circuito	A	11,14

Fonte: DATASHEET – HIKU, 2019

3.4.3 Cálculo do porcentual da carga a ser atendida pelo método HSP

No ponto 3.1.5 escolhemos a carga consumida na etapa de Ultrafiltração como base para definir a meta de atendimento, sendo o total de energia consumida no ano de 955,7MWh. Como a unidade de tratamento de água funciona 365 dias por ano chegamos ao valor de consumo diário de 2618,4 kWh.

Como dimensionado no item de 3.2 temos duas áreas disponíveis para instalação de painéis FV perfaz o total de 1604m². No item 3.3 analisamos as áreas disponíveis e dimensionamos considerando a projeção das sombras o número de painéis possíveis para instalação em cada área. Chegamos a número de 240 painéis na área sobre o Galpão e 275 painéis na área lateral a ETA, totalizando 515 painéis.

Pelo método de Horas de Sol Pleno iremos calcular a Porcentagem de Atendimento (P_A) da carga média diária consumida na Ultrafiltração.

Energia lançada na rede

$$E_{rede} = E_{dia} \times P_A \quad (3.3)$$

Nos cálculos que se seguirão iremos encontrar a Energia Fornecida ao Inversor (E_{GFV}).

Sabemos que

Energia fornecida ao Inversor

$$E_{GFV} = \frac{E_{rede}}{\eta_{inv}} \quad (3.4)$$

Onde,

Eficiência do Inversor $\eta_{inv} = 98\%$

e,

Energia fornecida ao Inversor

$$E_{GFV} = \eta_{SPMP} P_{MP} (HSP) N_P (TD) \quad (3.5)$$

Como citado no item 3.4.1 temos os seguintes dados

- Ângulo de inclinação do Pannel 18°
- Horas de Sol Pleno HSP= 5,48 Horas dia
- Energia solar incidente no plano do Pannel $HT = 5,48 \text{ kWh/m}^2\text{dia}$.

Outras variáveis são

- Número de painéis $N_P=515$.
- Taxa de desempenho do Gerador (0,7 - 0,8) $TD = 0,75$
- Eficiência do Seguidor de Ponto de máxima potência $\eta_{SPMP} = 99\%$

Substituindo as variáveis,

$$E_{GFV} = 0,99 \times P_{MP} \times 5,48 \times 515 \times 0,75 \quad (3.5.1)$$

Para o cálculo da Potência de Pico Pannel Fotovoltaico

$$P_{MP} = P_{MP}^0 \frac{G_T}{G_{ref}} [1 + \gamma_{mp} (T_C - T_{cref})] \quad (3.6)$$

- Potência nominal do Pannel Fotovoltaico $P_{MP}^0 = 415 \text{ W}$
- Radiação solar média no plano de célula $G_T=1000 \text{ W/m}^2$
- Radiação solar nas condições STC $G_{ref} = 1000 \text{ W/m}^2$
- Coeficiente para temperatura para potência máxima $\gamma_{mp} = - 0,37\%$

- Temperatura de Célula nas condições STC $T_{\text{cref}} = 25^\circ$

Substituindo as variáveis,

$$P_{MP} = 415 \times \frac{1000}{1000} \times [1 + (-0,37\%)(T_C - 25)] \quad (3.6.1)$$

Para o cálculo da temperatura de operação da célula temos que,

$$T_C = T_a + \frac{G_T}{800} [T_{NOC} - 20]0,9 \quad (3.7)$$

- Temperatura ambiente média máxima anual $T_a = 26,6^\circ\text{C}$
- Temperatura Nominal de operação da Célula $T_{NOC} = 45^\circ\text{C}$

Substituindo as variáveis,

$$T_C = 26,6 + \frac{1000}{800} [45 - 20]0,9 = 54,72^\circ\text{C} \quad (3.7.1)$$

Substituindo os valores encontrados temos que,

$$P_{MP} = 369,36 \text{ W}$$

$$E_{GFV} = 773982 \text{ W}$$

$$E_{rede} = 773982 \times 0,98 = 758502 \text{ W}$$

Aplicando as variáveis nas fórmulas chegamos a seguinte equação,

$$P_A = 758,5 \times \frac{0,98}{2618,4} = 28,4\% \quad (3.3.1)$$

3.5 Escolha dos Inversores e Configuração dos Strings

3.5.1 Escolha dos Inversores

A escolha do inversor e a definição da quantidade de equipamentos é realizada com o valor da potência de geração do sistema e a análise dos equipamentos disponíveis no mercado. O Fator de Dimensionamento do Inversor (FDI) é uma referência para dimensionamento da quantidade de inversores necessários, segundo Zilles (ibid PACHECO, 2018) o FDI é a razão entre a

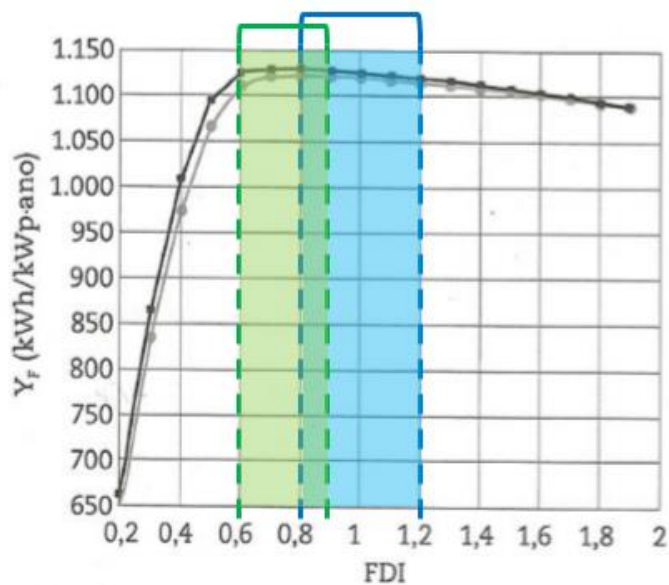
potência nominal do inversor pela potência nominal do sistema e dever estar compreendido no intervalo de $0,6 \leq FDI \leq 0,9$. Os fabricantes indicam que o FDI deve estar no seguinte intervalo $0,8 \leq FDI \leq 1,2$.

Abaixo o gráfico representa a curva de produtividade anual Y_F para cada intervalo de FDI sendo:

Zilles, $0,6 \leq FDI \leq 0,9$ – em verde

Fabricante, $0,8 \leq FDI \leq 1,2$ – em azul

Figura 3.15 - Gráfico de Produtividade anual Y_F por FDI



Fonte: ibid PACHECO, 2018

Sabemos que,

Potência Nominal do Inversor

$$FDI = \frac{P_{INV}^0}{P_{GFV}^0} \quad (3.8)$$

E sabemos também que a Potência Nominal do Inversor deve ser multiplicada pela quantidade de inversores (n_i) que serão utilizados para comportar o sistema.

Potência Nominal do Inversor

$$FDI = \frac{P_{INV}^0 \times n_i}{P_{GFV}^0} \quad (3.9)$$

Ao analisarmos a relação podemos concluir que quanto maior o número de inversores (n) maior será o FDI, assim, para obtermos uma instalação mais enxuta iremos dimensionar para o menor valor de FDI do intervalo de Zilles de $0,6 \leq FDI \leq 0,9$, logo $FDI=0,6$.

Calculamos a Potência Nominal do Gerador fotovoltaico (P_{GFV}^0)

$$P_{GFV}^0 = N_P \times P_{MP}^0 = 515 \times 415 = 213.725,00 \text{ W} \quad (3.10)$$

Na Tabela 3.12 apresento as características técnicas do inversor selecionado ABB String Inverter TRIO-TM-50.0-400.

Tabela 3.12 - Características Técnicas do Inversor

Siglas	Descritivos	UN	ABB string inverters TRIO-TM-50.0-400
η_{inv}	Eficiência do Inversor	%	98,3%
η_{SPMP}	Eficiência do Seguidor de Ponto de máxima potência	%	99,0%
P_{INV}^0	Potência nominal do Inversor	W	50000
P_{max}^0	Potência máxima	W	52000
I_{max}	Corrente maxina entrada	A	36
V_{ac}	Saída nominal CA	V	320-480
f	Frequencia	Hz	50/60
Número de Fases			Trifasico
Mínima tensão		Vcc	420
Mínimo MPPT		Vcc	480
Máximo MPPT		Vcc	800
Máxima Tensão		Vcc	1000
Número de MPPT independentes		un	3,00

Fonte: TRIO-TM-50.0-400, 2019

Substituindo as variáveis na equação temos que,

$$FDI = \frac{P_{INV}^0 \times n_i}{P_{GFV}^0} \Rightarrow 0,6 = \frac{50.000 \times n_i}{213.725} \Rightarrow n_i = 2,56 \text{ inversores} \quad (3.9.1)$$

Logo, será arredondado para 3 inversores e recalculado o valor do FDI,

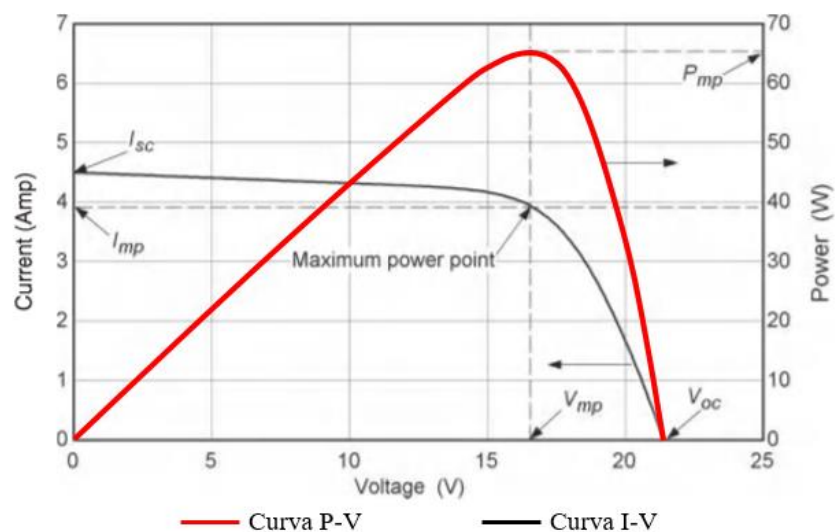
$$FDI = \frac{50.000 \times 3}{213.725} \Rightarrow FDI = 0,702 \quad (3.9.2)$$

3.5.2 Configuração dos Strings

3.5.2.1 Avaliação das características elétricas

O gerador irá fornecer ao inversor, energia elétrica conforme suas características físicas de geração elétrica e configuração dos strings que serão ligados ao inversor. Os strings devem ser parametrizadas dentro de um intervalo de segurança operacional do inversor. Os fatores limitantes serão o I_{sc} e o V_{oc} de entrada do Inversor.

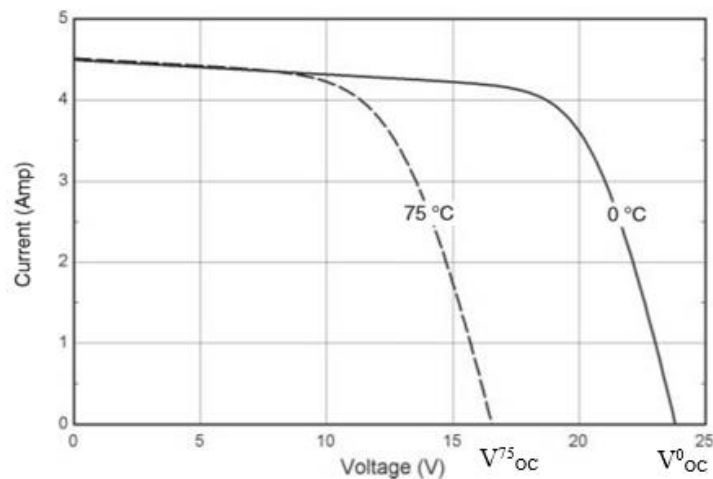
Figura 3.16 - Curva característica I-V e P-V de um módulo PV



Fonte: DUFFIE, 2013, p. 748

O gráfico da figura acima representa o comportamento para um modelo típico de um módulo as curvas verias com a incidência da radiação solar, temperatura de operação e informação técnica do fabricante. PV indica a relação entre Tensão (V) e Corrente (I) e, Potência (W) e Tensão (V) para uma incidência radiação e temperatura fixa. Temos o I_{SC} no ponto de $V=0$ e o V_{OC} para $I=0$. No ponto de potência máxima (P_{mp}) a corrente é I_{mp} e a tensão é V_{mp} (DUFFIE, 2013, p. 748).

