

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**PECE – PROGRAMA DE EDUCAÇÃO CONTINUADA DA ESCOLA POLITÉCNICA
DA USP - ENERGIAS RENOVÁVEIS, GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA**

Marcos Jovanelli Siscati

Estudo das diferenças de dimensionamento básico de dois sistemas
fotovoltaicos para uma mesma aplicação em termos de carga elétrica em
pontos extremos de radiação no Brasil.

SÃO PAULO
2015

Marcos Jovanelli Siscati

Estudo das diferenças de dimensionamento básico de dois sistemas fotovoltaicos para uma mesma aplicação em termos de carga elétrica em pontos extremos de radiação no Brasil.

Monografia apresentada ao PECE
para finalização do curso de Energias
Renováveis, Geração Distribuída e
Eficiência Energética

Área de Atuação:
Energia Solar

Orientador:
Prof. Dr. Cláudio Roberto de Freitas
Pacheco

SÃO PAULO
2015

Nome: Marcos Jovanelli Siscati

Título: Estudo das diferenças de dimensionamento básico de dois sistemas fotovoltaicos para uma mesma aplicação em termos de carga elétrica em pontos extremos de radiação no Brasil.

Monografia apresentada ao PECE para
Finalização do curso de Energias Renováveis,
Geração Distribuída e Eficiência Energética

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr.: _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr.: _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr.: _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Marcos Jovanelli Siscati

Estudo das diferenças de dimensionamento básico de dois sistemas fotovoltaicos para uma mesma aplicação em termos de carga elétrica em pontos extremos de radiação no Brasil.

Monografia apresentada ao PECE
para finalização do curso de Energias
Renováveis, Geração Distribuída e
Eficiência Energética

Área de Atuação:
Energia Solar

Orientador:
Prof. Dr. Cláudio Roberto de Freitas
Pacheco

SÃO PAULO
2015

FICHA CATALOGRÁFICA

Siscati, Marcos Jovanelli

Estudo das diferenças de dimensionamento básico de dois sistemas fotovoltaicos para uma mesma aplicação em termos de carga elétrica em pontos extremos de radiação no Brasil. / M. J. Siscati -- São Paulo, 2015. 50 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.

1.Energia Solar I 2.Sistema Fotovoltaico I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia II.t.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Roberto Cláudio Pacheco, pela sua educação, colaboração e fantásticas aulas que ministrou nos cursos do PECE e pela sua qualidade de ensino e discernimento com as informações, que traz importantes informações para conclusão desse trabalho.

À Escola Politécnica da USP, pela sua estruturação e qualidade de ensino.

Ao PECE, e todos e todos os professores que contribuíram com a educação e ensino de qualidade para os alunos que fecharam a turma, e colegas de sala.

Marcos Jovanelli Siscati

RESUMO

Este estudo comparou dois geradores fotovoltaicos com capacidade nominal de 245 kWh/dia nas cidades de Florianópolis SC, e Mossoró RN. Estas cidades foram escolhidas em face de que Mossoró apresenta uma radiação solar anual entre as maiores do Brasil e Florianópolis entre as menores do Brasil.

Este trabalho utilizou a metodologia da literatura especializada para o pré-dimensionamento dos sistemas a partir do banco de dados solarimétricos do Cresesb. Foram utilizados na sua composição componentes disponíveis no mercado brasileiro a partir dos quais calculou-se o montante de investimento.

Foram realizados estudos de viabilidade econômica através dos valores de eletricidade fornecidos pelas distribuidoras locais. Concluiu-se que a payback simples para o sistema de Florianópolis é de 12.3 anos o custo 366,93 R\$/MWh e de Mossoró 14.3 anos o custo 269,28 R\$/MWh, sugerindo que para as demais cidades brasileiras este valor situe-se em cifras intermediárias. O mesmo é válido para uma taxa de desconto de 5% que leva a 25,4 anos para Mossoró e 19.4 anos para Florianópolis.

ABSTRACT

This study compared two photovoltaic generators with rated capacity of 245 kWh/day in the cities of Florianópolis, and Mossoró, RN. These cities were chosen in the face of that features an annual solar radiation among Mossoró the biggest of Brazil and Florianópolis the smallest in Brazil.

This work used the methodology of specialized literature for pre-sizing these systems from the database of Cresesb. The system composition used components available in the Brazilian market from which it has been calculated the amount of investment.

Economic feasibility studies were carried out through the values of electricity supplied by local distributors. It was concluded that the simple payback for the system of Florianópolis is 12.3 years the cost 366,93 R\$/MWh and of Mossoró 14.3 years the cost 269,28 R\$/MWh, suggesting that for the other Brazilian cities, this value is in intermediate figures. The same is valid for a discount rate of 5% which leads to 25.4 years to Mossoró and 19.4 years to Florianópolis.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1. Correlação do HD/H	07
FIGURA 2.2. Localização de Florianópolis em Santa Catarina	10
FIGURA 2.3. Localização de Florianópolis em Mossoró	11
FIGURA 2.4. Painéis Solares.....	12
FIGURA 2.5. Silício	13
FIGURA 2.6. Wafers Solares	13
FIGURA 2.7. Células Solares	14
FIGURA 2.8. Componentes de um Modulo Fotovoltaico	14
FIGURA 2.9. Geração de energia a partir do Sol	15
FIGURA 2.10. Curvas de funcionamento de módulos fotovoltaicos.....	16
FIGURA 2.11. Pannel fotovoltaico Sunmodule SW 245	18
FIGURA 2.12. Inversor REcon S1	19
FIGURA 2.13. Cabo fotovoltaico Flex SN 0,6/1KV	20
FIGURA 2.14. Cálculo de Payback simples.....	21
FIGURA 2.15. Cálculo do valor presente líquido	22
FIGURA 2.16. Cálculo da taxa interna de retorno	22
FIGURA 3.1. Mapa Geográfico (Florianópolis)	23
FIGURA 3.2. Mapa Geográfico (Mossoró).....	23
FIGURA 3.3. Gráfico da irradiação solar diária média [kWh/m ² dia] plano horizontal em Florianópolis	25
FIGURA 3.4. Distribuição ao longo do ano da radiação solar total, direta e difusa para Florianópolis	26
FIGURA 3.5. Radiação solar média mensal na latitude ϕ com $\beta = 30^\circ$ para Florianópolis.....	27
FIGURA 3.6. Gráfico da irradiação solar diária média [kWh/m ² dia] plano horizontal em Mossoró.....	29
FIGURA 3.7. Distribuição ao longo do ano da radiação solar total, direta e difusa para Mossoró	30
FIGURA 3.8. Radiação solar média mensal na latitude ϕ com $\beta = 10^\circ$ para Mossoró	31
FIGURA 3.9. Radiação solar que chega no plano horizontal em Florianópolis com $\beta = 0^\circ$ e Mossoró com $\beta = 0^\circ$	33
FIGURA 3.10. Radiação solar que chega no plano inclinado em Florianópolis com $\beta = 30^\circ$ e Mossoró com $\beta = 10^\circ$	34

FIGURA 3.11. Desenho do sistema fotovoltaico on-grid conectado à rede	35
FIGURA 3.12. Desenho do sistema fotovoltaico on-grid para Florianópolis	38
FIGURA 3.13. Desenho do sistema fotovoltaico on-grid para Mossoró	41
FIGURA 3.14. Custo unitário e total dos materiais para a usina geradora.....	42
FIGURA 3.15. Custo em percentual dos materiais para a usina geradora	42
FIGURA 3.16. Quantitativo de materiais utilizados por fornecedor	43
FIGURA 3.17. Tarifas de energia elétrica da Celesc.....	44
FIGURA 3.18. Tarifas de energia elétrica da Cosern	44
FIGURA 3.19. Retorno de fluxo de caixa simples em Florianópolis.....	48
FIGURA 3.20. Retorno de fluxo de caixa simples em Mossoró.....	48
FIGURA 3.21. Retorno de fluxo de caixa descontado em Florianópolis	49
FIGURA 3.22. Retorno de fluxo de caixa descontado em Mossoró	49

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1. Dias médios recomendados para cada mês e respectivos valores de δ	05
TABELA 2.2. $\bar{H}_0$ [MJ/m ²] para $G_{sc}= 1353$ W/m ²	06
TABELA 2.3. Irradiação solar no plano horizontal em Florianópolis	08
TABELA 2.4. Irradiação solar no plano horizontal em Mossoró	08
TABELA 2.5. Dados climatológicos para Florianópolis.....	09
TABELA 2.6. Dados climatológicos para Mossoró	11
TABELA 3.1. Irradiação solar diária média [kWh/m ² dia] plano horizontal em Florianópolis.	25
TABELA 3.2. Resultados de cálculo para a latitude Φ e superfície com inclinação $\beta=30^\circ$ para Florianópolis	26
TABELA 3.3. Irradiação solar diária média [kWh/m ² dia] plano horizontal em Mossoró	29
TABELA 3.4. Resultados de cálculo para a latitude Φ e superfície com inclinação $\beta=10^\circ$ para Mossoró.....	30
TABELA 3.5. Dados utilizados do painel fotovoltaico – SW 245 poly	35
TABELA 3.6. Desempenho anual kWh gerado ano para Florianópolis.....	45
TABELA 3.7. Desempenho anual kWh gerado ano para Mossoró	46
TABELA 3.8. Payback Simples e Descontado Florianópolis e Mossoró	47
TABELA 3.9. Valor presente líquido e a TIR de Florianópolis e Mossoró	47

LISTA DE SÍMBOLOS

CELESC – Custo da energia anual gerada
COSERN – Custo da energia anual gerada
EGHSP– Energia gerada nas horas HSP
FCT– Fluxo de caixa no período t
 $\bar{H}$ – Irradiação média diária mensal incidente sobre a superfície horizontal
 $\bar{H}_0$ – Irradiação extraterrestre média diária mensal incidente sobre a superfície horizontal
 $\bar{H}_b$ – Componente direta da irradiação diária média mensal sobre a superfície horizontal
 $\bar{H}_{bT}$ – Componente direta da irradiação diária média mensal sobre a superfície inclinada
 $\bar{H}_d$ – Componente difusa da irradiação média diária mensal sobre a superfície horizontal
 $\bar{H}_T$ – Irradiação média diária mensal sobre a superfície inclinada de um ângulo β em relação a superfície terrestre
 $\bar{H}_{ref}$ – Irradiação nas condições de referência (STC ou NOCT)
HSP – Horas de Sol Pleno
i – Taxa de desconto
ISC– Corrente de curto-circuito
Imp– Corrente de pico
 $\bar{K}_T$ - índice de claridade diário médio mensal
MPPT – Maximum Power Point Tracking
Na– Número de dias de autonomia
NMS– Quantidade de módulos por string
NS– Quantidade de strings
NOCT – Normal Operation Cell Temperature
Pmp– Ponto de Máxima Potência
PPV– Potência nominal do arranjo fotovoltaico
PVC – Polyvinyl Chloride (Policloreto de polivinila ou Policloreto de vinil)
 $\bar{R}_b$ – é a razão da irradiação direta média mensal entre o plano inclinado e o plano horizontal
STC – Standard Test Conditions
Ta– Temperatura ambiente média mensal
TNOC – Temperatura nominal de operação da célula
Tref– Temperatura ambiente de referência (STC ou NOCT)
TK– Tempo de investimento
VOC– Tensão de circuito aberto
Vmp– Tensão de Pico
VPT– Valor presente total
VPL – Valor presente líquido
 β – Ângulo de inclinação da superfície
 γ – Ângulo azimutal da superfície