Figura 3.17 - Curva característica I-V de um modulo PV a 0 e 75°C.



Fonte: DUFFIE, 2013, p. 752

Na figura acima mostra o efeito da variação de temperatura sobre a curva característica I-V de um modulo PV a uma radiação fixa. Verificamos que temos uma ligeira variação do I_{SC} mas um delta significativo do V_{OC} o qual deve ser considerado para o dimensionamento e definição da configuração dos strings.

A ligação dos painéis será em série e em paralelo de forma a trabalharmos dentro dos limites de entrada o inversor.

O cálculo será realizado pelo método de Associação de Fontes aplicando a 1ª e 2ª lei de Kirchhoff (KUROKAWA, 2013).

Para fontes em Série o circuito é percorrido pela mesma corrente I_0 e as tensões são somadas $V_T = V_1 + V_2 + \dots + V_n$ (KUROKAWA, 2013)..

Para fontes em Paralelo o circuito é submetido a uma mesma tensão V_0 e as correntes são somadas $I_T = I_1 + I_2 + \dots + I_n$ (KUROKAWA, 2013)..

O dimensionamento dos strings passa por fazer o balanceamento do V_{OC} , V_{mp} , I_{mp} e I_{SC} do sistema com a capacidade de entrada do inversor.

A Tensão de Circuito Aberto (V_{OC}) será calculada condições extremas de temperatura do local devido a sua variação com a temperatura. Através da base de dados do wikipédia que contém histórico das temperaturas anuais média para Brasília conforme apresentamos no ponto 3.4.1. retiramos os valores da temperatura máxima e temperatura mínima histórica e aplicamos no cálculo do V_{OC} .

Temperatura máxima record: $T_{am\acute{a}x} = 36,4^{\circ}C$

Temperatura mínima record: $T_{amin} = 1,6^{\circ}C$

Temos que a fórmula do V_{OC} é,

Tensão de Circuito Aberto

$$V_{OC} = V_{OC}^0 \times (1 + \gamma_{OC} \times (T_C - T_C^0)) \quad (3.11)$$

A mesma fórmula será utilizada para calcular o $V_{OCm\acute{a}x}$ e V_{OCmin} , sendo aplicado a temperatura T_C correspondente a cada situação.

Calculamos o $T_{Cm\acute{a}x}$ e o T_{Cmin} pela fórmula,

Temperatura da Célula

$$T_C = T_a + \frac{GT}{800} \times (T_{NOC} - 20) \times 0,9 \quad (3.12)$$

Onde

- Radiação solar média no plano de célula $G_T = 1000 \text{ W/m}^2$
- Temperatura Nominal de Operação da Célula $T_{NOC} = 45^{\circ}C$

Para $T_{Cm\acute{a}x}$ será utilizada a maior temperatura ambiente, temos que,

$$T_{Cm\acute{a}x} = 36,4 + \frac{1000}{800} \times (45 - 20) \times 0,9 = 64,53^{\circ}C \quad (3.12.1)$$

Para T_{Cmin} será utilizada a menor temperatura ambiente, logo será a noite onde com $GT=0$,

$$T_{Cmin} = 1,6 + \frac{0}{800} \times (45 - 20) \times 0,9 = 1,6^\circ C \quad (3.12.2)$$

Para calcular o $V_{OCm\acute{a}x}$ utilizamos o valor de $T_C=T_{min}$,

Tensão de Circuito Aberto Máximo

$$V_{OCm\acute{a}x} = V_{OC}^0 \times (1 + \gamma_{OC} \times (T_C - T_C^0)) \quad (3.13)$$

Dados:

- A Tensão de circuito aberto do gerador será $V_{OC}^0 = 47,8V$
- O Coeficiente de circuito aberto $\gamma_{OC} = -0,29\%/^\circ C$
- A temperatura a de STC $T_C^0 = 25^\circ C$

Substituindo as variáveis

$$V_{OCm\acute{a}x} = 47,8 \times (1 + (-0,29\%) \times (1,6 - 25)) = 51V \quad (3.13.1)$$

Para calcular o V_{OCmin} utilizamos o valor de $T_C=T_{m\acute{a}x}$,

$$V_{OCmin} = 47,8 \times (1 + (-0,29\%) \times (64,53 - 25)) = 42,3V \quad (3.13.2)$$

O cálculo do V_{mp} conforme a fórmula

Tensão do ponto de máxima potência

$$\begin{aligned} V_{mp} &= V_{OC}^0 \times (1 + \gamma_{OC} \times (T_{Cm\acute{a}x} - T_C^0)) \\ &= 39,3 \times (1 + (-0,29\%) \times (64,53 - 25)) = 34,8V \end{aligned} \quad (3.14)$$

Cálculo do I_{mp} será realizado pela razão da P_{mp} (Equação 3.6) pela V_{mp} .

Corrente no ponto de máxima potência

$$I_{mp} = \frac{P_{mp}}{V_{mp}} = \frac{369,36}{34,8} = 10,6A \quad (3.15)$$

Cálculo do $I_{SCm\acute{a}x}$ é calculado para a temperatura $T_{Cm\acute{a}x}$.

Corrente de curto circuito máximo

$$\begin{aligned} I_{SCm\acute{a}x} &= I_{SC}^0 \times (1 + \gamma_{SC} \times (T_{Cm\acute{a}x} - T_C^0)) \\ &= 11,14 \times (1 + 0,05\% \times (64,53 - 25)) = 11,4A \end{aligned} \quad (3.16)$$

3.5.2.2 Dimensionamento dos Strings

Com os valores obtidos das variáveis passamos para o dimensionamento quantitativo e geométrico dos strings.

Temos área disponível para instalação de 515 painéis, este será o total preliminar de cálculo. Como calculámos no ponto 3.5.1, teremos 3 inversores.

Assim chegamos a 171,6 painéis por inversor, arredondando teremos $N_p=171$ paineis por inversor.

O número de painéis em paralelo // é calculado pela razão da corrente de curto circuito de entrada do inversor ($I_{m\acute{a}x}$) pela $I_{SCm\acute{a}x}$ do gerador.

Número de painéis em paralelo

$$N_{//} = \frac{I_{m\acute{a}x}}{I_{SCm\acute{a}x}} = \frac{36}{11,4} = 3,15 \quad (3.17)$$

Teremos capacidade para instalar 3 circuitos em paralelo por string.

A quantidade de painéis que podem ser instalados em série por circuito será parametrizada pela razão entre a Tensão do MPPT do inversor pelo V_{OC} do gerador.

Número de painéis em série mínimo

$$N_{s\acute{e}rie.min} > \frac{Min\ MPPT}{V_{OCmin}} > \frac{480}{42,3} > 11,34\ paineis \quad (3.18)$$

Número de painéis em série máximo

$$N_{s\acute{e}rie.m\acute{a}x} < \frac{Max\ MPPT}{V_{OCm\acute{a}x}} < \frac{800}{51} < 15,67\ paineis \quad (3.19)$$

O inversor selecionado somente tem 3 entradas independentes de MPPT, como já estamos condicionados no número de circuitos em paralelo teremos que aumentar a quantidade de inversores para 4 de forma a podermos ligar o sistema sem reduzir a quantidade de painéis.

Para definir o número de circuitos N_c por inversor é realizado um exercício de cálculo variando as quantidades de painéis em série ($N_{série}$) e painéis por Inversor (N_p).

Número de Circuitos

$$N_c = \frac{N_p}{N_{série}} = \frac{126}{14} = 9 \text{ circuitos} \quad (3.20)$$

Foi realizado o mesmo cálculo para diferentes valores de N_p e $N_{série}$, sendo os assumidos na Equação 3.20 a melhor condição para aproveitamento da área disponível, ou onde se obteve o maior número inteiro de painéis N_p .

Dividindo a quantidade de circuitos pelo o número de painéis em paralelo teremos o número de strings por inversor.

Número de Strings

$$N_{string} = \frac{N_c}{N_{//}} = \frac{9}{3} = 3 \text{ strings por inversor} \quad (3.21)$$

É realizado o recálculo com as condicionantes do sistema onde chegamos a seguinte configuração apresentado na tabela abaixo

Tabela 3.13 - Resumo de configuração do sistema

Descrição	Unid.	Valores
Quantidade Total de Paineis	Pç	504
Quantidade de Inversores	Pç	4
FDI	ad.	0,94
Número de Strings por Inversor	un.	3
Número de Circuitos por Inversor	un.	9
Número de Circuitos em Paralelo por MPPT	un.	3
Número de Paineis em série por Circuito	pç	14

Fonte: Própria

Definido a configuração dos Strings calculamos as variáveis de corrente e tensão do sistema para avaliar a faixa de utilização do inversor.

Corrente de Curto Circuito máxima por String

$$I_{SCmax}^{string} = N_{//} \times I_{SCmax} = 3 \times 11,4 = 34,1A \quad (3.22)$$

Tensão de Circuito aberto máxima por String

$$V_{OCmax}^{string} = N_{série} \times V_{OCmax} = 14 \times 51 = 714,61V \quad (3.23)$$

Tensão de Circuito aberto mínimo por String

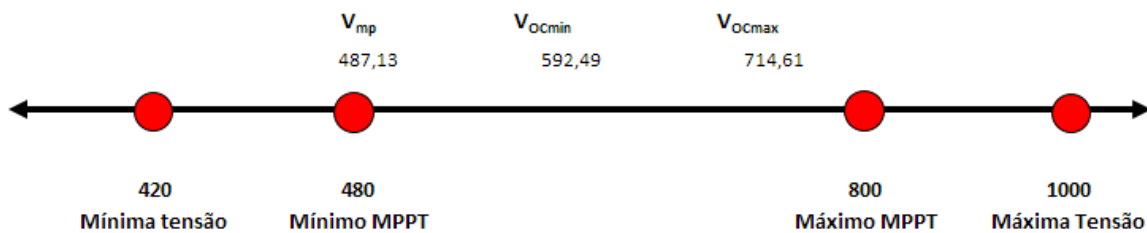
$$V_{OCmin}^{string} = N_{série} \times V_{OCmin} = 14 \times 42,3 = 592,49V \quad (3.24)$$

Tensão no ponto de potência máxima por String

$$V_{mp}^{string} = N_{série} \times V_{mp} = 14 \times 34,8 = 487,13V \quad (3.25)$$

Podemos confirmar que o string está parametrizado para operação dentro das especificações do inversor selecionado. Conforme podemos verificar na figura abaixo as tensões de operação do gerador V_{mp} , V_{OCmin} e V_{OCmax} estão inseridas dentro do intervalo de Mínimo MPPT e Máximo MPPT do inversor.