γ_{mp} – Coeficiente de temperatura no ponto de máxima potência

δ – Declinação solar

η_{PV} – Eficiência do módulo fotovoltaico

θ_Z – Ângulo zenital

Φ – Latitude

ω_s – Ângulo horário do pôr do Sol

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO

1.1. Objetivo	01
1.2. Justificativa.....	02
1.3. Metodologia.....	02

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 . Roteiros para cálculo da insolação média mensal diária sobre plano inclinado.....	03
2.2. Cálculos da Irradiação Solar no Plano do Módulo Fotovoltaico	04
2.3. Componentes De Radiação Direta e Difusa Média Mensal, como determinar as frações de radiação.....	07
2.4. Dados disponíveis no plano horizontal utilizados do CRESESB.....	08
2.5. Dados climáticos da cidade de Florianópolis.....	09
2.6. Dados climáticos da cidade de Mossoró.....	10
2.7. Características de Painéis Fotovoltaicos	12
2.8. Silício	12
2.9. Wafers Solares.....	13
2.10. Células Solares	13
2.11. Componentes de um Modulo Fotovoltaico	14
2.12. Energia Elétrica a partir de um Gerador Fotovoltaico ou Solar	15
2.13. Condição de operação dos módulos Fotovoltaicos	15
2.14. Dimensionamento do arranjo fotovoltaico para Florianópolis e Mossoró.....	16
2.15. Especificação técnica do painel fotovoltaico Sunmodule SW 245	18
2.16. Especificações técnicas do Inversor REcon S1.....	19
2.17. Especificações técnicas do cabo Fotovoltaico.....	20
2.18. Estudo de viabilidade econômica.....	21
2.19. Payback Simples.....	21
2.20. Valor Presente Líquido (VPL)	21

2.21. Taxa Interna de Retorno (TIR)	22
---	----

3. PRÉ DIMENSIONAMENTO DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA FLORIANÓPOLIS-SC E MOSSORÓ-RN

3.1. Localizações dos estados onde serão realizados os estudos de radiação	23
3.2. Estudo da radiação em plano inclinado para Florianópolis	25
3.3. Estudo da radiação em plano inclinado para Mossoró	29
3.4. Comparações de radiação solar no plano horizontal e inclinado para sobre Mossoró e Florianópolis	33
3.5. Cálculo de dimensionamento do arranjo fotovoltaico para Florianópolis e Mossoró	35
3.6. Desenho da implantação do sistema fotovoltaico em Florianópolis	38
3.7. Desenho da implantação do sistema fotovoltaico em Mossoró	41
3.8. Custo do arranjo fotovoltaico para Florianópolis e Mossoró	42
3.9. Tarifas de energia das concessionárias que representam as cidades de Florianópolis e Mossoró	44
3.10. Estudo de Viabilidade	45
3.11. Análise de viabilidade Econômica para Florianópolis e Mossoró	47
3.12. Comparação da viabilidade Econômica através do fluxo de caixa simples para Florianópolis e Mossoró	48
3.13. Comparação da viabilidade Econômica através do fluxo de caixa descontado para Florianópolis e Mossoró	49
4. Conclusão	50
5. Referências Bibliográficas	51

1. INTRODUÇÃO

Em países como o Brasil, que possui diversos rios a maior geradora de energia elétrica são as usinas Hidrelétricas. A energia renovável no Brasil está crescendo cada vez mais através da matriz energética, e com ela temos a energia solar. Essa energia é captada através dos módulos fotovoltaicos solares e passa por um inversor de corrente contínua para corrente alternada. A energia assim gerada será consumida nas instalações do cliente e o excedente na rede elétrica. Toda a energia disponibilizada na rede elétrica é creditada na conta de consumo do cliente. Quando a energia produzida é insuficiente, o consumo é atendido pela rede elétrica. Se houver excedente, a energia é injetada na rede. Esses sistemas reduzem a dependência e o consumo de energia elétrica da rede, substituindo-a por uma fonte de energia renovável. Com a redução dos custos de instalação e o aumento da consciência ambiental, essas aplicações têm crescido exponencialmente em todo o mundo.

1.1. Objetivo

O objetivo deste trabalho é fazer um estudo de caso comparando a diferença entre dois pré-dimensionamentos de sistemas fotovoltaicos um em Florianópolis SC o outro em Mossoró RN, que são extremos da incidência de energia solar no Brasil. Mostrou-se o desempenho anual de cada um destes sistemas através de valores mensais de energia produzidos, e calculou-se o custo para sua implantação bem como o retorno do investimento.

Os parâmetros principais a serem comparados serão:

Técnicos:

- Potências elétrica geradas / Temperaturas de operação
- Quantidade de painéis / inversores
- Correção de Tensão / Correção de corrente
- Cálculo de FDI

Econômicos:

- Custo do material, projeto e instalação;
- Payback Simples e Descontado

1.2. Justificativa

Sabe-se que a energia solar conectada à rede é capaz de substituir, ou suprir a energia convencional. Com ela, consegue-se equilibrar o consumo mensal de energias de fontes convencionais durante o período da noite, e energia solar durante o período do dia. O uso de energia solar oferece inúmeros benefícios ambientais, especificamente em termos de sua capacidade de renovação e de redução das emissões de gases de efeito estufa e também benefícios econômicos para aqueles que optam por instalá-los. Por isso efetuou-se este estudo como forma de contribuir para a difusão de uso da energia solar no Brasil.

1.3. Metodologia

Serão realizados os seguintes levantamentos:

- Dados dos dois estados através dos mapas geográficos, e dados climatológicos.
- Estudo de radiação no plano inclinado.
- Cálculo de radiação no plano inclinado e Horizontal.
- Cálculo para o plano horizontal da radiação direta e difusa
- Comparação da energia que chega no plano horizontal e plano inclinado.
- Mostrar o resultado calculado em comparação da radiação solar que chega no plano Inclinado e Horizontal.
- Cálculo de dimensionamento do arranjo fotovoltaico.
- Custo do arranjo fotovoltaico para implementação do projeto.
- Estudo através análise de viabilidade econômica para saber em quantos anos o projeto paga o investimento.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Roteiros para cálculo da insolação média mensal diária sobre plano inclinado.

Levando-se em conta a base de informação (ERG-006 Energia Solar I)

Φ : é Latitude do local, $-90^\circ < \Phi < +90^\circ$.

δ : é a Declinação solar – Posição angular do Sol em relação ao plano do equador ao meio-dia, $-23,45^\circ < \delta < +23,45^\circ$.

ω_s : é ângulo horário do pôr do Sol.

γ : é o ângulo azimutal da superfície.

β : é o ângulo de inclinação da superfície.

ρ : é a refletividade média do solo (0,2 para vegetação).

$\bar{H}_0$: é a irradiação extraterrestre média diária mensal incidente sobre a superfície horizontal [MJ/m²dia].

$\bar{H}$: é a irradiação média diária mensal incidente sobre a superfície horizontal medida por pirômetro e disponível no atlas solarimétrico. [MJ/m²dia].

$\bar{K}_T$: é o índice de claridade diário médio mensal, $\bar{K}_T = \bar{H}/\bar{H}_0$.

$\bar{H}_d$: é a componente difusa da irradiação média diária mensal sobre a superfície horizontal [MJ/m²dia].

$\bar{H}_b$: é componente direta da irradiação diária média mensal sobre a superfície horizontal [MJ/m²dia].

$\bar{H}_{bT}$: é componente direta da irradiação diária média mensal sobre a superfície inclinada [MJ/m²dia].

$\bar{R}_b$: a razão $\bar{H}_{bT}/\bar{H}_b$ que é estimada pelo seu valor sem a atmosfera, $\bar{R}_b = \bar{H}_{0T}/\bar{H}_0$;

$\bar{H}_T$: é a irradiação média diária mensal sobre a superfície inclinada de um ângulo β em relação a superfície terrestre [MJ/m²dia].

Radiação média diária mensal sobre uma superfície inclinada fixa, e dada por:

$$\bar{R} = \frac{\bar{H}_T}{\bar{H}} = \left(1 - \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}}\right) \bar{R}_b + \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} \left(\frac{1 + \cos \beta}{2}\right) + \rho \left(\frac{1 - \cos \beta}{2}\right) \quad 2.1$$

Onde $\bar{H}_d/\bar{H}$ é determinado por:

$$\frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} = 0,775 + 0,00653(\omega_s - 90) - [0,505 + 0,00455(\omega_s - 90)] \cos[115\bar{K}_T - 103] \quad 2.2$$

E para superfícies no hemisfério Sul, inclinadas diretamente para o Equador ($\gamma = 180^\circ$) temos:

$$\bar{R}_b = \frac{\cos(\phi + \beta) \cos \delta \sin \omega_s^* + \left(\frac{\pi}{180}\right) \omega_s^* \sin(\phi + \beta) \sin \delta}{\cos \phi \cos \delta \sin \omega_s + \left(\frac{\pi}{180}\right) \omega_s \sin \phi \sin \delta} \quad 2.3$$

2.4

ω_s^* Mínimo entre: $\arccos(-\tan \phi \tan \delta)$ e $\arccos(-\tan(\phi + \beta) \tan \delta)$

2.2 . Cálculos da Irradiação Solar no Plano do Módulo Fotovoltaico

Para se estimar a energia disponível para o dimensionamento de um sistema fotovoltaico optou-se pela utilização do modelo matemático de Liu-Jordan (1962) modificado por Klein (1977) que calcula a irradiação média diário mensal incidente sobre uma superfície inclinada fixa. Nesse modelo tanto a componente da irradiação difusa quanto o albedo são considerados isotrópicos.

A sequência de cálculo de $\bar{H}_T$ para os doze meses do ano na a localidade com latitude Φ será:

- 1) Determina-se a declinação solar (δ) para o dia médio de cada mês através da Tabela 2.1.

Tabela 2.1. Dias médios recomendados para cada mês e respectivos valores de δ .

Month	n for i th Day of Month	For Average Day of Month		
		Date	n	δ
January	i	17	17	-20.9
February	$31 + i$	16	47	-13.0
March	$59 + i$	16	75	-2.4
April	$90 + i$	15	105	9.4
May	$120 + i$	15	135	18.8
June	$151 + i$	11	162	23.1
July	$181 + i$	17	198	21.2
August	$212 + i$	16	228	13.5
September	$243 + i$	15	258	2.2
October	$273 + i$	15	288	-9.6
November	$304 + i$	14	318	-18.9
December	$334 + i$	10	344	-23.0

^aFrom Klein (1977). Do not use for $|\phi| > 66.5^\circ$.