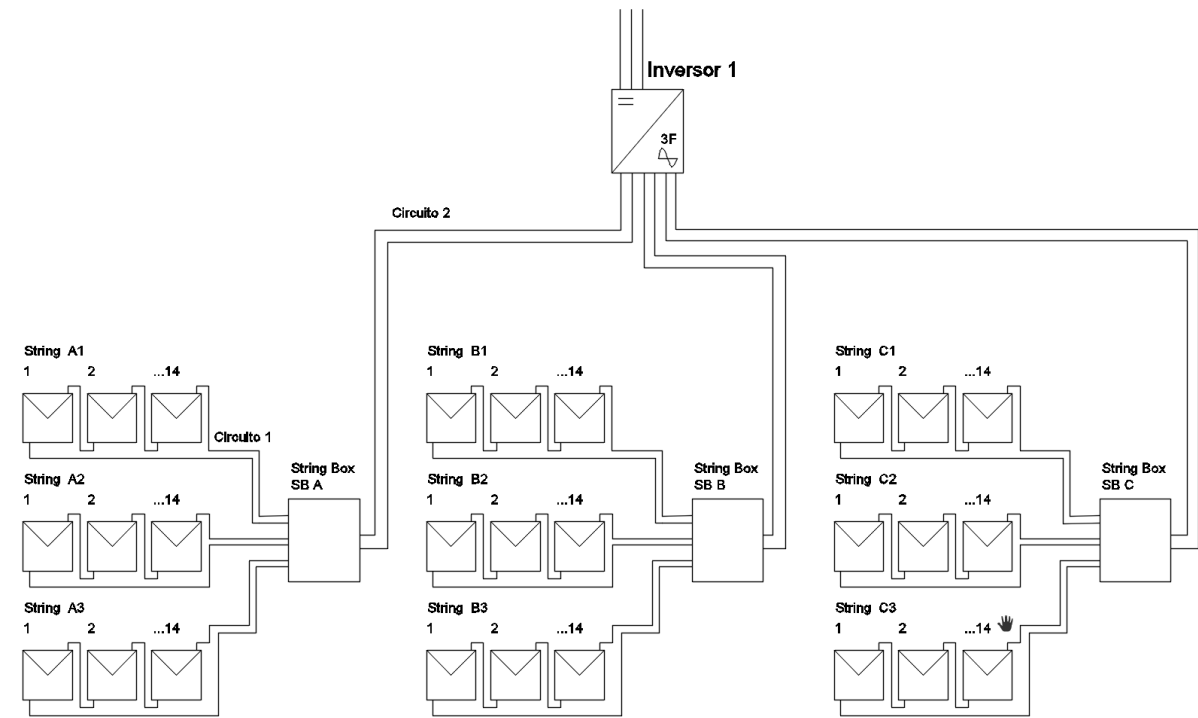
Figura 3.18 - Análise da faixa de utilização



Fonte: Própria

Na figura 3.19 mostra o diagrama com a configuração dos Strings para ligação dos painéis para apenas 1 inversor, os outros inversores terão a mesma ligação.

Figura 3.19 - Diagrama de Configuração dos Strings



Fonte: Própria

A tabela 3.14 faz o resumo da potência do sistema.

Tabela 3.14 - Resumo Potência de Pico

Descrição	Unid.	Valor
Potência por Circuito	W	5.171,00
Potência por String	W	15.513,01
Potência por Inversor	W	46.539,02
Potência por Total	W	186.156,06

Fonte: Própria

3.6 Avaliação de investimento

A avaliação do investimento será feita de forma estimativa através dos quantitativos definidos no dimensionamento dos equipamentos realizado nos pontos anteriores, as quantidades necessárias para infraestrutura foram calculadas pelo estudo do layout da ETA e do desenho do galpão.

Na tabela abaixo apresento um resumo do investimento necessário para realizar a implantação do sistema fotovoltaico. O custo dos equipamentos e materiais foram definidos por consulta a mídias digitais atuais. Os valores utilizados nos serviços de instalação foram quantificados através de índices de produtividade da TCPO (PINI, 2018), e aplicado o custo médio horário para serviços de construção de R\$ 40.

Tabela 3.15 - Resumo de custos estimativos de Implementação

Item	Equipamentos e materiais	Unid.	Qtd	R\$/Un	Total
1	Paineis	pç	504	725,00	365.400,00
2	Inversor	pç	4	42.500,00	170.000,00
3	String box	pç	12	1.500,00	18.000,00
4	Kit disjuntores	kit	4	3.808,80	15.235,20
5	Infraestrutura (cabos, eletrodutos, calhas)	vb	1	18.546,00	18.546,00
6	Adequação da Estrutura metálica e estrutura dos painéis	vb	1	44.938,76	44.938,76
7	Instalação mecânica e Elétrica	vb	1	78.464,00	78.464,00
Total					710.583,96

Fonte: Própria

O valor de investimento encontrado acima será utilizado no estudo de viabilidade econômica para implantação do projeto.

3.7 Avaliação da viabilidade econômica

Para o estudo de viabilidade econômica será considerado primeiramente um Cenário 0 onde teremos o funcionamento 24h da unidade de tratamento com tarifação na Tarifa Branca obtida no simulador de Tarifa no site da Companhia Energética de Brasília (CEB). Este parâmetro será constante para a projeção anual sem alteração dos valores da tarifa.

No simulador de Tarifa Branca é predefinido o perfil de consumo como Comercial, Industrial, Poder Público, é inserida a previsão de consumo de 82.000 kWh mês e o perfil horário de consumo de 24h.

Na tabela abaixo é apresentado a distribuição do consumo ao longo do dia e a parcela da tarifação correspondente ao período de Fora de Ponta, Intermediária e Ponta. Este será o perfil diário de consumo será utilizado na estimativa mensal do consumo.

Tabela 3.16 - Proporção de tipo de consumo por horário

Tipo	Percentual (%)
Fora de Ponta (00:00 às 17:00 e 22:00 às 24:00)	77,43
Intermediária (17:00 às 18:00 e 21:00 às 22:00)	8,83
Ponta (18:00 às 21:00)	13,74

Fonte: CEB, 2019

As tarifas R\$/kWh apresentadas na tabela abaixo representam os valores atuais estabelecidos pela CEB e os quais serão considerados para a nossa análise de fluxo de caixa.

Tabela 3.17 - Simulador de Tarifa Branca para consumo horário de 24 horas

Tarifa Branca			
Período	Consumo (kWh)	Tarifa (R\$/kWh)	Total (R\$)
Fora de Ponta	64.479,66	0,49	31.357,16
Intermediária	6.854,43	0,82	5.645,45
Ponta	10.665,90	1,12	11.984,43
TOTAL	82.000,00		48.987,04

Fonte: CEB, 2019

Para a elaboração do fluxo de caixa foi calculada a geração e o consumo mês a mês respeitando as características de radiação mensal de acordo com as metodologias de Horas de Sol Pleno CRESESB. O consumo de energia elétrica foi calculado com a estimativa de consumo diário pelo número de dias em cada mês. O consumo mensal foi dividido proporcionalmente em cada período e totalizando o valor em Reais (R\$) no mês. Sabemos que a geração de energia solar é realizada na faixa horária do período de Fora de Ponta (00:00 às 17:00). Logo, a compensação dos créditos gerados se dará sobre a alíquota do mesmo período, assim a economia será a multiplicação da energia gerada pela tarifa do período de geração.

Na tabela 3.18 apresento o resumo dos cálculos de economia mensal com a geração FV.

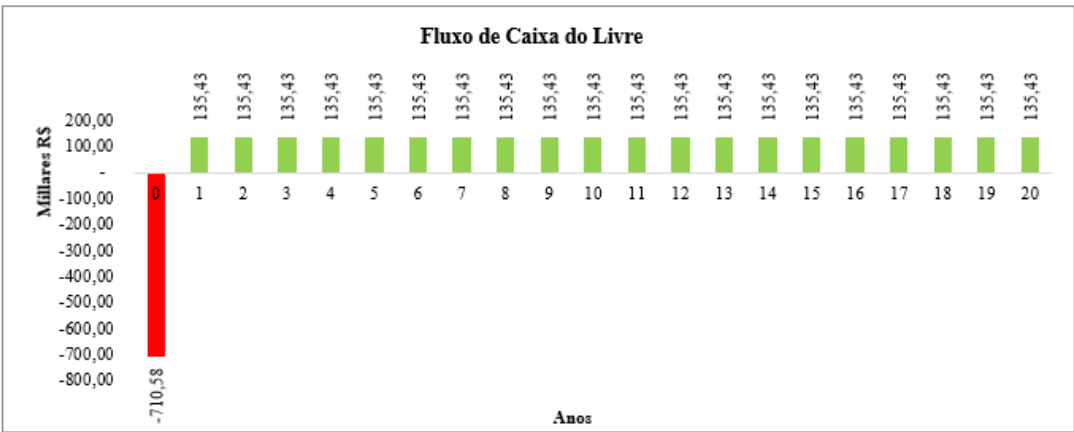
Tabela 3.18 - Cálculo de Economia mensal com Geração pelo método HSP

Descrição	Unid.	R\$ Unit.	Mês											
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Dias mês	dias		31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Horas sol Pleno	h		4,9	5,4	5,1	5,4	5,6	5,8	6,1	6,7	6,0	5,4	4,7	4,9
Geração Mensal (Fora de Ponta)	kWh		21.167	20.899	21.638	22.309	23.952	23.885	25.923	28.537	24.672	23.010	19.365	21.039
Consumo de energia	kWh		81.170	73.315	81.170	78.552	81.170	78.552	81.170	81.170	78.552	81.170	78.552	81.170
Fora de Ponta	R\$	0,49	30.797	27.816	30.797	29.803	30.797	29.803	30.797	30.797	29.803	30.797	29.803	30.797
Intermediária	R\$	0,82	5.877	5.308	5.877	5.688	5.877	5.688	5.877	5.877	5.688	5.877	5.688	5.877
Ponta	R\$	1,12	12.491	11.282	12.491	12.088	12.491	12.088	12.491	12.491	12.088	12.491	12.088	12.491
Custo de Consumo	R\$		49.165	44.407	49.165	47.579	49.165	47.579	49.165	49.165	47.579	49.165	47.579	49.165
Geração em Fora de Ponta (economia)	R\$	0,49	10.372	10.241	10.603	10.931	11.737	11.703	12.702	13.983	12.089	11.275	9.489	10.309

Fonte: Própria

Com o valor de investimento e a economia gerada mensalmente pela geração FV criamos o Fluxo de Caixa Livre do Empreendimento. Na figura abaixo a economia mensal é acumulada para um valor anual e projetada em 20 anos os quais será a Garantia dos Painéis FV.

Figura 3.20 - Gráfico Fluxo de Caixa Livre



Fonte: Própria

A análise de viabilidade será sustentada pela avaliação dos indicadores de investimento Payback simples, Payback descontado, Valor Presente (VP), Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa de Retorno de Investimento (TIR).

Para as análises do valor presente definimos a Taxa de Desconto (r) a qual compreende os fatores de desvalorização, inflação, risco, juros, custos financeiros entre outros que influenciem sobre o valor de investimento.

A Taxa de Desconto (r) será a definida pelo financiamento realizado no Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) onde tem programas direcionados para a Administração Pública e linhas de crédito específicos para cada área de desenvolvimento, como exemplo Saneamento Básico, Energias Renováveis, Eficiência Energética entre outros. Para cada tipo de financiamento temos incidências de taxas e alíquotas de diferentes, aqui será escolhida a melhor opção na área do projeto. Dentro das formas de apoio oferecidas pelo BNDES temos o BNDES Finem – Eficiência Energética. Financiamento a partir de R\$10 milhões para projetos voltados à redução do consumo de energia e aumento da eficiência do sistema nacional. Valores inferiores podem ser aprovados mediante pedido de análise, assim consideraremos este programa de financiamento em nosso estudo.

Financiamento para Estados, Municípios e Distrito Federal tem como Taxa de Juros para operações diretas a seguinte composição:

Taxa de Juros BNDES

$$\begin{aligned} \text{Taxa de Juros} = & \text{Fator de Custo Financeiro} \times \text{Remuneração do BNDES} \\ & \times \text{Taxa de Risco de Crédito} \end{aligned} \quad (3.26)$$

Custo Financeiro é a Taxa a Longo Prazo (TLP) e esta é formada por Juros Reais Pré-Fixados (“TLP-Pré”) e a Inflação (IPCA). Para o mês de contratação de Maio/2019 o TLP = 6,49% aa.

Remuneração do BNDES = 0,9% aa

Taxa de Risco de crédito = 0,07% aa, considerando garantia da União.