Fonte: DUFFIE; BECKMAN (2013)

- 2) Utilizando o atlas Solari métrico, determina-se o valor de $\bar{H}$, mês a mês, para a latitude Φ ;
- 3) Para a latitude Φ desejada, interpola-se o valor de $\bar{H}_0$, mês a mês, usando a Tabela 2.2;
- 4) Calcula-se o valor de $\bar{K}_T$ mês a mês através da relação $\bar{K}_T = \bar{H}/\bar{H}_0$;
- 5) Calcula-se ω_s através da equação (8);
- 6) Determina-se o valor de ω_{s*} conforme o sistema de equações (9);
- 7) Calcula-se o valor da relação $\bar{H}_0 / \bar{H}$, mês a mês, através da equação (6);
- 8) Calcula-se o valor de $\bar{R}_0$, mês a mês, para a superfície com inclinação β através da equação (7);
- 9) Calcula-se o valor de $\bar{H}_T$ para a superfície com inclinação β , mês a mês, através da equação (4);
- 10) Divide-se o valor de $\bar{H}_T$ pelo fator de conversão 3,6 para se obter o valor em [kWh/m² dia].

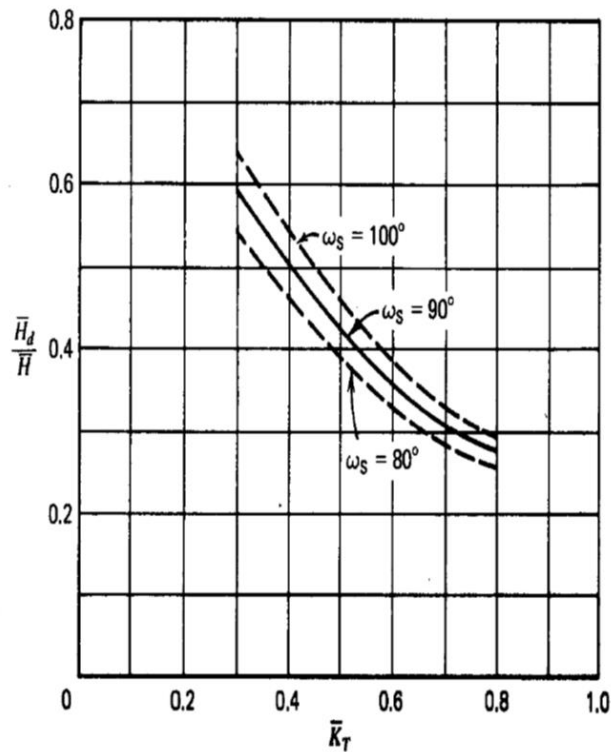
Tabela 2.2. $\bar{H}_0$ [MJ/m²] para $G_{sc}= 1353$ W/m².

ϕ	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
90	0.0	0.0	1.2	19.3	37.2	44.8	41.2	26.5	5.4	0.0	0.0	0.0
85	0.0	0.0	2.2	19.2	37.0	44.7	41.0	26.4	6.4	0.0	0.0	0.0
80	0.0	0.0	4.7	19.6	36.6	44.2	40.5	26.1	9.0	0.6	0.0	0.0
75	0.0	0.7	7.8	21.0	35.9	43.3	39.8	26.3	11.9	2.2	0.0	0.0
70	0.1	2.7	10.9	23.1	35.3	42.1	38.7	27.5	14.8	4.9	0.3	0.0
65	1.2	5.4	13.9	25.4	35.7	41.0	38.3	29.2	17.7	7.8	2.0	0.4
60	3.5	8.3	16.9	27.6	36.6	41.0	38.8	30.9	20.5	10.8	4.5	2.3
55	6.2	11.3	19.8	29.6	37.6	41.3	39.4	32.6	23.1	13.8	7.3	4.8
50	9.1	14.4	22.5	31.5	38.5	41.5	40.0	34.1	25.5	16.7	10.3	7.7
45	12.2	17.4	25.1	33.2	39.2	41.7	40.4	35.3	27.8	19.6	13.3	10.7
40	15.3	20.3	27.4	34.6	39.7	41.7	40.6	36.4	29.8	22.4	16.4	13.7
35	18.3	23.1	29.6	35.8	40.0	41.5	40.6	37.3	31.7	25.0	19.3	16.8
30	21.3	25.7	31.5	36.8	40.0	41.1	40.4	37.8	33.2	27.4	22.2	19.9
25	24.2	28.2	33.2	37.5	39.8	40.4	40.0	38.2	34.6	29.6	25.0	22.9
20	27.0	30.5	34.7	37.9	39.3	39.5	39.3	38.2	35.6	31.6	27.7	25.8
15	29.6	32.6	35.9	38.0	38.5	38.4	38.3	38.0	36.4	33.4	30.1	28.5
10	32.0	34.4	36.8	37.9	37.5	37.0	37.1	37.5	37.0	35.0	32.4	31.1
5	34.2	36.0	37.5	37.4	36.3	35.3	35.6	36.7	37.2	36.3	34.5	33.5
0	36.2	37.4	37.8	36.7	34.8	33.5	34.0	35.7	37.2	37.3	36.3	35.7
-5	38.0	38.5	37.9	35.8	33.0	31.4	32.1	34.4	36.9	38.0	37.9	37.6
-10	39.5	39.3	37.7	34.5	31.1	29.2	29.9	32.9	36.3	38.5	39.3	39.4
-15	40.8	39.8	37.2	33.0	28.9	26.8	27.6	31.1	35.4	38.7	40.4	40.9
-20	41.8	40.0	36.4	31.3	26.6	24.2	25.2	29.1	34.3	38.6	41.2	42.1
-25	42.5	40.0	35.4	29.3	24.1	21.5	22.6	27.0	32.9	38.2	41.7	43.1
-30	43.0	39.7	34.0	27.2	21.4	18.7	19.9	24.6	31.2	37.6	42.0	43.8
-35	43.2	39.1	32.5	24.8	18.6	15.8	17.0	22.1	29.3	36.6	42.0	44.2
-40	43.1	38.2	30.6	22.3	15.8	12.9	14.2	19.4	27.2	35.5	41.7	44.5
-45	42.8	37.1	28.6	19.6	12.9	10.0	11.3	16.6	24.9	34.0	41.2	44.5
-50	42.3	35.7	26.3	16.8	10.0	7.2	8.4	13.8	22.4	32.4	40.5	44.3
-55	41.7	34.1	23.9	13.9	7.2	4.5	5.7	10.9	19.8	30.5	39.6	44.0
-60	41.0	32.4	21.2	10.9	4.5	2.2	3.1	8.0	17.0	28.4	38.7	43.7
-65	40.5	30.6	18.5	7.9	2.1	0.3	1.0	5.2	14.1	26.2	37.8	43.7
-70	40.8	28.8	15.6	5.0	0.4	0.0	0.0	2.6	11.1	24.0	37.4	44.9
-75	41.9	27.6	12.6	2.4	0.0	0.0	0.0	0.8	8.0	21.9	38.1	46.2
-80	42.7	27.4	9.7	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	20.6	38.8	47.1
-85	43.2	27.7	7.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	20.3	39.3	47.6
-90	43.3	27.8	6.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	20.4	39.4	47.8

Fonte: DUFFIE; BECKMAN (2013)

2.3. Componentes De Radiação Direta e Difusa Média Mensal, como determinar as frações de radiação

Determina-se a Radiação direta e difusa média mensal (**H_d/H**) Através do Ângulo Horário do pôr do Sol (ω_s) e o Índice de claridade diário médio mensal ($\bar{K}_T$), conforme mostrado na Figura 2.1.



$$\frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} = 0.775 + 0.00653(\omega_s - 90)$$

2.5

$$- [0.505 + 0.00455(\omega_s - 90)]\cos[115\bar{K}_T - 103]$$

Figura 2.1. Radiação direta e difusa média mensal

Fonte: DUFFIE; BECKMAN (2013)

2.4. Dados disponíveis no plano Horizontal utilizados do CRESESB

O programa SunData destina-se ao cálculo da irradiação solar diária média mensal em qualquer ponto do território nacional e constitui-se em uma tentativa do CRESESB de oferecer uma ferramenta de apoio ao dimensionamento de sistemas fotovoltaicos. Foi usado no dimensionamento dos sistemas nas diversas fases do PRODEEM.

Adicionalmente são mostrados o valor da menor irradiação diária média mensal (**Mínimo**), da maior irradiação diária média mensal (**Máximo**), da irradiação diária média anual (**Média**) e da diferença entre a máxima e a mínima (**Delta**).

Com as informações de latitude e longitude inseridas no site do CRESESB, foi adquirido os dados da irradiação solar média mensal para cidade de Florianópolis de fica localizado no estado do Santa Catarina, e para cidade de Mossoró que fica localizada no estado do Rio Grande do Norte.

Determina-se na Tabela 2.3 as informações sobre a Irradiação solar no plano horizontal em Florianópolis.

Tabela 2.3. Irradiação solar no plano horizontal em Florianópolis

	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]													
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
Plano Horizontal	0° N	5,6	5,2	4,7	3,8	3,2	2,7	2,9	3,5	3,9	4,5	5,3	5,73	4,24
Ângulo igual a latitude	28° N	5	5	4,9	4,5	4,2	3,8	4	4,3	4,2	4,4	4,8	5,04	4,5
Maior média anual	24° N	5,1	5	4,9	4,5	4,1	3,7	3,9	4,2	4,2	4,5	4,9	5,18	4,51
Maior mínimo mensal	42° N	4,4	4,5	4,7	4,6	4,4	4,1	4,3	4,4	4,1	4,1	4,3	4,43	4,35

Fonte: <http://www.cresesb.cepel.br>

Determina-se na Tabela 2.4 as informações sobre a Irradiação solar no plano horizontal em Mossoró.

Tabela 2.4. Irradiação solar no plano horizontal em Mossoró

Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]													
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
Plano Horizontal	0° N	5,4	5,4	5,1	4,8	5	4,7	5,1	5,9	6	6,4	6,4	5,92	5,5
Ângulo igual a latitude	5° N	5,2	5,3	5,1	4,9	5,2	4,9	5,3	6,1	6,1	6,3	6,2	5,71	5,51
Maior média anual	4° N	5,3	5,3	5,1	4,9	5,1	4,8	5,2	6	6,1	6,3	6,2	5,75	5,51
Maior mínimo mensal	12° N	5	5,1	5	5	5,4	5,1	5,5	6,2	6,1	6,1	5,9	5,37	5,47

Fonte: <http://www.cresesb.cepel.br>

2.5. Dados climáticos da cidade de Florianópolis (dados climáticos da tabela)

Conforme (<http://www.wikipedia.org>) verbete Florianópolis a climatologia desta cidade pode ser descrita como segue.

Florianópolis apresenta as características climáticas inerentes ao litoral sul-brasileiro. As estações do ano são bem caracterizadas, verão e inverno bem definidos, sendo o outono e a primavera de características semelhantes. É a terceira capital mais fria do país, ficando atrás apenas de Curitiba e Porto Alegre. A ilha de Santa Catarina sofre muita influência dos ventos, principalmente do quadrante Sul, comumente mais frios e secos, o que faz com que a sensação térmica no inverno geralmente seja inferior às temperaturas mínimas registradas.

A média das máximas dos meses mais quentes chega aos 27°C, e a média das mínimas dos meses mais frios fica em torno dos 13 °C. A temperatura média anual é de cerca de 20 °C. Geadas não são frequentes, mas ocorrem esporadicamente no inverno. Devido à proximidade do mar, a umidade do ar é relativamente elevada, com médias próximas de 80%.

A tabela 2.5 ilustra os dados climáticos de Florianópolis, segundo a referência citada, com todas as faixas de temperaturas em relação aos meses e ano.

Tabela 2.5. Dados climatológicos para Florianópolis.

 Dados climatológicos para Florianópolis													
Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Temperatura máxima absoluta (°C)	38,2	38,8	35,6	35,4	33,5	32	32,7	35	32,7	32,5	33,7	38,6	38,8
Temperatura máxima média (°C)	28	28,4	27,5	25,4	23	20,9	20,4	20,7	21,2	22,9	24,8	26,6	24,2
Temperatura média (°C)	24,2	24,6	23,6	21,1	18,9	16,7	16,5	16,9	17,9	19,6	21,3	23	20,4
Temperatura mínima média (°C)	21,4	21,8	20,7	18,3	15,6	13,4	13,3	14	15,1	16,9	18,6	20,3	17,5
Temperatura mínima absoluta (°C)	14,6	14,8	10,2	7,7	4,6	1,7	1,5	3,8	0,7	9,1	9,4	12,5	0,7
Chuva (mm)	162,7	197	173	92,8	96,9	89,5	99,5	95,3	134	110	130	137	1 517,8
Dias com chuva (≥ 1 mm)	12	13	12	8	7	8	8	8	11	11	11	11	120
Umidade relativa (%)	81	82	82	82	83	83	84	83	83	81	80	80	82
Horas de sol	201,1	185	194	195	185	163	170	153	129	159	174	189	2 096,8

Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Florian%C3%B3polis>

Florianópolis é uma das três ilhas-capitais do Brasil (as outras são Vitória e São Luís). Localiza-se no leste do estado de Santa Catarina e é banhada pelo oceano Atlântico. Grande parte de seu território (97,23%) está situado na ilha de Santa Catarina. A área total do município, compreendendo a parte continental e a insular, é de 675,410 km².

A Figura 2.3 mostra a localização de Florianópolis ao leste do estado de Santa Catarina, indicada pelo ponto vermelho no mapa.



Figura 2.2. Localização de Florianópolis em Santa Catarina.

Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Florian%C3%B3polis>

2.6. Dados climáticos da cidade de Mossoró (dados climáticos da tabela)

Conforme (<http://www.wikipedia.org>) verbete Mossoró a climatologia desta cidade pode ser descrita como segue.

O clima de Mossoró é caracterizado como, com temperatura média anual de 28 °C. As precipitações ocorrem principalmente sob a forma de chuva e, mais raramente, de granizo, e ainda por vezes acompanhadas de raios e trovoadas. O tempo médio de insolação é de aproximadamente 2 830 horas anuais, com umidade relativa do ar em torno de 68%, podendo ficar abaixo dos 30%, especialmente no período seco, durante a tarde, bem abaixo do ideal estabelecido pela Organização Mundial da Saúde (OMS), de 60%. Ao lado de Caicó e Pau dos Ferros, Mossoró está entre os municípios mais quentes do Rio Grande do Norte.

Segundo dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), referentes ao período de 1970, 1973 a 1985 e 1993 (a partir de 1º de novembro) a 2008 (até 17 de setembro), a menor temperatura registrada em Mossoró foi de 16 °C em 7 de junho de 1996, e a maior atingiu 39,6 °C em 14 de outubro de 1979.

Na tabela 2.6 ilustra os dados climáticos de Mossoró com todas as faixas de temperaturas em relação aos meses e ano.

Tabela 2.6. Dados climatológicos para Mossoró.

Dados climatológicos para Mossoró													
Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Temperatura máxima absoluta (°C)	37,7	38,4	38,3	38,6	37,6	37,4	37,2	37,7	37,3	39,6	37,7	39,4	39,6
Temperatura máxima média (°C)	33,6	32,9	32,2	32,3	32,1	32,2	32,9	33,7	34,1	34,3	34,4	33,6	33,2
Temperatura média (°C)	28,6	28,2	27,8	27,7	27,3	27	27,3	27,8	28,3	28,6	28,9	28,3	28
Temperatura mínima média (°C)	23,6	23,5	23,5	23,2	22,5	21,9	21,7	21,9	22,5	23	23,5	23,1	22,8
Temperatura mínima absoluta (°C)	17,1	17,7	18,5	16,2	18	16	16,9	16,5	18,4	20	18,6	17,9	16
Precipitação (mm)	69,3	130	169	180	110	49,4	39,9	11,1	5,9	3,4	3,2	17,3	787,9
Umidade relativa (%)	67	72	78	74	76	72	69	62	61	62	63	66	68,5
Horas de sol	231,7	194	186	190	217	211	228	269	272	290	281	257	2 828,1

Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Mossor%C3%B3>

Mossoró está localizado no estado do Rio Grande do Norte, na mesorregião do Oeste Potiguar e microrregião homônima, distante 281 quilômetros de Natal, capital estadual, 237 quilômetros de Fortaleza, Ceará (capital estadual mais próxima) e 1 977 quilômetros de Brasília, capital federal. Com uma área de 2 099,333 km², Mossoró é o maior município em extensão territorial do Rio Grande do Norte.

A Figura 2.4 mostra a localização de Mossoró no estado do Rio Grande do Norte, indicada pelo ponto vermelho no mapa.



Figura 2.3. Localização Mossoró Rio Grande do Norte.

Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Mossor%C3%B3>

2.7. Características de Painéis Fotovoltaicos

As células solares são classificadas e depois revestidas com a utilização dos vidros. Os painéis são equipados com uma caixa de derivação que cria a conexão para transferir a eletricidade gerada pelas células solares ao inversor. Essa eletricidade é produzida como corrente contínua (CC), para depois com a dependência de um inversor ser transformada em corrente alternada (AC). (www.sssolar.com.br).

Na Figura 2.4 mostra os painéis fotovoltaicos que são responsáveis pela conversão de energia elétrica.



Figura 2.4. Painéis Solares.

Fonte: <http://www.sssolar.com.br>

2.8. Silício

Dióxido de silício é a matéria-prima para fabricar as células dos painéis solares. Esse é o material inicialmente utilizado nos processos de fabricação, nos quais são transformadas as rochas de polissilício em um líquido esbranquiçado e quente. Esse líquido é então solidificado novamente em um único e grande cristal com os átomos em perfeito alinhamento, estrutura e orientação para criar as células dos painéis solares. (www.sssolar.com.br).

Na Figura 2.5 mostra um grande cristal, com matéria-prima para fabricar as células dos painéis solares.



Figura 2.5. Silício.

Fonte: <http://www.sssolar.com.br>

2.9. Wafers Solares

Nessa produção temos o silicone cristalizado é moldado em colunas retangulares e cortado em fatias extremamente finas, ou wafers, usando tecnologia de corte por fio de última geração. Depois de limpar e realizar testes finais, os wafers de monocristalino e policristalino formam a base de produção das células solares. (www.sssolar.com.br).

O aspecto do wafers de monocristalino fica ilustrada na Figura 2.6.



Figura 2.6. Wafers Solares.

Fonte: <http://www.sssolar.com.br>

2.10. Células Solares

Os wafers de silicone são tratados e processados para criar as células que formarão a base do painel solar. Essas células gerarão eletricidade ao serem expostas aos raios de sol. Carregadores positivos e negativos são liberados nas células por meio da radiação da luz, fazendo com que ocorra a produção de corrente contínua (CC). (www.sssolar.com.br).

O aspecto de uma célula fotovoltaica de silício monocristalino fica ilustrada na Figura 2.7.



Figura 2.7. Células Solares.

Fonte: <http://www.sssolar.com.br>

2.11. Componentes de um Modulo Fotovoltaico

1. Base de alumínio anodizado, com os seus correspondentes e furos para se poder fixar a uma estrutura.
2. Junta em borracha ou resina
3. Parte Frontal: vidro temperado com baixo teor em ferro
4. Cápsula: polímero transparente, isolante e termoplástico (EVA).
5. Células fotovoltaicas.
6. Cobertura posterior: película de "Tedlar", que pode ser opaca ou transparente. Esta última é mais usada em projetos de integração arquitetônica, devido a deixar que a luz atravesse os espaços entre as células, provocando efeitos estéticos muito diversos.

Um módulo fotovoltaico é composto pelos seguintes materiais conforme ilustrado na Figura 2.8.

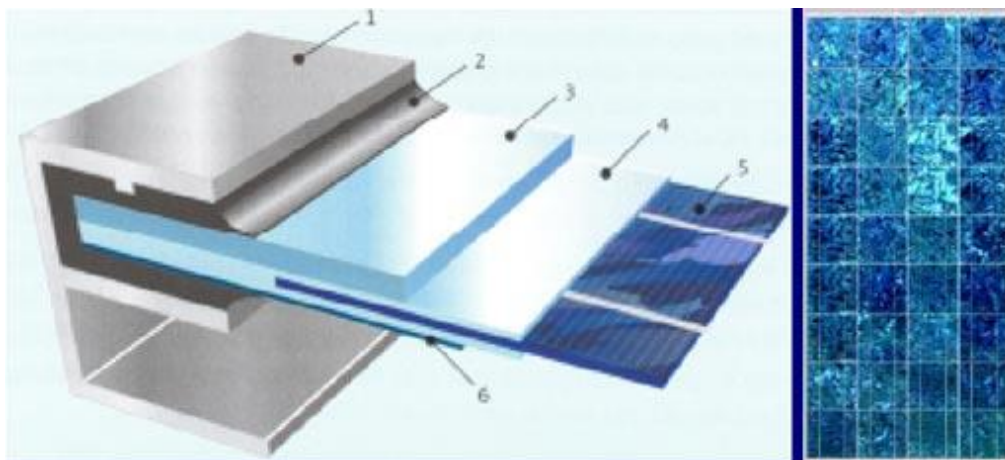


Figura 2.8. Componentes de um Modulo Fotovoltaico.

Fonte: www.gasfomento.pt

2.12. Energia Elétrica a partir de um Gerador Fotovoltaico ou Solar

A Geração de Energia Elétrica a partir do Sol, é possível devido a um fenômeno chamado de Efeito Fotovoltaico, onde um determinado material semicondutor na presença da Luz, gera uma diferença de potencial ou tensão. Dessa forma ocorre a conversão da irradiação solar em energia elétrica demonstrada na Figura 2.9.