Logo aplicando os fatores na Equação 3.26

$$\text{Taxa de Juros} = 1,649 \times 1,09 \times 1,007 - 1 = 8,099\% \quad (3.26.1)$$

(Fonte: BNDES, 2019)

Com o valor encontrado para a Taxa de Desconto “ r ” seguimos com a análises com valor presente.

Na tabela abaixo temos o cálculo do Payback Simples e Payback Descontado que utiliza o VP para a análise.

Temos que,

Paypack

$$Payback = \frac{|Investimento\ Inicial|}{Fluxo\ de\ Caixa\ Anual} \quad (3.27)$$

e,

Payback Descontado

$$Payback\ Descontado = \sum_{n=1}^{n-1} Investimento\ Inicial + VP_n \quad (3.28)$$

Para o Payback Descontado o cálculo é realizado até o fluxo se tornar positivo. Abaixo observamos o fluxo descontado.

Sendo a fórmula do Valor Presente,

$$VP = \frac{FC}{(1 + r)^n} \quad (3.29)$$

Tabela 3.19 - Resumo Payback Simples e Descontado

	Payback Simples	Payback Descontado
r	na	8,099%
Anos		
0	- 710.583,96	- 710.583,96
1	- 575.149,86	- 585.296,86
2	- 439.715,75	- 469.396,52
3	- 304.281,64	- 362.179,68
4	- 168.847,54	- 262.995,74
5	- 33.413,43	- 171.242,87
6		- 86.364,31
7		- 7.845,03
Retorno	5,25 Anos	7,11 Anos

Fonte: Própria

No método do Payback Simples temos um retorno em 5 anos e 3 meses e para o Payback Descontado o retorno sobe para 7 anos e 2 meses.

Abaixo temos as equações do Valor Presente Líquido,

$$VPL = \sum_{t=0}^n \frac{FC}{(1+r)^n} \quad (3.30)$$

Aplicamos a fórmula do Valor Presente Líquido ao fluxo de caixa e obtemos o fluxo ajustado ao presente como apresentado na tabela abaixo, encontramos os valores de VPL para 10 e 20 anos. Temos como referência o marco de 10 anos devido a ser o prazo de quitação do financiamento e o de 20 anos por ser a garantia de funcionamento eficiente do equipamento.

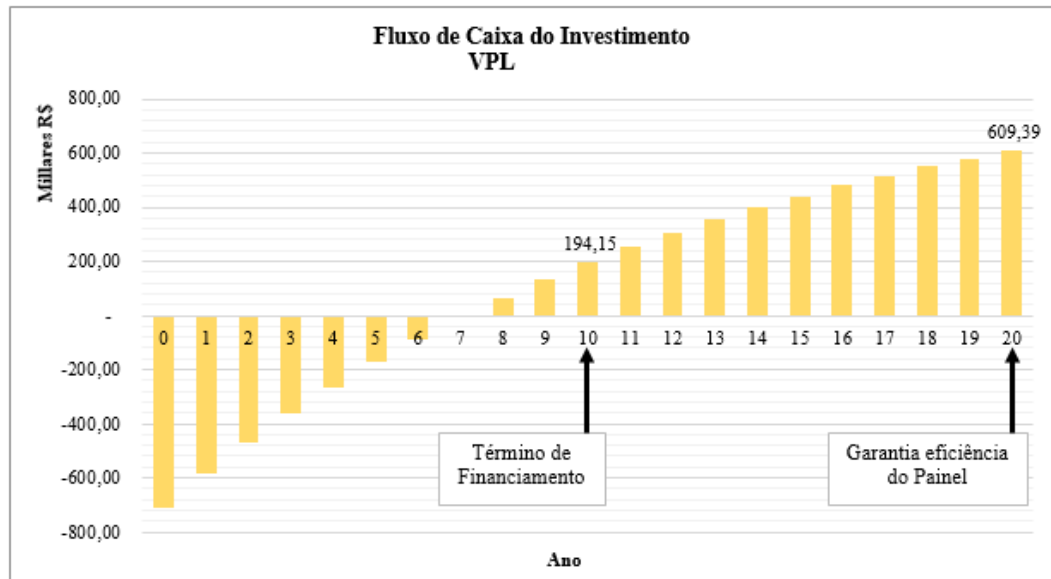
Tabela 3.20 - Fluxo de Caixa do Valor Presente Líquido

FC	Ano	VPL	
		8,099%	
FC0	0	-	710.583,96
FC01	1	-	585.296,86
FC02	2	-	469.396,52
FC03	3	-	362.179,68
FC04	4	-	262.995,74
FC05	5	-	171.242,87
FC06	6	-	86.364,31
FC07	7	-	7.845,03
FC08	8		64.791,42
FC09	9		131.985,80
FC10	10		194.145,84
FC11	11		251.648,72
FC12	12		304.843,37
FC13	13		354.052,57
FC14	14		399.574,91
FC15	15		441.686,62
FC16	16		480.643,23
FC17	17		516.681,14
FC18	18		550.019,01
FC19	19		580.859,14
FC20	20		609.388,67

Fonte: Própria

Na figura abaixo podemos visualizar a evolução gráfica anual do VPL ao longo de 20 anos a taxa de desconto de 8,099%.

Figura 3.21 - Gráfico Fluxo de Caixa para VPL a $r=8,099\%$



Fonte: Própria

O indicador de Taxa Interna de Retorno (TIR) utilizado na avaliação de viabilidade de investimentos nos auxilia na tomada de decisão. Sendo os seguintes parâmetros critérios de análise:

- $TIR > r$: projeto seria aprovado;
- $TIR = r$: projeto pouco atrativo;
- $TIR < r$: projeto seria reprovado.

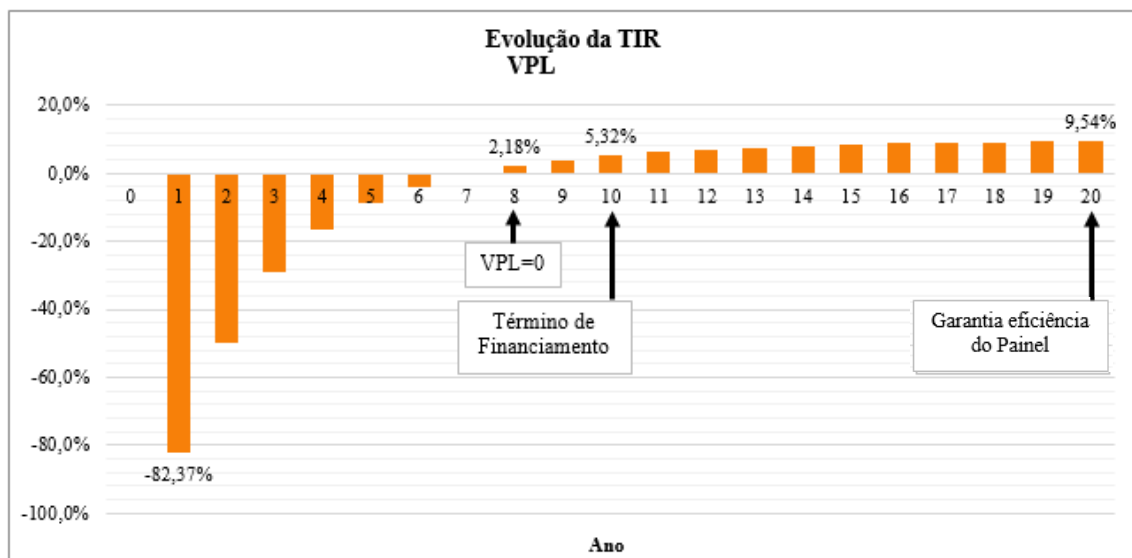
Fonte: Apostila Análise Econômica (Marques et al, 2001).

TIR

$$VPL = 0 \Rightarrow \sum_{t=0}^n \frac{FC_t}{(1 + TIR)^t} = 0 \quad (3.31)$$

Para o Cenário 0 onde não temos incremento de tarifa verificamos que em 10 anos a TIR será 5,32% < 8,09 e em 20 anos a TIR cresce para 9,54% > 8,09%. Abaixo a evolução gráfica da TIR.

Figura 3.22 - Gráfico de Evolução da TIR



Fonte: Própria

Na tabela seguinte estão resumidos os indicadores de viabilidade para implantação do sistema de geração FV.

Tabela 3.21 - Resumo de indicadores de investimento Cenário 0

Descrição	Unid.	Cenário 0
Payback Simples	Anos	5,25
Payback Descontado	Anos	7,11
VPL em 10 anos	R\$	194.145,84
TIR em 10 anos	%	5,32%
VPL em 20 anos	R\$	609.388,67
TIR em 20 anos	%	9,54%

Fonte: Própria

3.7.1 Estudo de sensibilidade

Para o estudo de sensibilidade foi realizada uma projeção de 3 cenários com condições diferentes possíveis de acontecerem no prazo de dez anos. A variação de condições entre os cenários irá refletir nos indicadores de viabilidade, assim será possível visualizar o comportamento do negócio dentro das situações possíveis escolhidas.

Foi considerado para o exercício variação dos fatores climatológicos em que a estiagem de chuvas pode influenciar tanto na variação dos patamares da bandeira tarifária como na intensidade de funcionamento da ETA.

O lago irá funcionar como um reservatório de segurança sendo assim quando tivermos água disponível nos reservatórios principais podemos reduzir a operação da ETA.

Na construção dos cenários foi levantado o histórico das bandeiras tarifárias dos últimos 4 anos e encontrada a média anual conforme a tabela abaixo.

Tabela 3.22 - Histórico da Bandeira Tarifária 2015-2018

Ano	2015												Média
Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Bandeira	V.P.I	V.P.I	V.P.II	V.P.II	V.P.II	V.P.II	V.P.II	V.P.II	V.P.II	V.P.II	V.P.II	V.P.II	
Acrescimo de RS por kWh	0,03	0,03	0,055	0,055	0,055	0,055	0,055	0,055	0,045	0,045	0,045	0,045	0,048
Ano	2016												Média
Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Bandeira	V.P.II	V.P.I	AM	VE	VE	VE	VE	VE	VE	VE	AM	VE	
Acrescimo de RS por kWh	0,045	0,03	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0	0,008
Ano	2017												Média
Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Bandeira	VE	VE	AM	V.P.I	V.P.I	VE	AM	V.P.I	AM	V.P.I	V.P.II	V.P.I	
Acrescimo de RS por kWh	0	0	0,01	0,03	0,03	0	0,01	0,03	0,01	0,035	0,05	0,03	0,020
Ano	2018												Média
Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Bandeira	VE	VE	VE	VE	AM	V.P.II	V.P.II	V.P.II	V.P.II	V.P.II	AM	VE	
Acrescimo de RS por kWh	0	0	0	0	0,01	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,01	0	0,023

Legenda

VE	Bandeira Verde
AM	Bandeira Amarela
V.P.I	Bandeira Vermelha Patamar I
V.P.II	Bandeira Vermelha Patamar II

Fonte: SULGIPE, 2019

Outra variável alterada para a construção dos cenários foi a Taxa de Eficiência do Gerador (TD) a qual pode variar entre 0,7 e 0,8.

Foi definido 3 perfis com características anuais diferentes conforme abaixo.

- situação aproximada 2015 onde teremos acréscimo médio de R\$/kWh 0,048 na tarifa e com TD=0,8.
- situação aproximada 2018 onde teremos acréscimo médio de R\$/kWh 0,023 na tarifa e com TD=0,75.

- situação aproximada 2016 onde não haverá acréscimo de tarifa e com $TD=0,7$.

Os cenários foram criados para o horizonte de 10 anos com três composições diferentes de forma a termos visão mais otimista, mediana e pessimista. A média anual dos 10 anos foi mantida e projetada para os 20 anos de operação.