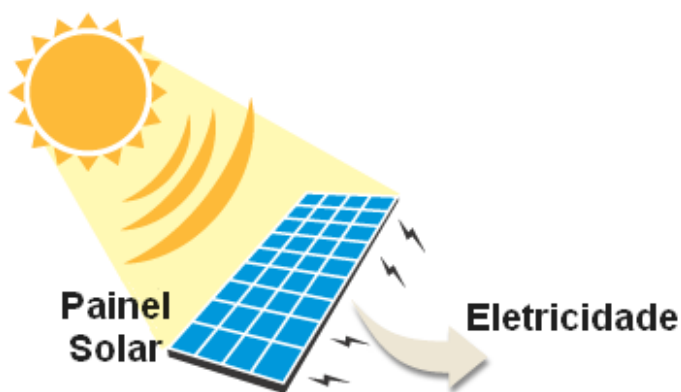


Figura 2.9. Geração de energia a partir do Sol.

Fonte: <http://energiaesol.com.br>

2.13. Condições de operação dos módulos Fotovoltaicos

Os desempenhos dos módulos que aparecem na informação técnica fornecida por qualquer fabricante são obtidos submetendo os módulos para uma condição de teste padrão (STC) de irradiância e temperatura, que são sempre os mesmos e são universalmente utilizados para caracterizar células, módulos e geradores solares. Essas condições são:

No entanto, a condição real de operação dos módulos será diferente dos padrões, com isso será aplicadas ponderações para os procedimentos correspondentes as realizações de cálculos.

- Irradiância solar: 1000 W / m^2 ;
- Distribuição espectral AM 1,5 G;
- Temperatura da célula 25° C .

A eficiência do módulo é definida, tal como a célula solar, como a energia gerada, no ponto de potência máxima, dividido pelo valor da irradiância e a área total do módulo. A eficiência do módulo é especificada para as condições ambientais

específicas. É comum usar o STC, o qual é de 1000 W / m^2 irradiância, AM1.5, distribuição espectral, a incidência normal e 25° C de temperatura da célula.

Conforme indicado nas seguintes figuras 2.10 gráficos, onde o desempenho de um módulo fotovoltaico é definido, o valor da corrente gerada pelo módulo aumenta com a intensidade da radiação solar, enquanto que a tensão cai devido o aumento da temperatura ter atingido células do módulo.

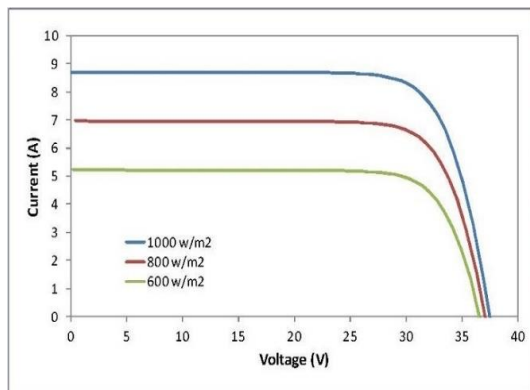


Figura Fa. Curvas I-V para distintos valores de la irradiância solar
Temperatura constante de la célula (25° C)

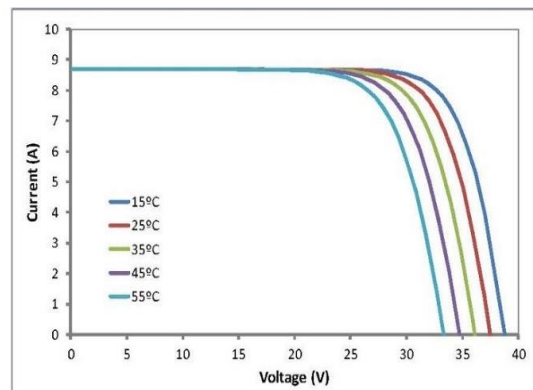


Figura Fb. Curvas I-V para distintas temperatura de la célula
Valor de irradiância solar constante (1000 W/m^2)

Figura 2.10. Curvas de funcionamento de módulos fotovoltaicos.

Fonte: <http://ingemecanica.com>

2.14. Dimensionamento do arranjo fotovoltaico para Florianópolis e Mossoró

- Com os valores de **HT** em $[\text{kWh/m}^2 \text{ dia}]$ obtidos para o fluxo de cálculo, calculamos o valor de **HSP** para cada valor de **HT** de acordo com a equação.
- Utilizando o Método do mês crítico, identifica-se o mês com o menor valor de **HSP**, é esse será o mês objeto do cálculo de dimensionamento.
- Determina-se a temperatura ambiente média mensal (**Ta**) com o auxílio do Atlas Climatológico da localidade para todos os meses e ano, conforme indicado na Tabela 2.5 e 2.6.
- Faz-se uma seleção preliminar de módulo fotovoltaico através de sua Potência nominal máxima (**Pmp**).
- Determina-se o valor do coeficiente de temperatura no ponto de máxima potência (**ymp**) são dados fornecidos pelo fabricante aplicados nas equações.
- Com o valor de temperatura nominal de operação da célula (**TNOC**), a temperatura ambiente (**Tref**) e o valor da irradiação (**Href**) nas condições

de referência (STC por exemplo) fornecidos pelo fabricante juntamente com a temperatura ambiente média (**T_a**), e o valor de irradiação na condição **HSP**, pode-se calcular a temperatura de operação da célula (**T_c**) utilizando equação.

- Determina-se a quantidade de strings em paralelo dividindo-se a potência da carga (**P_{eW}**) pelo valor de **V_{mpt(T_c)}** a fim de se obter a corrente da carga (**I_C**) e, a seguir, divide-se o valor de **I_C** por **I_{mp}** e obtém-se a quantidade de strings em paralelo.
- Multiplicando-se **P_{max}** do módulo pela quantidade total de módulos no arranjo, obtém-se a potência nominal (**PPV0**) do arranjo.
- Com os valores de **T_{oc}**, **γ_{mp}**, **HT** e **PPV0**, pode-se calcular a potência máxima.
- (**P_{mp(T_c)}**) nas condições de temperatura de operação da célula a partir da expressão.
- Com os valores de **T_{oc}**, **γ_{mp}**, **HT** e **P^oPV**, pode-se calcular a potência máxima (**P_{mp(T_c)}**) nas condições de temperatura de operação da célula a partir da equação.

- **P_{FV}**: potência instantânea do gerador fotovoltaico, em W.
- **P^oFV** potência nominal do gerador fotovoltaico, em W.
- **H_t**: É a irradiância incidente no plano do gerador.
- **H_{ref}**: É a irradiância incidente de referência.
- **γ_{mp}**: coeficiente de temperatura, adimensional.
- **T_c**: é a temperatura equivalente de operação das células.
- **T_{c ref}**: é a temperatura equivalente de operação das células.
- **TNOC** – Temperatura nominal de operação da célula.

2.15. Especificações técnica do painel fotovoltaico Sunmodule SW 245

Com o Painel fotovoltaico, utilizamos os dados conforme figura 2.11 vamos calcular o dimensionamento com base nesses dados para atender a necessidade do nosso estudo.

Sunmodule⁺ SW 245 poly / Version 2.0 and 2.5 Frame

SW-02-5009US 08-2011

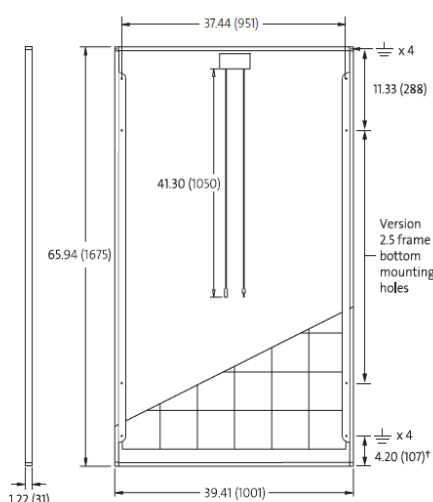
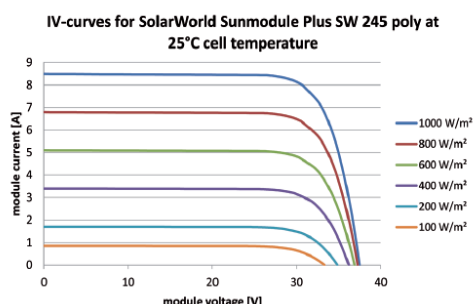
PERFORMANCE UNDER STANDARD TEST CONDITIONS (STC)*

		SW 245
Maximum power	P_{max}	245 Wp
Open circuit voltage	V_{oc}	37.5 V
Maximum power point voltage	V_{mpp}	30.8 V
Short circuit current	I_{sc}	8.49 A
Maximum power point current	I_{mpp}	7.96 A

*STC: 1000W/m², 25°C, AM 1.5

THERMAL CHARACTERISTICS

NOCT	46 °C
TC I_{sc}	0.034 %/K
TC V_{oc}	-0.34 %/K
TC P_{mpp}	-0.48 %/K
Operating range	-40°C to 90°C



PERFORMANCE AT 800 W/m², NOCT, AM 1.5

		SW 245
Maximum power	P_{max}	176.4 Wp
Open circuit voltage	V_{oc}	33.7 V
Maximum power point voltage	V_{mpp}	27.7 V
Short circuit current	I_{sc}	6.84 A
Maximum power point current	I_{mpp}	6.37 A

Minor reduction in efficiency under partial load conditions at 25°C: at 200W/m², 95% (+/-3%) of the STC efficiency (1000 W/m²) is achieved.

COMPONENT MATERIALS

Cells per module	60
Cell type	Poly crystalline
Cell dimensions	6.14 in x 6.14 in (156 mm x 156 mm)
Front	tempered glass (EN 12150)
Frame	Aluminum
Weight	46.7 lbs (21.2 kg)
UL Maximum Test Load**	50 psf (2.4kN/m ²)
IEC Maximum Snow Test Load**	113 psf (5.4kN/m ²)

**Please apply the appropriate factors of safety according to the test standard and local building code requirements when designing a PV system.