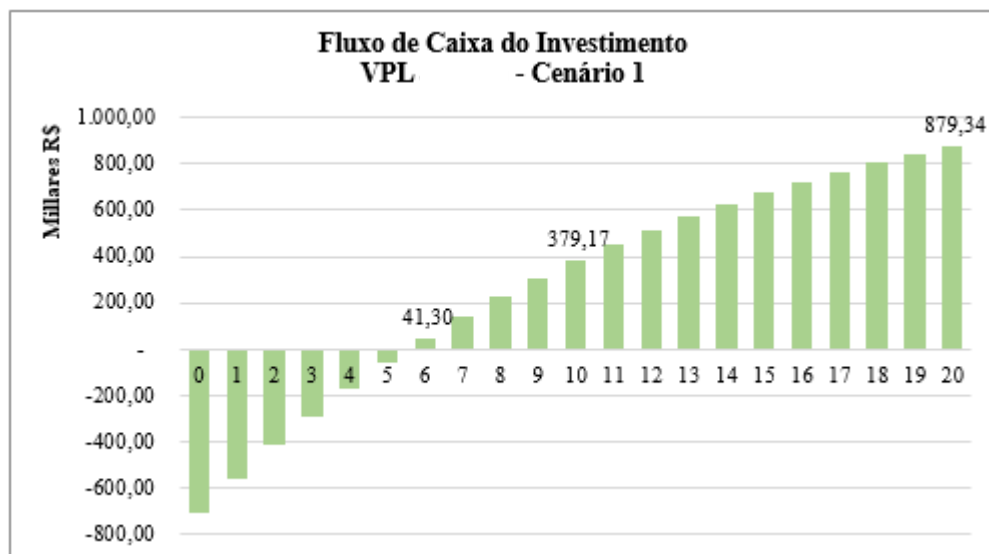
3.7.1.1 Cenário 1

Premissas para elaboração dos cálculos de fluxo de caixa e indicadores de viabilidade econômica para o Cenário 1:

- 7 anos com situação aproximada 2015 onde teremos acréscimo médio de R\$/kWh 0,048 na tarifa e com $TD=0,8$
- 2 anos como situação aproximada 2018 onde teremos acréscimo médio de R\$/kWh 0,023 na tarifa e com $TD=0,75$
- 1 ano como situação aproximada 2016 onde não haverá acréscimo de tarifa e com $TD=0,7$.

Com a definição das condições foi criado o fluxo de caixa e com o valor de receita mensal média calculado os indicadores de viabilidade.

Figura 3.23 - Gráfico Fluxo de caixa de VPL a 8,099% para Cenário 1



Fonte: Própria

Tabela 3.23 - Resumo de indicadores de Viabilidade para Cenário 1

Descrição	Unid.	Cenário 1
Payback Simples	Anos	4,36
Payback Descontado	Anos	5,60
VPL em 10 anos	R\$	379.173,55
TIR em 10 anos	%	9,98%
VPL em 20 anos	R\$	879.338,33
TIR em 20 anos	%	13,38%

Fonte: Própria

Para o marco de 10 anos temos a TIR 9,98% > 8,090% logo o projeto é interessante para investimento. Se considerarmos o horizonte de 20 anos temos um TIR de 13,38% sendo o resultado considerado favorável ao investimento.

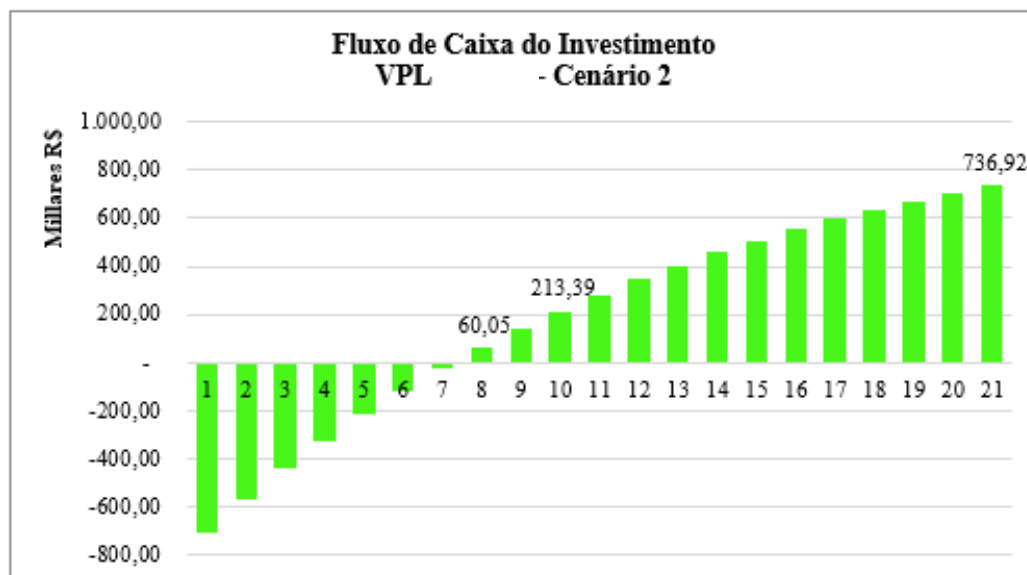
3.7.1.2 Cenário 2

Premissas para elaboração dos cálculos de fluxo de caixa e indicadores de viabilidade econômica para o Cenário 2:

- 3 anos com situação aproximada 2015 onde teremos acréscimo médio de R\$/kWh 0,048 na tarifa e com TD=0,8
- 5 anos como situação aproximada 2018 onde teremos acréscimo médio de R\$/kWh 0,023 na tarifa e com TD=0,75
- 2 ano como situação aproximada 2016 onde não haverá acréscimo de tarifa e com TD=0,7.

Com a definição das condições foi criado o fluxo de caixa e com o valor de receita mensal média calculado os indicadores de viabilidade.

Figura 3.24 - Gráfico Fluxo de caixa de VPL a 8,099% para Cenário 2



Fonte: Própria

Tabela 3.24 - Resumo de indicadores de Viabilidade para Cenário 2

Descrição	Unid.	Cenário 2
Payback Simples	Anos	4,78
Payback Descontado	Anos	6,30
VPL em 10 anos	R\$	281.558,74
TIR em 10 anos	%	7,56%
VPL em 20 anos	R\$	736.921,37
TIR em 20 anos	%	11,37%

Fonte: Própria

No horizonte de 10 anos do projeto temos uma TIR de 7,56% < 8,099% o que reprova o investimento no projeto. Com 20 anos a TIR sobe para 11,37% tornando o projeto viável para esse prazo.

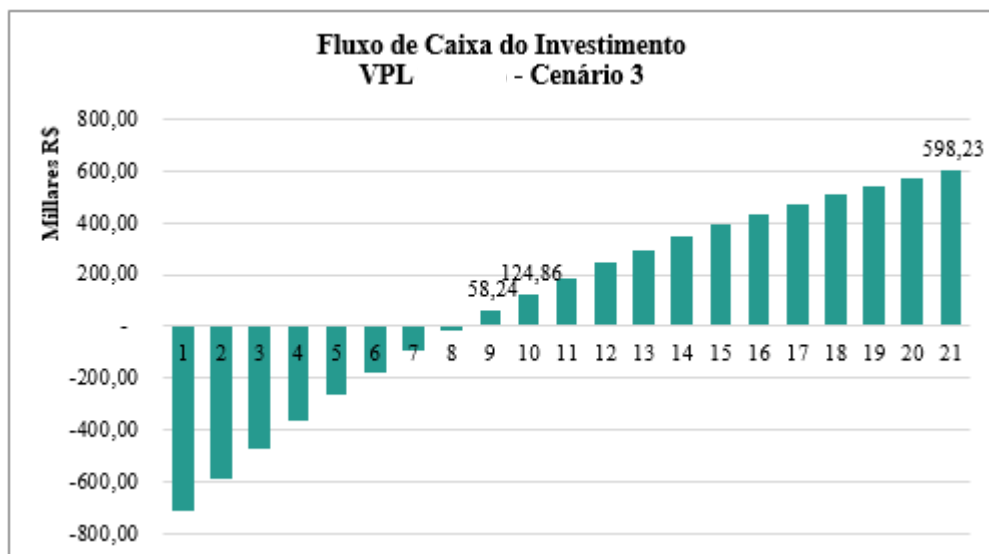
3.7.1.3 Cenário 3

Premissas para elaboração dos cálculos de fluxo de caixa e indicadores de viabilidade econômica para o Cenário 3:

- 1 anos com situação aproximada 2015 onde teremos acréscimo médio de R\$/kWh 0,048 na tarifa e com TD=0,8
- 2 anos como situação aproximada 2018 onde teremos acréscimo médio de R\$/kWh 0,023 na tarifa e com TD=0,75
- 7 ano como situação aproximada 2016 onde não haverá acréscimo de tarifa e com TD=0,7.

Com a definição das condições foi criado o fluxo de caixa e com o valor de receita mensal média calculado os indicadores de viabilidade.

Figura 3.25 - Gráfico Fluxo de caixa de VPL a 8,099% para Cenário 3



Fonte: Própria

Tabela 3.25 - Resumo de indicadores de Viabilidade para Cenário 3

Descrição	Unid.	Cenário 3
Payback Simples	Anos	5,29
Payback Descontado	Anos	7,19
VPL em 10 anos	R\$	186.499,34
TIR em 10 anos	%	5,12%
VPL em 20 anos	R\$	598.232,65
TIR em 20 anos	%	9,38%

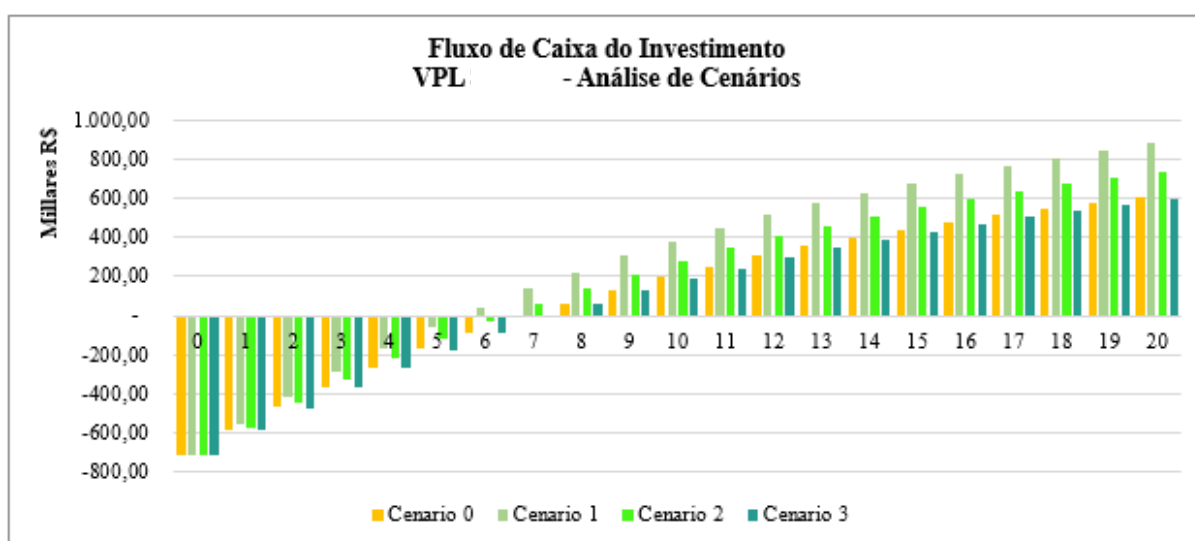
Fonte: Própria

Neste cenário mais pessimista a TIR para 10 anos é 5,12% < 8,099% o que reprovava o projeto. No prazo de 20 anos temos a TIR 9,38% > 8,099% sendo um projeto viável de investimento.

3.7.1.4 Resumo de análise dos Cenários

Neste tópico reunimos as análises realizadas nos pontos anteriores para facilitar a visualização das diferenças entre os cenários.

Figura 3.26 - Gráfico consolidado do Fluxo de VPL a 8,099% dos cenários



Fonte: Própria

É possível identificar que quanto maior o valor da tarifa de energia mais viável será o projeto, ou seja, se estivermos enfrentando escassez de chuvas e os grandes reservatórios de geração hidráulica estiverem sendo racionados significa que as UTE's estão sendo acionadas com maior frequência e isso reflete no acréscimo de tarifa. Tarifa maior reflete em poupança maior o que é proporcional ao caixa de entrada.