SYSTEM INTEGRATION PARAMETERS

Maximum system voltage SC II	1000 V
Max. system voltage USA NEC	600 V
Maximum reverse current	16 A
Max. mechanical load	5.4 kN/m ²
Number of bypass diodes	3

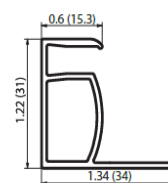
ADDITIONAL DATA

Measuring tolerance ²⁾	+/- 3 %
SolarWorld Plus-Sorting ³⁾	$P_{flash} \geq P_{max}$
Junction box	IP66
Connector	MC4
Module efficiency	14,6 %
Fire rating (UL 790)	Class C



VERSION 2.0 FRAME

- Compatible with "Top-Down" mounting methodes
- ⚡ Grounding Locations: 4 corners of the frame



VERSION 2.5 FRAME

- Compatible with both "Top-Down" and "Bottom" mounting methodes
- ⚡ Grounding Locations: - 4 corners of the frame - 4 locations along the length of the module in the extended flange[†]

Figura 2.11. Painel fotovoltaico Sunmodule SW 245

Fonte: <http://www.sssolar.com.br>

2.16. Especificações técnicas do Inversor REcon S1

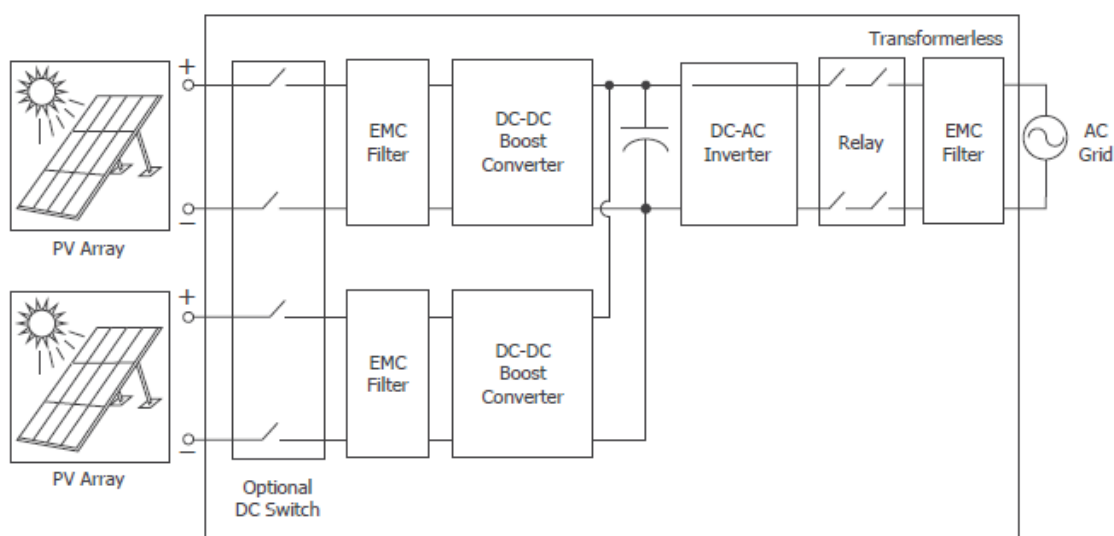
Com o inversor utilizamos os dados conforme figura 2.12 vamos calcular o FDI de alguns modelos e escolher o que melhor atende a necessidade do nosso estudo.



REcon S1 -		2.5	3	3.6	4	4.6	5
Input (DC)							
Max. input power DC	kW	2.7	3.2	3.8	4.3	4.8	5.2
Max. input voltage in open circuit	V	500	550	600	550	600	550
Max. input current	A	13.5	15	15	15	15	15
MPPT range	V	180-400	200-480	200-480	200-480	200-480	200-480
Number of MPPT trackers	-	2					
Output (AC)							
Rated output power AC	kW	2.5	3	3.6	4	4.6	5
Rated output voltage	V	230					
Frequency	Hz	50 / 60					
Max. output power	A	12.5	16	18	21	23	25
Total harmonic distortion	%	< 3,0					
Efficiency							
Maximum efficiency	%	96.7	97	97	97.5	97.5	97.5
EURO Efficiency	%	95.5	96	96	97	97	97
Mechanical details							
Dimension (WxHxD)	mm	380x498x145	398x485x187	398x485x187	398x485x187	398x485x187	398x485x187
Weight	kg	15	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5

Figura 2.12. Inversor REcon S1.

Fonte: <http://www.friem.com>



2.17. Especificações técnicas do cabo Fotovoltaico

Para o cabo fotovoltaico utilizaremos dados conforme figura 2.13 vamos escolher a melhor seção nominal (mm²) onde melhor atende a necessidade do nosso estudo.

Cabo Solarmax Flex SN 0,6/1kV TUV 2Pfg 1169								
Dados Construtivos*								
Seção Nominal (mm ²)	Diâmetro Condutor (mm)	Espessura Isolação (mm)	Espessura Cobertura (mm)	Diâmetro Externo (mm)	Massa (kg/km)	Acondicionamento Bobina (m)	Corrente (A)**	Queda Tensão V / (A x Km)***
2,50	1,9	0,7	0,9	5,0	44,9	2000	41	21,81
4,00	2,6	0,7	0,9	5,8	63,2	2000	55	13,55
6,00	3,2	0,7	0,9	6,3	83,0	1000	70	9,05
10,00	4,1	0,7	1,0	7,5	128,9	1000	98	5,24
16,00	5,2	0,7	1,0	8,6	183,6	1000	132	3,35
25,00	6,5	0,9	1,1	10,5	285,0	500	176	2,17
35,00	7,7	0,9	1,1	11,7	379,8	500	218	1,56

*Dados sujeitos a alterações sem prévio aviso



Figura 2.13. Cabo fotovoltaico Flex SN 0,6/1kV.

Fonte: <https://www.incesa.com.br>

Condutor

Formado por fios de cobre estanhado, têmpera mole, encordoamento classe 5.

Isolação

LSHF - Composto poliolefinico termofixo não halogenado com baixa emissão de fumaça na cor preta, com no mínimo 2% de negro de fumo.

Cobertura

LSHF - Composto poliolefinico termofixo não halogenado com baixa emissão de fumaça, com características especiais quanto à não-propagação, auto-extinção do fogo e com no mínimo 2% de negro de fumo para a cor preta e com proteção UV para as demais cores.

Identificação

Preta, Vermelha, Azul, Marrom, Branca, Cinza ou Verde.

Temperaturas máximas no condutor

- 120 °C em serviço contínuo.
- 160 °C em sobrecarga.
- 250 °C em curto-circuito.

Tensão de trabalho

- AC U_o/U = 600/1000 Volts
- DC U = 1800 Volts

Aplicação

Empregados na interligação entre os módulos fotovoltaicos (FV) e entre os módulos e os inversores, nos sistemas de geração de energia fotovoltaica, conectados ou não à rede de energia elétrica.

Características Complementares

- Excelente resistência ao intemperismo
- Isolado e coberto com materiais não halogenado, com características especiais quanto à não propagação, auto-extinção do fogo e baixa emissão de fumaça, livre de metais pesados atendendo às diretivas RoHS 2000/53 CE e 2002/95 CE
- Excelente resistência à abrasão
- Temperatura de trabalho: -40 °C a 120 °C

Normas Aplicáveis

TUV 2Pfg 1169/08.2007 - Requirements for cables for use in photovoltaic-systems

2.18. Estudo de viabilidade econômica

Payback (retorno de capital)

O Payback indica o momento no qual o projeto já gerou a mesma quantidade de caixa que gastou no início do projeto. Em outras palavras, é o período (mês ou ano) no qual o fluxo de caixa livre acumulado deixou de ser negativo para positivo. Assim, você sabe quantos meses terá que esperar para ter o seu dinheiro investido de volta. Esse cálculo pode ser feito descontando ou não o custo de capital. Normalmente, opta-se por não descontar, pois o cálculo é mais simples e a variação é pouca em projetos menores.

2.19. Payback Simples

O Payback simples é uma técnica de avaliação, permite determinar o tempo de retorno para certo investimento, isto é, o tempo que se leva para recuperar o investimento inicial, entre o investimento e o momento em que se passa a ter lucro. No entanto, esta metodologia apresenta deficiências, pois não é capaz de reconhecer o valor do dinheiro no tempo e entradas após a recuperação do investimento.

Na figura 2.14 mostra o cálculo do Payback, onde determinar o tempo de retorno para certo investimento.

$$\text{Payback} = \frac{\text{Investimento Inicial}}{\text{Fluxo de Caixa Anual}}$$

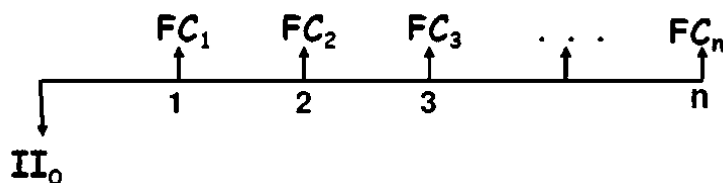
Figura 2.14. Cálculo de Payback simples.

Fonte: [ERG-001/2014-1](#)

2.20. Valor Presente Líquido (VPL)

Esse indicador aponta quanto o fluxo de caixa livre acumulado da sua projeção total valeria hoje em dia. Para chegar a esse valor, deve-se descontar o custo de capital (também conhecido como taxa de desconto ou WACC). Esse valor deve ser basicamente comparado com o capital investido para saber se o projeto gerou mais capital do que foi investido.

Na figura 2.15 mostra o cálculo do valor presente líquido com a projeção do fluxo de caixa, para identificar a viabilidade do projeto.



$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+r)^t} - II_0$$

Figura 2.15. Cálculo do valor presente líquido.

Fonte: [ERG-001/2014-1](#)

- VPL = Valor Presente Líquido
- R = Taxa de desconto
- FC1 = fluxo de caixa para t de 1 a
- Ilo = Investimento inicial

2.21. Taxa Interna de Retorno (TIR)

A TIR indicada a taxa de retorno do investimento utilizando o mesmo fluxo de caixa livre acumulado do VPL. A diferença é que enquanto o VPL oferecer um indicador absoluto e em moeda, a TIR oferece uma visão de retorno percentual que pode ser mais facilmente comparada a outros investimentos.

Na figura 2.16 mostra o cálculo da taxa interna de retorno, onde podemos ter a visão do retorno do investimento em relação ao projeto.

$$0 = \sum_{n=1}^{n=N} \frac{Fc_t}{(1+Tir)^n}$$

Figura 2.16. Cálculo da taxa interna de retorno.

Fonte: [ERG-001/2014-1](#)

3. PRÉ DIMENSIONAMENTO DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA FLORIANÓPOLIS-SC E MOSSORÓ-RN

3.1. Localizações dos estados onde serão realizados os estudos de radiação

Os locais escolhidos para este estudo, Florianópolis (SC) e Mossoró (RN) apresentam uma irradiação solar média anual contrastante, a primeira com 4,24 kWh/m² dia e a segunda 5,50 kWh/m² dia (CRESESB), ou seja, o valor para Mossoró é cerca de 23% maior do que para Florianópolis. Por outro lado as temperaturas médias de operação dos módulos fotovoltaicos em Mossoró são maiores do que aquelas em que estes funcionarão em Florianópolis. Neste estudo foram verificadas as diferenças de dimensionamento básico para dois sistemas fotovoltaicos "on-line" (conectado à rede), localizados um em cada cidade, que devem atender uma mesma demanda de carga elétrica de 245 kWh/dia.