Tabela 3.26 - Resumo indicadores de viabilidade dos cenários

Descrição	Unid.	Cenário 0	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Payback Simples	Anos	5,25	4,36	4,78	5,29
Payback Descontado	Anos	7,11	5,60	6,30	7,19
VPL em 10 anos	R\$	194.145,84	379.173,55	281.558,74	186.499,34
TIR em 10 anos	%	5,32%	9,98%	7,56%	5,12%
VPL em 20 anos	R\$	609.388,67	879.338,33	736.921,37	598.232,65
TIR em 20 anos	%	9,54%	13,38%	11,37%	9,38%

Fonte: Própria

Na análise inicial a qual chamamos de Cenário 0 foi considera somente a Tarifa Branca normal sem acréscimos de tarifa e com TD=0,75 ao longo do período do projeto. Este cenário aproximasse do Cenário 3 o qual chamamos de pessimista onde temos um payback simples de 5 anos e 4 meses e uma TIR de 5,12% em 10 anos e aproximadamente 9,5% em 20 anos. Quando passamos para o Cenário 1 temos uma composição de com TD=0,8 e 70% do período com tarifa acrescida de Bandeira Vermelha, essas condições tornam o projeto mais interessante devido as compensações dos créditos serem convertidos com o mesmo valor. Nesta condição temos o Payback de 4 anos e 5 meses e TIR em 10 anos de 9,98% > 8,099% o que são valores bastante favoráveis para o investimento no projeto.

4 Considerações finais

O objetivo desta monografia foi trazer uma solução para aproveitamento de áreas ociosas em uma Estação de Tratamento de Água por Ultrafiltração para geração de energia elétrica. Toda ETA de Ultrafiltração tem um galpão para abrigar o sistema de membranas que não podem ficar expostas a radiação solar. Devido a essa razão surge uma oportunidade para aproveitar a área do telhado do galpão da ultrafiltração para instalação de painéis fotovoltaicos, este estudo abre a possibilidade de realizar a mesma aplicação em outras unidades de tratamento. Sabemos que em nossa matriz energética cerca de 50% do consumo de energia elétrica é destinado a alimentação de motores, em uma estação de tratamento de água os vilões no consumo de energia são as bombas hidráulicas, ventiladores e compressores que são movidos por motores. O

consumo total estimado da ETA é de 14GW/ano, então é válida a iniciativa para tentar reduzir o consumo de energia pelo reaproveitamento de um espaço onde temos um consumo de energia tão alto. Além da área do telhado do galpão temos outra área dentro dos limites da ETA que seria destinada a vegetação local a qual foi incluída como área útil e que totalizou aproximadamente 1600m² da área da ETA para geração fotovoltaica. Consideramos no estudo somente o consumo da etapa de Ultrafiltração que é de 955 MWh/ano, com a geração fotovoltaica conseguimos produzir 277 MWh/ano, chegando ao índice de atendimento de 29%. Se fizermos a comparação com o total do consumo da ETA atendemos somente 2% o que pode não parecer representativo devido ao elevado consumo da unidade. Uma opção para aumentar o indicador de atendimento poderia ser agregar uma área próxima ao local e ampliar a área de instalação para elevar o índice de atendimento.

Na análise de viabilidade a simulação realizada para os três cenários foram todas positivas quando falamos de uma projeção de 20 anos, que será o término da garantia de eficiência de funcionamento dos painéis. Considero bastante positivo obtermos para todos os cenários um Payback de 5 à 7 anos. A compensação de créditos é constante, direta e reajustada conforme os reajustes tarifários da comercializadora de energia, assim sendo, teremos entre 13 à 15 anos de geração FV livre compensada. No melhor dos cenários teremos um VPL de R\$ 880 mil com TIR de 13,38% e no pior caso um VPL de R\$ 598 mil com TIR de 9,38%. Verificamos neste estudo que quanto maior o valor da tarifa resultante dos acréscimos devido a alteração bandeira tarifária melhor será a viabilidade do projeto.

Considerando condições normais e sem descontos o sistema de geração de energia gera uma poupança anual de R\$ 135 mil, ao longo de 10 anos será R\$ 1,3 mi. e em 20 anos R\$ 2,7 mi.

Estamos vivendo um aumento das alterações climáticas as quais foram reflexo de um desenvolvimento sem que o planejamento considerasse as limitações futuras, este projeto vai de encontro as necessidades de crescimento econômico com a ampliação das fontes de energias renováveis e sustentáveis. Com a utilização deste sistema de geração fotovoltaica geramos uma economia em créditos de carbono de 30.470,0 kgCO₂e.

Em países desenvolvidos como a Alemanha, a geração distribuída corresponde a uma parcela importante na sua matriz energética e crescimento. O futuro do Brasil rumo para a necessidade de ampliação da matriz energética de forma sustentável e limpa. Como temos limitações para áreas de reservatórios e a necessidade de investimento ser muito elevada para projetos de implantação de novas hidrelétricas o crescimento da geração distribuída surge como um

caminho coerente para o futuro. Assim o aumento de aplicações como a tratada por esta monografia seria fundamental e evolutivo, principalmente aplicadas em áreas público/privadas de grande dimensão que não tenham utilidade efetiva.

5 Referências Bibliográficas

ADAMS, W.M. The Future of Sustainability: Re-thinking Environment and Development in the Twenty-first Century - **Report of the IUCN Renowned Thinkers Meeting**, p. 29-31, 2006. Disponível em https://www.academia.edu/32071207/The_Future_of_Sustainability_Re-thinking_Environment_and_Development_in_the_Twenty-first_Century. Acesso em 05/04/2019.

ALMEIDA, A.L.M., Meio Filtrante, 2011. Processo de ultrafiltração apresenta vantagens pelo custo e qualidade. Disponível em: <http://meiofiltrante.com.br/internas.asp?id=12043&link=noticias>. Acesso em 10/05/2019.

ANEEL: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2019. **Cálculo Tarifário e Metodologia**. Disponível em: www.aneel.gov.br. Acesso em 01/04/2019.

ARNEL, W.N., Climate Change and Global Water Resources. **Global Environmental Change**, v. 09, p. S31 – S49, 1999. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959378099000175>. Acesso em 19/05/2019.

CEB: Companhia Energética de Brasília, 2019. **Simulador de Tarifas Brancas**. Disponível em <http://simuladortarifabranca.ceb.com.br/public/>. Acesso em 07/05/19.

CRESESB: Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sergio de S. Brito, 2018. **Potencial Solar - SunData v 3.0**. Disponível em <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata&>. Acesso em 25/02/2019.

DAN EPSTEIN, JUDITH SYKES, JO CARRIS, 2011. Ministério do Meio Ambiente. **Estruturas – Como Medir Créditos de Carbono**. Disponível em: www.mma.gov.br/estruturas/255/_arquivos/3_como_medir_creditos_de_carbono_255.pdf. Acesso em 06/04/2019

DICIONÁRIO AURÉLIO, 2019. **Sustentabilidade**. Disponível em: <https://dicionariodoaurelio.com/sustentavel>. Acesso em 28/03/19.

DUFFIE, J. A. **Solar Engineering of Thermal Processes**, 4ª Edição – New Jersey: John Wiley & Sonsuffie, 2013. Disponível em: https://www.academia.edu/18926928/John_A._Duffie_Solar_Engineering_of_Thermal_Processes_4th_Edition_2013_by_John_Wiley_and_Sons. Acesso em 26/02/2019.

FEIL, A. A.; SCHREIBER, D. Sustentabilidade e Desenvolvimento Sustentável: Desvendando as Sobreposições e Alcances de Seus Significados. **Cadernos EBAPE.BR**, v. 15, n. 3, p. 667-681, 2017.

GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL, **Como é feito o abastecimento de água no DF**. Disponível em: <<http://www.brasilia.df.gov.br/como-e-feito-o-abastecimento-de-agua-no-df/>>. Acesso em : 15 de Maio de 2019)

GREEN, P., LAMMERS, R.B., SALISBURY, J., VÖRÖSMARTY, C.J. Global Water Resources: Vulnerability from Climate Change and Population Growth. **Science**, vol. 289, p. 284-288, 2000. Disponível em: <https://science.sciencemag.org/content/289/5477/284>. Acesso em 10/05/2019.

INMET: Instituto Nacional de Meteorologia, 2019. **Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática**. Disponível em <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>. Acesso em 19/04/2019.

INMETRO, 2017. **Tabela De Eficiência Energética - Sistema De Energia Fotovoltaica – Módulos**. Disponível em <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/sistema-fotovoltaico.asp>. Acesso em 03/03/2019.

JORNAL NACIONAL, **Brasília vive a maior escassez de água de seus 57 anos de história**, 23/10/2017. Disponível em: <http://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2017/10/brasilia-vive-maior-escassez-de-agua-de-seus-57-anos-de-historia.html>. Acesso em 03/03/2019.

KUROKAWA, S., **Eletricidade - Análise de Circuitos Alimentados por Fontes Constantes**. Curso Graduação em Engenharia Mecânica, 2013. Universidade Estadual Paulista - Faculdade De Engenharia – Campus De Ilha Solteira.

LUZ, C.E., RÉ, A.M., HERNANDES, F., CASTANHO, M.J.P.. Economia de Energia no Sistema de Abastecimento de Água: Uma Abordagem Usando Algoritmos Genéticos, 2016. Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, PR. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/306064459_Economia_de_Energia_no_Sistema_de_Abastecimento_de_Agua_Uma_Abordagem_Usando_Algoritmos_Geneticos. Acesso em 05/05/2019

MASSON-DELMOTTE, V.P., ZHAI, H.-O. PÖRTNER, D., ROBERTS, J. SKEA, P.R. SHUKLA, A. PIRANI, W. MOUFOUMA-OKIA, C. PÉAN, R. PIDCOCK, S. CONNORS, J.B.R. MATTHEWS, Y. CHEN, X. ZHOU, M.I. GOMIS, E. LONNOY, T. MAYCOCK, M. TIGNOR, and T. WATERFIELD (EDS.). IPCC - The Intergovernmental Panel on Climate Change, 2018: Summary for Policymakers. **Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special**

Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Disponível em:

https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/05/SR15_SPM_version_report_LR.pdf.

Acesso em: 03/04/2019.

MIERZWA, J.C., SILVA, M.C.C., RODRIGUES, L.D.B., HESPANHOL, I., **Tratamento de Água para Abastecimento Público por Ultrafiltração: Avaliação Comparativa através dos Custos Diretos de Implantação e Operação com os Sistemas Convencional e Convencional com Carvão Ativado.** 15/02/2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/esa/v13n1/a11v13n1.pdf>. Acesso em: 28/06/2019

MINISTERIO DO MEIO AMBIENTE, 2019. **Convenção das Nações Unidas, Protocolo de Quioto.** Disponível em: www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/protocolo-de-quioto. Acesso em 06/04/2019.

NAKANO, A. **Energia Solar Fotovoltaica – Parte 3.** Curso Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética, 2018. PECE Poli USP.

PACHECO, C.R.F., **Conceitos Fundamentais de Conversão Fotovoltaica e Energia Solar.** Curso Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética, 2018. Apostila 04. PECE Poli USP.

PARENTE, V. **Análise de Viabilidade Econômica.** Curso Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética, 2018. PECE Poli USP.

RAHAMAN, M. M., VARIS, O. Integrated Water Resources Management: Evolution, Prospects And Future Challenges. **Sustainability: Science Practice, & Policy**, vol 1, p. 1 – 8, 2005. Disponível em https://www.academia.edu/645128/Integrated_water_resources_management_evolution_prospects_and_future_challenges. Acesso em 15/04/2019.

SNIS. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos** – 2017. Brasília: SNS/MDR, 2019. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2017>. Acesso em: 30/06/2019

SULGIPE, 2019. **Histórico das Bandeiras Tarifárias.** Disponível em: <http://www.sulgipe.com.br/Home/HistoricoBandeiras>. Acesso em 20/05/2019.

TCPO - **Tabelas de Composições de Preços Para Orçamento** - 15ª Edição - Brasil: Pini, 2017.

TIBA, C. **Atlas Solarimétrico do Brasil : banco de dados solarimétricos**. 2ª Edição - Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2000. Disponível em http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Atlas_Solarimetrico_do_Brasil_2000.pdf. Acesso em 27/02/2019.

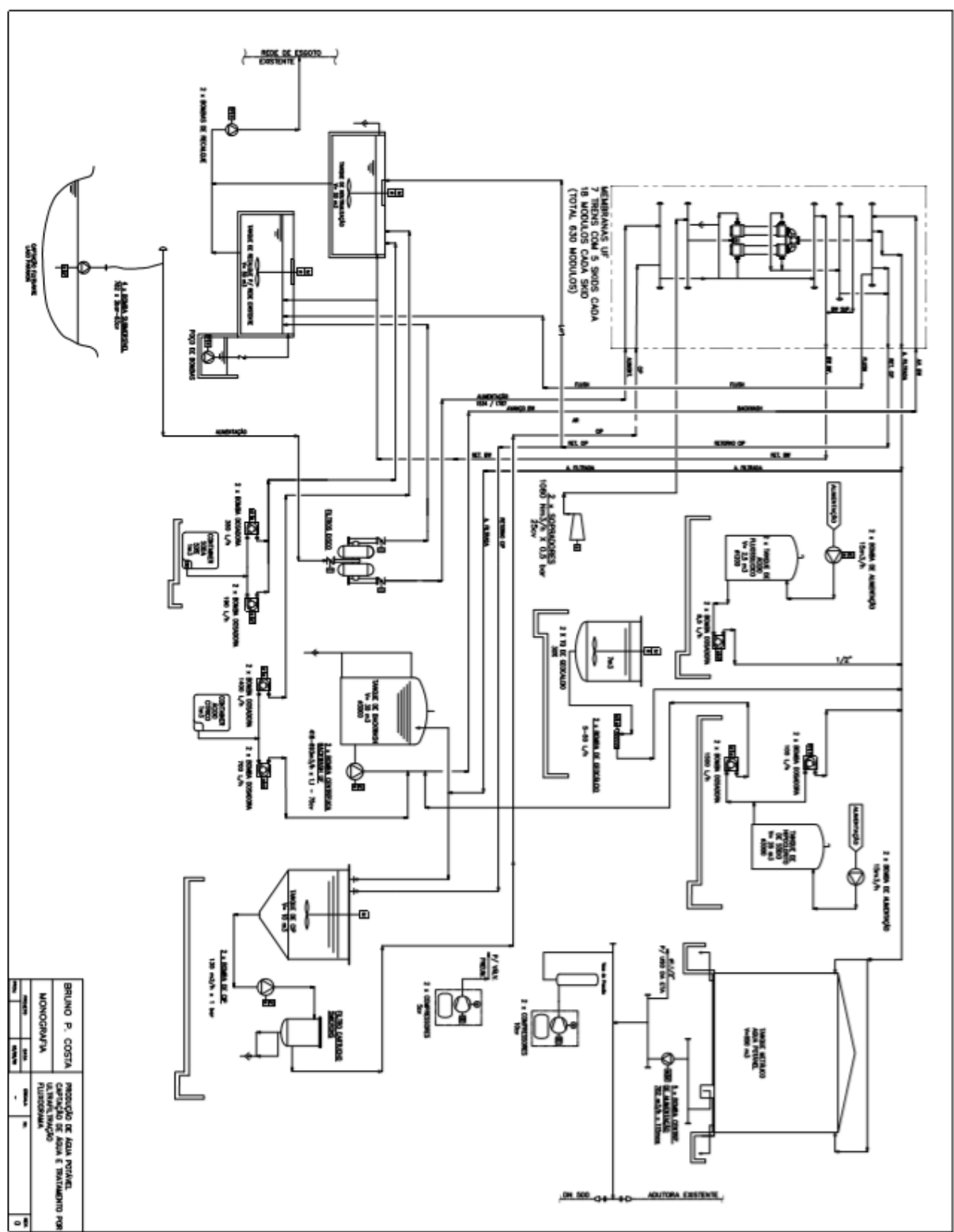
WEG, 2017. **Motores Elétricos - Guia De Especificações**. Disponível em <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h32/hc5/WEG-motores-eletricos-guia-de-especificacao-50032749-brochure-portuguese-web.pdf>. Acesso em 20/03/2019.

WIKIPEDIA, 2018. **Predefinição:Tabela climática de Brasília**. Disponível em https://pt.wikipedia.org/wiki/Predefini%C3%A7%C3%A3o:Tabela_clim%C3%A1tica_de_Bras%C3%ADlia. Acesso em 27/02/2019.

WWF-BRASIL, **Mudanças Climáticas**. Disponível em: www.wwf.org.br/natureza_brasileira/reducao_de_impactos2/clima/mudancas_climaticas2/ . Acesso em: 22 de Maio de 2019

6 Apêndices

Apêndice I - Diagrama de Processo simplificado



Apêndice II – Folha de dados – HiKu, SUPer HIGH PoWer PoLY PerC module, CS3W-395|400|405|410|415P







HiKu

SUPER HIGH POWER POLY PERC MODULE
395 W ~ 415 W
CS3W-395 | 400 | 405 | 410 | 415P

MORE POWER

-  24 % more power than conventional modules
-  Up to 4.5 % lower LCOE
Up to 2.7 % lower system cost
-  Low NMOT: 42 ± 3 °C
Low temperature coefficient (Pmax): -0.37 % / °C
-  Better shading tolerance

MORE RELIABLE

-  Lower internal current, lower hot spot temperature
-  Cell crack risk limited in small region, enhance the module reliability
-  Heavy snow load up to 5400 Pa, wind load up to 3600 Pa

25 years linear power output warranty

10 years product warranty on materials and workmanship

MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES*

ISO 9001:2015 / Quality management system
 ISO 14001:2015 / Standards for environmental management system
 OHSAS 18001:2007 / International standards for occupational health & safety

PRODUCT CERTIFICATES*

IEC 61215 / IEC 61730: VDE / CE / CEC AU
 IEC61701 ED2: VDE / IEC62716: VDE
 UL 1703: CSA
 Take-e-way





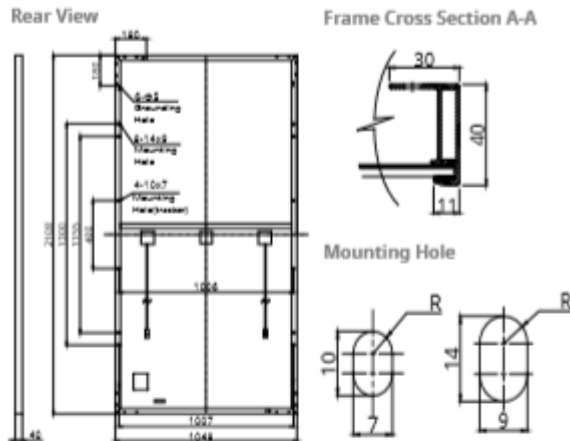


* We can provide this product with special BOM specifically certified with salt mist and ammonia tests. Please talk to our local technical sales representatives to get your customized solutions.

CANADIAN SOLAR INC. is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world. No. 1 module supplier for quality and performance/price ratio in IHS Module Customer Insight Survey. As a leading PV project developer and manufacturer of solar modules with over 30 GW deployed around the world since 2001.

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

ENGINEERING DRAWING (mm)



ELECTRICAL DATA | STC*

CS3W	395P	400P	405P	410P	415P
Nominal Max. Power (P _{max})	395 W	400 W	405 W	410 W	415 W
Opt. Operating Voltage (V _{mp})	38.5 V	38.7 V	38.9 V	39.1 V	39.3 V
Opt. Operating Current (I _{mp})	10.26 A	10.34 A	10.42 A	10.49 A	10.56 A
Open Circuit Voltage (V _{oc})	47.0 V	47.2 V	47.4 V	47.6 V	47.8 V
Short Circuit Current (I _{sc})	10.82 A	10.90 A	10.98 A	11.06 A	11.14 A
Module Efficiency	17.88%	18.11%	18.33%	18.56%	18.79%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C				
Max. System Voltage	1500V (IEC/UL) or 1000V (IEC/UL)				
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC 61730)				
Max. Series Fuse Rating	20 A				
Application Classification	Class A				
Power Tolerance	0 ~ + 5 W				

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

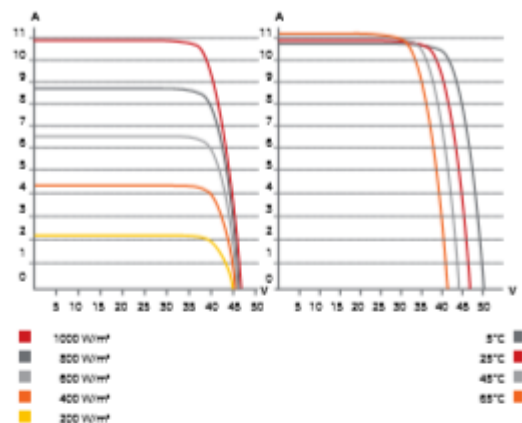
ELECTRICAL DATA | NMOT*

CS3W	395P	400P	405P	410P	415P
Nominal Max. Power (P _{max})	293 W	297 W	301 W	304 W	308 W
Opt. Operating Voltage (V _{mp})	35.1 V	35.3 V	35.5 V	35.7 V	35.9 V
Opt. Operating Current (I _{mp})	8.35 A	8.42 A	8.48 A	8.52 A	8.58 A
Open Circuit Voltage (V _{oc})	44.0 V	44.2 V	44.4 V	44.6 V	44.8 V
Short Circuit Current (I _{sc})	8.72 A	8.78 A	8.85 A	8.90 A	8.97 A

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

* The specifications and key features contained in this datasheet may deviate slightly from our actual products due to the on-going innovation and product enhancement. Canadian Solar Inc. reserves the right to make necessary adjustment to the information described herein at any time without further notice. Please be kindly advised that PV modules should be handled and installed by qualified people who have professional skills and please carefully read the safety and installation instructions before using our PV modules.

CS3W-400P / I-V CURVES



MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Poly-crystalline
Cell Arrangement	144 [2 X (12 X 6)]
Dimensions	2108 X 1048 X 40 mm (83.0 X 41.3 X 1.57 in)
Weight	24.9 kg (54.9 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame	Anodized aluminium alloy, crossbar enhanced
J-Box	IP68, 3 bypass diodes
Cable	4 mm ² (IEC), 12 AWG (UL)
Cable Length (Including Connector)	Portrait: 500 mm (19.7 in) (+) / 350 mm (13.8 in) (-); landscape: 1400 mm (55.1 in); leap-frog connection: 1670 mm (65.7 in)*
Connector	T4 series
Per Pallet	27 pieces
Per Container (40' HQ)	594 pieces

* For detailed information, please contact your local Canadian Solar sales and technical representatives.

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (P _{max})	-0.37 % / °C
Temperature Coefficient (V _{oc})	-0.29 % / °C
Temperature Coefficient (I _{sc})	0.05 % / °C
Nominal Module Operating Temperature	42 ± 3°C

PARTNER SECTION



CANADIAN SOLAR INC.

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

January 2018. All rights reserved, PV Module Product Datasheet VS.S71_EN



SOLAR INVERTERS

ABB string inverters

TRIO-TM-50.0-400/TRIO-TM-60.0-480
50 to 60 kW



—
TRIO-TM-50.0/60.0
outdoor string inverter

This new addition to the TRIO family, with 3 independent MPPT and power ratings of up to 60 kW (480 V version), has been designed with the objective to maximize the ROI in large systems with all the advantages of a decentralized configuration for both rooftop and ground-mounted installations.

Modular design

The TRIO-TM-50.0/60.0 has a modular design to guarantee maximum flexibility, thanks to the different versions available.