As Figuras 3.1 e 3.2 mostram as localizações dos estados a onde se encontram estas duas cidades

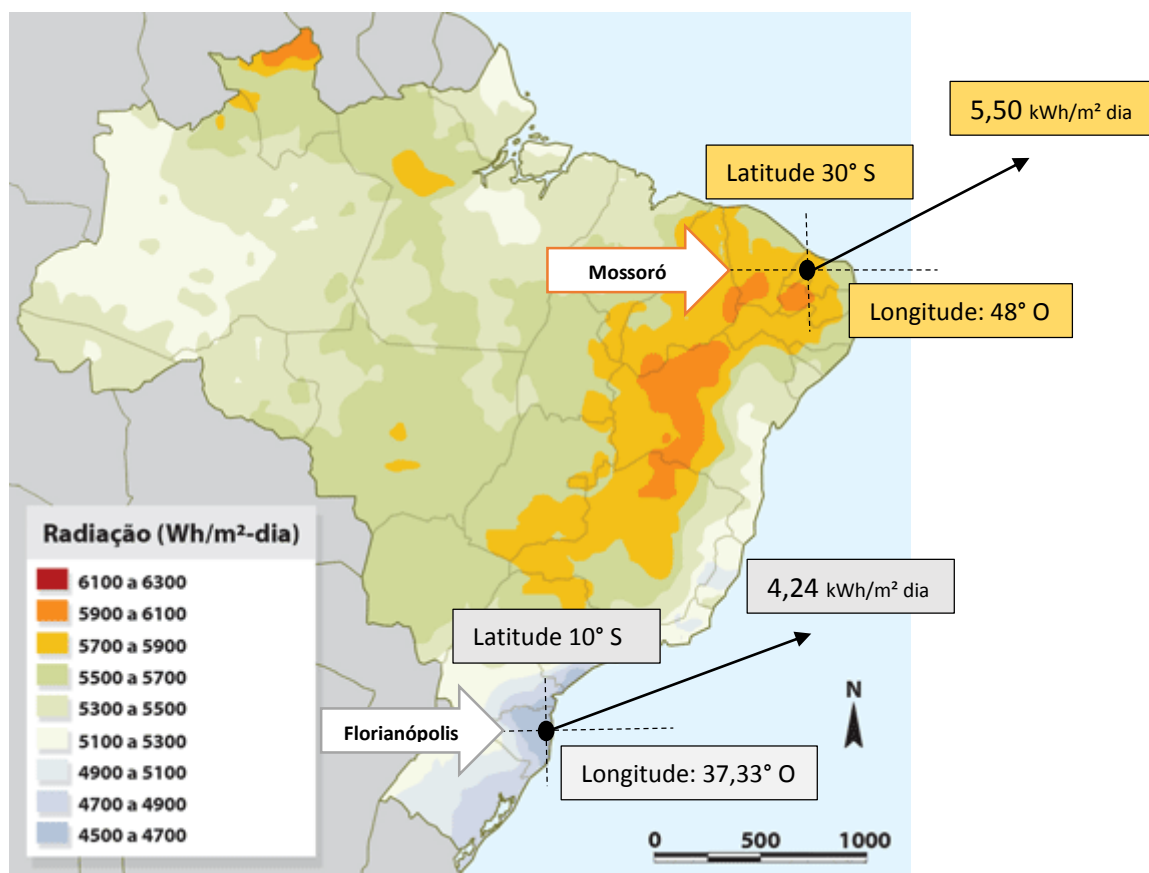


Figura 3.1 Mapa Geográfico (Florianópolis).

Figura 3.2 Mapa Geográfico (Mossoró).

Fonte: <http://www.electronica-pt.com/mapas-radiacao-solar>

O primeiro passo desse projeto foi coletar os pontos de latitude e longitude dos estados onde se encontram as 2 (duas) cidades, e com isso buscar no site do CRESESB a média anual em kWh/m² dia como referência para os estudos. Com base nessas informações foi utilizado o conceito de cálculo metodológico descrito no item 2.1.

O Segundo passo no dimensionamento dos projetos propostos foi o levantamento do potencial de radiação solar no local, mas também foi levado em consideração a temperatura do local, considerando sua localização geográfica, e as condições do plano no qual serão instalados os painéis fotovoltaicos, tais como área total, orientação em relação ao azimute (ângulo azimutal) e inclinação em relação à superfície horizontal (ângulo).

Foi quantificada a energia solar acumulada no período de um dia através do número de horas de insolação plena (HSP). Esta grandeza reflete a quantidade de horas em que a energia solar irradiada permaneceria constante em 1000W/m² (valor de referência considerado na determinação dos parâmetros elétricos dos painéis fotovoltaicos).

Nos projetos propostos foram mostrados os cálculos de radiação solar no plano inclinado para as cidades de Florianópolis e Mossoró, utilizando-se em comparação com a radiação que chega no plano horizontal informada pelo site do CRESESB. Foi feita a comparação da radiação solar direta e difusa, e a radiação que chega no plano horizontal, com aquela do plano inclinado para as cidades de Florianópolis e Mossoró. Através do dimensionamento calculado para as 2 (duas) cidades supracitadas, teremos uma diferença do potencial solar, aonde será mostrado a quantidade de painéis fotovoltaicos e inversores a serem utilizados para ambas as cidades mantendo iguais as potências das usinas geradoras. Por último mostrou-se os cenários propostos em relação a viabilidade economia e ao fluxo de caixa.

3.2. Estudo da radiação em plano inclinado para Florianópolis

A tabela 3.2.1 mostra os dados de radiação solar no plano horizontal para Florianópolis conforme item 2.2 do CRESESB.

Latitude: 27,95° S - beta = 30°

Longitude: 48° O

Tabela 3.1 irradiações solar diária média [kWh/m² dia] plano horizontal em Florianópolis (SC) (CRESESB).

Município	UF	País	Irradiação solar diária média [kWh/m².dia]																
			Latitude [°]	Longitude [°]	Distância [km]	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
Florianópolis	SC	BRA	27,5967° S	48,549166° O	66,9	5,6	5,2	4,7	3,8	3,2	2,7	2,9	3,5	3,9	4,5	5,3	5,7	4,24	2,99

A Figura 3.3 mostra o gráfico com as variações mensais em relação aos dados de insolação plano horizontal Florianópolis (SC) (CRESESB).

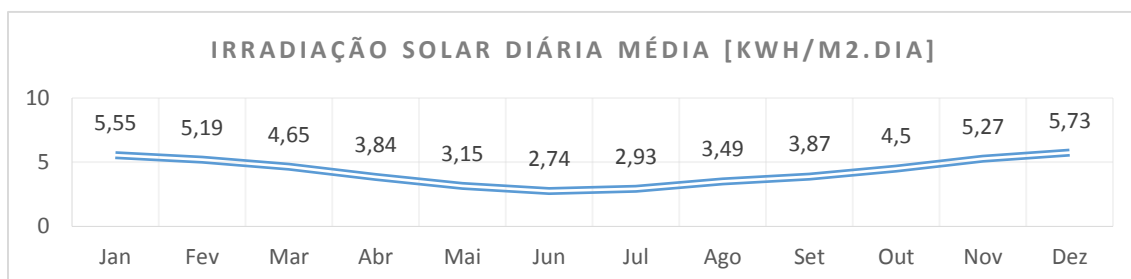


Figura 3.3. Gráfico da irradiação solar diária média [kWh/m² dia] plano horizontal em Florianópolis

Fonte: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>

Conforme pontos de latitude e longitude levantados pelo site do CRESESB, obtemos a variação mensal e média anual na cidade de Florianópolis, onde atingimos menor irradiação no mês de junho, chegando a 2,74 kWh/m² dia.

Conforme a metodologia descrita no item 2.1 foi calculada a radiação solar em um plano de 30° em relação a horizontal para a cidade de Florianópolis. Os resultados são apresentados na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 Cálculos da radiação em plano inclinado para Florianópolis, com base no item 2.1 calculou-se a insolação no plano inclinado de 30 graus, a tabela.

Tabela 3.2: Resultados de cálculo para a latitude Φ e superfície com inclinação $\beta=30^\circ$.

	δ (°)	ω_s (°)	$\omega_s(\phi+\beta)$	ω_s^* (°)	Rb (°)	Ho [MJ/m².dia]	H [MJ/m².dia]	KT (°)	Hd/H (°)	Hd [MJ/m².dia]	Hb [MJ/m².dia]	R (°)	HT [MJ/m².dia]	HT [kWh/m².dia]
Jan	-20,90	101,22	104,22	101,22	0,80	42,50	19,98	0,47	0,48	9,65	10,33	1,16	23,19	6,44
Fev	-13,00	96,76	99,76	96,76	0,91	40,00	18,68	0,47	0,47	8,77	9,91	1,21	22,63	6,29
Mar	-2,40	91,22	94,22	91,22	1,08	35,40	16,74	0,47	0,45	7,46	9,28	1,29	21,56	5,99
Abr	9,40	85,16	88,16	85,16	1,30	29,30	13,82	0,47	0,42	5,87	7,95	1,40	19,41	5,39
Mai	18,80	80,01	83,01	80,01	1,52	24,10	11,34	0,47	0,41	4,62	6,72	1,53	17,39	4,83
Jun	23,10	77,45	80,45	77,45	1,65	21,50	9,86	0,46	0,41	4,01	5,85	1,61	15,88	4,41
Jul	21,20	78,60	81,60	78,60	1,59	22,60	10,55	0,47	0,41	4,27	6,27	1,57	16,61	4,61
Ago	13,50	82,97	85,97	82,97	1,39	27,00	12,56	0,47	0,42	5,30	7,26	1,46	18,29	5,08
Set	2,20	88,88	91,88	88,88	1,16	32,90	13,93	0,42	0,48	6,63	7,30	1,34	18,72	5,20
Out	-9,60	94,94	97,94	94,94	0,97	38,20	16,20	0,42	0,50	8,08	8,12	1,26	20,34	5,65
Nov	-18,90	100,05	103,05	100,05	0,83	41,70	18,97	0,45	0,49	9,33	9,64	1,18	22,42	6,23
Dez	-23,00	102,49	105,49	102,49	0,77	43,10	20,63	0,48	0,48	9,91	10,72	1,14	23,58	6,55

Com a superfície orientada diretamente para o equador ($\gamma=180^\circ$) o valor de β com a inclinação de 30° chegamos aos valores mostrados na tabela 3.2.

A Figura 3.4 mostra o resultado calculado para o plano horizontal da radiação direta e difusa para Florianópolis conforme procedimento do item 2.1.