The separate and configurable AC and DC compartments increase the ease of installation and maintenance with their ability to remain separately wired from the inverter module inside the system. The TRIO comes with the most complete wiring box configurations available including up to 15 DC inputs with fast connectors, string protection fuses, AC and DC switches and type II AC and DC surge arresters.

Design flexibility

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

The TRIO-TM comes with a forced air cooling system, used also in the previous TRIO products, designed for a simple and fast maintenance, allowing a maximum flexibility of plant design. The inverter comes with mounting supports for both horizontal and vertical installations, which allow for the best use of space available beneath the solar panels.

Embedded multi communication interfaces (WLAN,

The TRIO-TM-50.0/60.0 is ABB's latest three-phase string solution for cost efficient large decentralized photovoltaic systems for both commercial and utility applications.

Ethernet, RS485) combined with a Sunspec compliant Modbus protocol (RTU/TCP) allow the inverter to be easily integrated with any third party monitoring and control systems.

Improved commissioning and maintenance

Thanks to the build-in Web User Interface (WUI) the installer can commission the inverter wirelessly and change advanced parameters by using any standard WLAN enabled device (smartphone, tablet or PC).

Integrated logging capability allows remote monitoring of the plant without the need of any additional external loggers.

Remote firmware update of the inverter system and components via Aurora Vision*.

Highlights

- 3 Independent MPPT
- Transformerless inverter
- Double stage topology for a wide input range
- Large set of specific grid codes available which can be selected directly in the field
- Separate AC and DC compartments are available in different configurations
- Both vertical and horizontal installation
- 2 available sizes, 50 and 60 kW with 400 and 480 Vac of output voltage, respectively
- Wireless access to embedded user interfaces
- Ethernet daisy chain enabled
- Modbus TPC/RTU Sunspec compliant
- Remote monitoring and firmware update via Aurora Vision* (logger free)
- Lifetime free of charge access to Aurora Vision

ABB string inverters

TRIO-TM-50.0-400

TRIO-TM-60.0-480

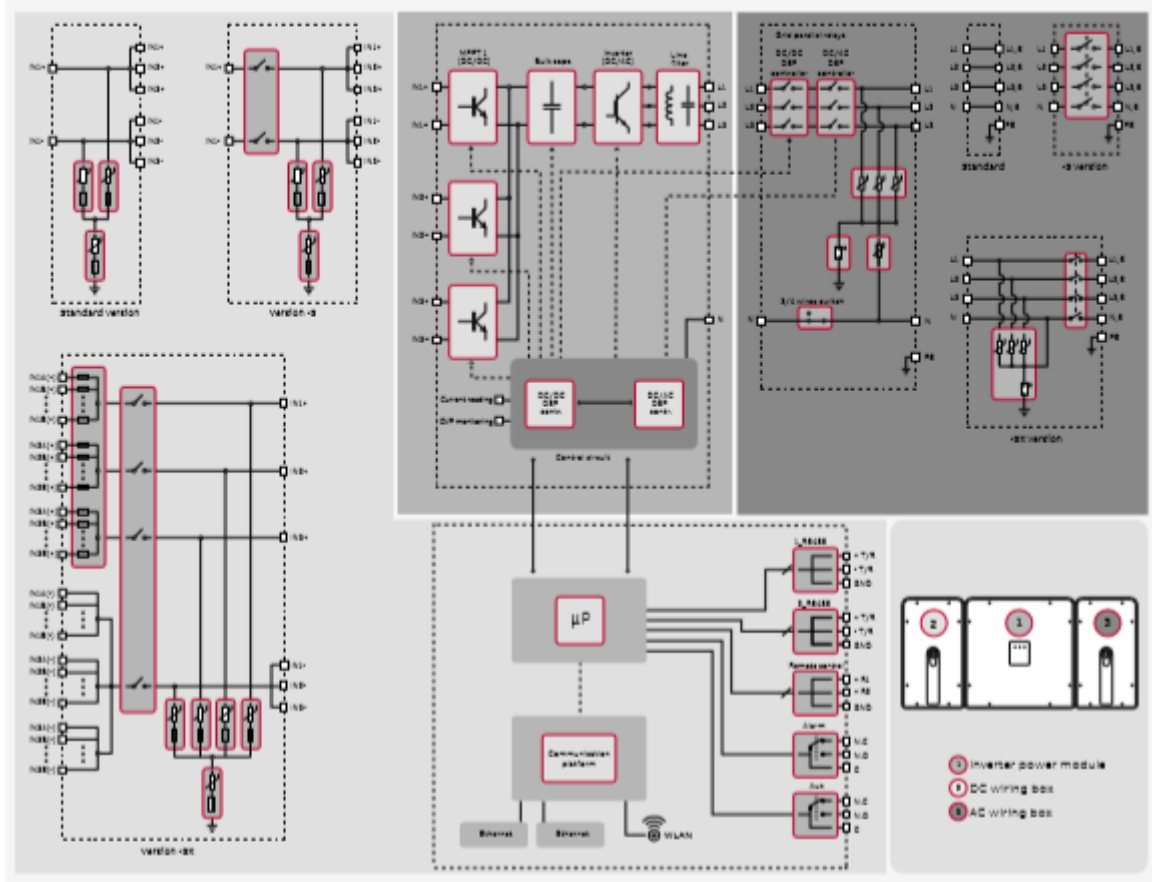
50 to 60 kW



Technical data and types

Type code	TRIO-TM-50.0-400	TRIO-TM-60.0-480
Input side		
Absolute maximum DC Input voltage (V_{max})	1000 V	
Start-up DC Input voltage (V_{min})	420...700 V (Default 420 V)	420...700 V (Default 500 V)
Operating DC Input voltage range ($V_{min} \dots V_{max}$)	0,7x V_{max} ... 950 V (min 300 V)	0,7x V_{max} ... 950 V (min 360 V)
Rated DC Input voltage (V_{nom})	610 Vdc	720 Vdc
Rated DC Input power (P_{in})	52000 W	61800 W
Number of Independent MPPT	3 (SX and SX2 version) / 1 (standard and S version)	
Number of MPPT in parallel mode	1	
Maximum DC Input power for each MPPT (P_{max})	17500 W	21000 W
MPPT Input DC voltage range ($V_{min} \dots V_{max}$) at P_{max}	480-800 Vdc	570-800 Vdc
Maximum DC Input current (I_{max}) for each MPPT	36 A	
Maximum input short circuit current for each MPPT	55 A (165 A in case of parallel MPPT)	
Number of DC Input pairs for each MPPT	5	
DC connection type	Screw terminal block (Standard and -S version) or PV quick fit connector * (-SX and SX2 version)	
Input protection		
Reverse polarity protection	Yes, from limited current source	
Input over voltage protection for each MPPT - varistor	Yes, 1 for each MPPT	
Input over voltage protection for each MPPT - plug-in modular surge arrester	Type 2 (option) with monitoring	
Photovoltaic array isolation control	According to local standard	
DC switch rating for each MPPT (version with DC switch)	60 A / 1000 V for each MPPT (180 A in case of parallel MPPT)	
Fuse rating (version with fuses)	15 A / 1000 V	
Output side		
AC grid connection type	Three-phase (3W+PE or 4W+PE)	
Rated AC power (P_{out} @cosφ=1)	50000 W	60000 W
Maximum AC output power (P_{max} @cosφ=1)	50000 W	60000 W
Maximum apparent power (S_{max})	50000 VA	60000 VA
Rated AC grid voltage (V_{grid})	400 V	480 V
AC voltage range	320...480 V ⁽¹⁾	384...571 V ⁽¹⁾
Maximum AC output current (I_{out})	77 A	
Contributory fault current	92 A	
Rated output frequency (f)	50 Hz / 60 Hz	
Output frequency range ($f_{min} \dots f_{max}$)	47...53 Hz / 57...63 Hz ⁽²⁾	
Nominal power factor and adjustable range	> 0.995; 0...1 Inductive/capacitive with maximum S_{max}	
Total current harmonic distortion	<3%	
AC connection type	Screw terminal block, cable gland	
Output protection		
Anti-islanding protection	According to local standard	
Maximum external AC overcurrent protection	100 A	
Output overvoltage protection - varistor	Yes	
Output overvoltage protection - plug-in modular surge arrester	Type 2 (option) with monitoring	
Operating performance		
Maximum efficiency (η _{max})	98.3%	98.5%
Weighted efficiency (EURO)	98.0% / -	98.0% / -
Communication		
Embedded communication Interfaces	2x RS485, 2x Ethernet (RJ45), WLAN (IEEE802.11 b/g/n @ 2,4 GHz)	
Communication protocols	Modbus RTU / TCP (SunSpec compliant); Aurora Protocol	
Remote monitoring services	Standard level access to Aurora Vision monitoring portal Integrated Web User interface; Display (option); Embedded logging and direct transferring of data to Cloud	
Advanced features		
Environmental		
Ambient temperature range	-25...+60°C (-13...140 °F) with derating above 45 °C (113 °F)	-25...+60°C (-13...140 °F) with derating above 45 °C (113 °F)
Relative humidity	4%... 100% condensing	
Sound pressure level, typical	75 dB(A) @1 m	
Maximum operating altitude	2000m / 6561ft	
Physical		
Environmental protection rating	IP65 (IP54 for cooling section)	
Cooling	Forced air	
Dimension (H x W x D)	725 mm x 1491 mm x 315 mm / 28.5" x 58.7" x 12.4"	
Weight	95 kg / 209 lbs overall, 66 kg / 145 lbs electronic compartment, 15 kg / 33 lbs AC wiring box (full optional), 14kg / 31 lbs DC wiring box (full optional)	
Mounting system	Wall bracket, horizontal support	

ABB TRIO-TM-50.0-400 / TRIO-TM-60.0-480 string inverter block diagram



Technical data and types

Type code	TRIO-TM-50.0-400	TRIO-TM-60.0-480
Safety	Transformerless	
Isolation level	CE	
Marking	IEC/EN 62109-1, IEC/EN 62109-2, EN 61000-6-2, EN 61000-6-3, EN 61000-3-11, EN 61000-3-12	
Safety and EMC standard	CEI 0-21, CEI 0-16, DIN V VDE V 0126-1-1, VDE-AR-N 4105, G59/3, EN 50438 (not for all national appendices), RD 1699, RD 413, RD 661, P.O. 12.3, AS 4777, BDEW, NRS-097-2-1, MEA, PEA, IEC 61727, IEC 60068, IEC 61683, VFR-2014, IEC 62116	
Grid standard (check your sales channel for availability)		
Available product variants		
Inverter power module	TRIO-TM-50.0-400-POWER MODULE	TRIO-TM-60.0-480-POWER MODULE
DC wiring box options ¹⁾		
Input connections with terminal blocks	DCWB-TRIO-TM-50.0-400	DCWB-TRIO-TM-60.0-480
Input connections with terminal blocks + DC switch	DCWB-S-TRIO-TM-50.0-400	DCWB-S-TRIO-TM-60.0-480
15 quick input connections + fuses (single pole) + DC switch ²⁾	DCWB-SX-TRIO-TM-50.0-400	DCWB-SX-TRIO-TM-60.0-480
15 quick input connections + fuses (both poles) + DC switch ²⁾	DCWB-SX2-TRIO-TM-50.0-400	DCWB-SX2-TRIO-TM-60.0-480
AC wiring box options		
AC output connections with terminal blocks	ACWB-TRIO-TM-50.0	ACWB-TRIO-TM-60.0
AC output connections with terminal blocks + AC switch ³⁾	ACWB-SX-TRIO-TM-50.0	ACWB-SX-TRIO-TM-60.0
Optional available		
TRIO-GROUNDING-KIT	Available	Available
TRIO-AC-WIRING-KIT	Available	Available

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

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

³⁾ Please refer to the document "String Inverters - Product manual appendix" available at www.abb.com/solarinverters for information on the quickfit connector brand and model used in the inverter

⁴⁾ DCWB with display is available as optional, with dedicated wiring box version

⁵⁾ Type 2 surge arresters available as optional, with dedicated wiring box version

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