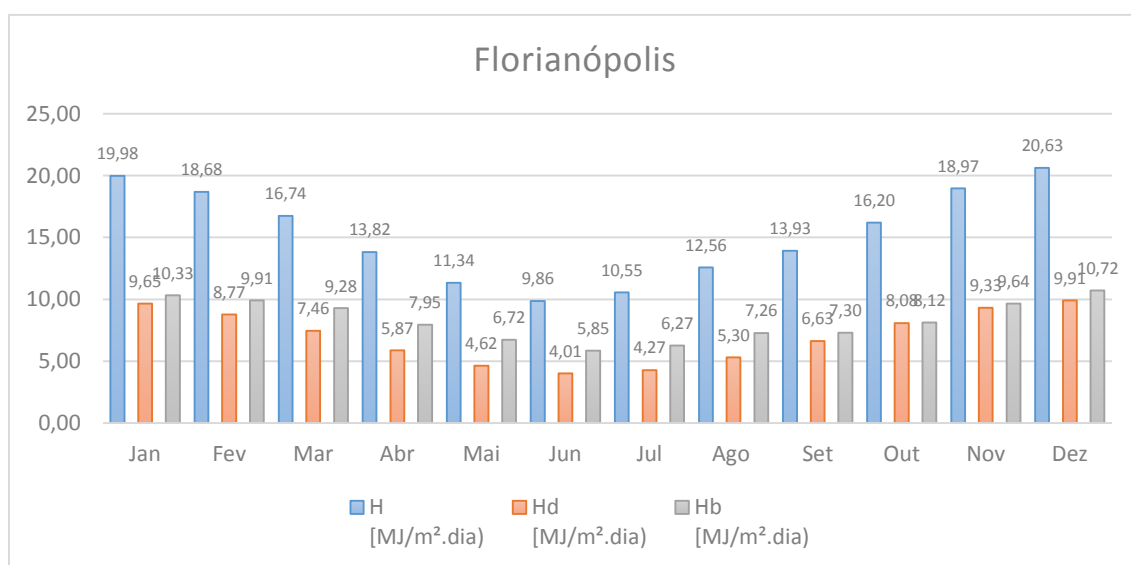


Figura 3.4. Distribuição ao longo do ano da radiação solar total, direta e difusa para Florianópolis

Levando-se em consideração as características climáticas, os períodos de maio, junho e julho são os meses que possuem menor radiação, em comparação as radiações direta e difusa, chega a diferença de 31%. Nos meses de janeiro, fevereiro, novembro e dezembro, onde possuem maior radiação, temos inclusive valores praticamente iguais de radiação direta e difusa que acaba chegando a 8% de diferença.

Analisando a Figura 3.4 se percebe que as componentes direta e difusa da energia que chega no plano horizontal médio mensal tem razões diferentes ao longo dos meses. Este fato indica possíveis desempenhos melhores nos meses com razão H_b/H_d maiores pois a radiação difusa incidente no plano do coletor com os mais diferentes ângulos de incidência, é mais afetada pelas características reflexivas da película transparente que recobre o coletor solar o que pode diminuir a absorção de energia pelas células fotovoltaicas.

A Figura 3.5 mostra o resultado calculado em comparação da energia que chega no plano horizontal, e a energia que chega no plano inclinado em MJ/m² dia.

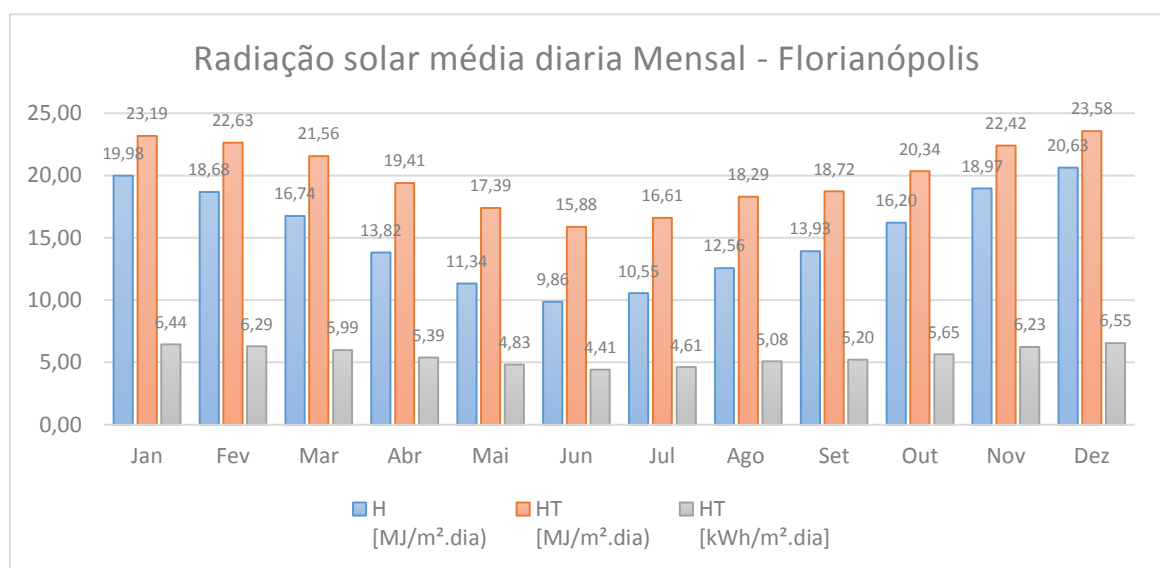


Figura 3.5. Radiação solar média mensal na latitude φ com $\beta = 30^\circ$

Levando-se em consideração as características climáticas, os períodos de maio, junho e julho possuem menores radiações solares, sendo assim a energia que chega no plano horizontal média mensal é mais baixa comparada e energia que chega nos meses janeiro, fevereiro, novembro e dezembro, onde temos maior radiação solar.

No plano inclinado $\beta = 30^\circ$ para Florianópolis a Figura 3.5 mostra uma grande diferença em relação ao plano horizontal, principalmente nos meses que temos

menor insolação, a diferença pode chegar em até 38% de melhora, e nos meses onde possuímos maior insolação pode chegar em até 13% de melhora. Isso mostra que no plano inclinado o painel fotovoltaico está coletando mais radiação do que no plano horizontal, conforme mostrado para todos os meses na Figura 3.5.

3.3. Estudo da radiação em plano inclinado para Mossoró.

A tabela 3.3 mostra os dados de radiação solar no plano horizontal para Mossoró conforme item 2.2 do CRESESB.

Latitude: 5,18° S beta = 10°

Longitude: 37,33° O

Tabela 3.3 irradiações solar diária média [kWh/m² dia] plano horizontal em Mossoró (RN) (CRESESB).

Município	UF	País	Irradiação solar diária média [kWh/m².dia]																
			Latitude [°]	Longitude [°]	Distância [km]	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
Mossoró	RN	BRA	5,1° S	37,344166° O	9	5,4	5,4	5,1	4,8	5	4,7	5,1	5,9	6	6,4	6,4	5,9	5,5	1,72

A Figura 3.6 mostra o gráfico com as variações mensais em relação aos dados de insolação plano horizontal Mossoró (RN) (CRESESB).

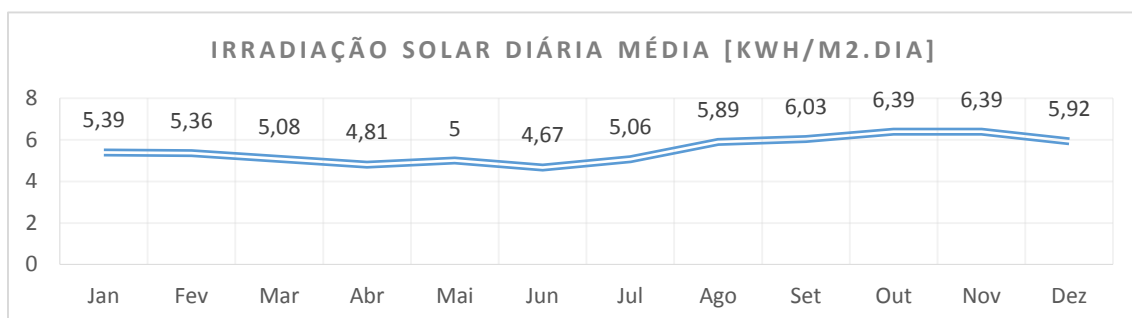


Figura 3.6. Gráfico da irradiação solar diária média [kWh/m² dia] plano horizontal em Mossoró

Fonte: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>

Conforme pontos de latitude e longitude levantados pelo site do CRESESB, obtemos a variação mensal e média anual na cidade de Mossoró, onde atingimos menor irradiação no mês de junho, chegando a 4,67 kWh/m² dia.

Conforme a metodologia descrita no item 2.1 foi calculada a radiação solar em um plano de 10° em relação a horizontal para a cidade de Mossoró. Os resultados são apresentados na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 Cálculos da radiação em plano inclinado para Mossoró, com base no item 2.1 calculou-se a insolação no plano inclinado de 10 graus, a tabela.

Tabela 3.4. Resultados de cálculo para a latitude Φ e superfície com inclinação $\beta=10^\circ$

	δ (°)	ω_s (°)	$\omega_s(\phi+\beta)$	ω_s^* (°)	R_b (°)	H_o [MJ/m ² .dia]	H [MJ/m ² .dia]	KT (°)	H_d/H (°)	H_d [MJ/m ² .dia]	H_b [MJ/m ² .dia]	R (°)	HT [MJ/m ² .dia]	HT [kWh/m ² .dia]
Jan	-20,90	91,95	96,85	91,95	0,90	38,00	19,40	0,51	0,42	8,15	11,26	1,19	23,10	6,42
Fev	-13,00	91,18	96,08	91,18	0,94	38,50	19,30	0,50	0,42	8,18	11,11	1,22	23,47	6,52
Mar	-2,40	90,21	95,11	90,21	0,99	37,90	18,29	0,48	0,43	7,95	10,34	1,25	22,89	6,36
Abr	9,40	89,15	94,05	89,15	1,05	35,80	17,32	0,48	0,43	7,45	9,87	1,28	22,20	6,17
Mai	18,80	88,26	93,16	88,26	1,10	33,00	18,00	0,55	0,38	6,92	11,08	1,29	23,18	6,44
Jun	23,10	87,82	92,72	87,82	1,12	31,40	16,81	0,54	0,39	6,55	10,26	1,31	21,95	6,10
Jul	21,20	88,02	92,92	88,02	1,11	32,10	18,22	0,57	0,37	6,74	11,48	1,29	23,49	6,52
Ago	13,50	88,77	93,67	88,77	1,07	34,40	21,20	0,62	0,34	7,29	13,91	1,25	26,48	7,35
Set	2,20	89,80	94,70	89,80	1,01	36,90	21,71	0,59	0,36	7,87	13,84	1,22	26,53	7,37
Out	-9,60	90,86	95,76	90,86	0,95	38,00	23,00	0,61	0,36	8,18	14,82	1,18	27,19	7,55
Nov	-18,90	91,75	96,65	91,75	0,91	37,90	23,00	0,61	0,36	8,22	14,79	1,15	26,54	7,37
Dez	-23,00	92,17	97,07	92,17	0,89	37,60	21,31	0,57	0,38	8,15	13,16	1,16	24,67	6,85

Com a superfície orientadas diretamente para o equador ($\gamma=180^\circ$) o valor de β com a inclinação de 10° chegamos aos valores adquiridos na tabela 3.4.

A Figura 3.7 mostra o resultado calculado para o plano horizontal da radiação direta e difusa para Mossoró conforme procedimento do item 2.1.

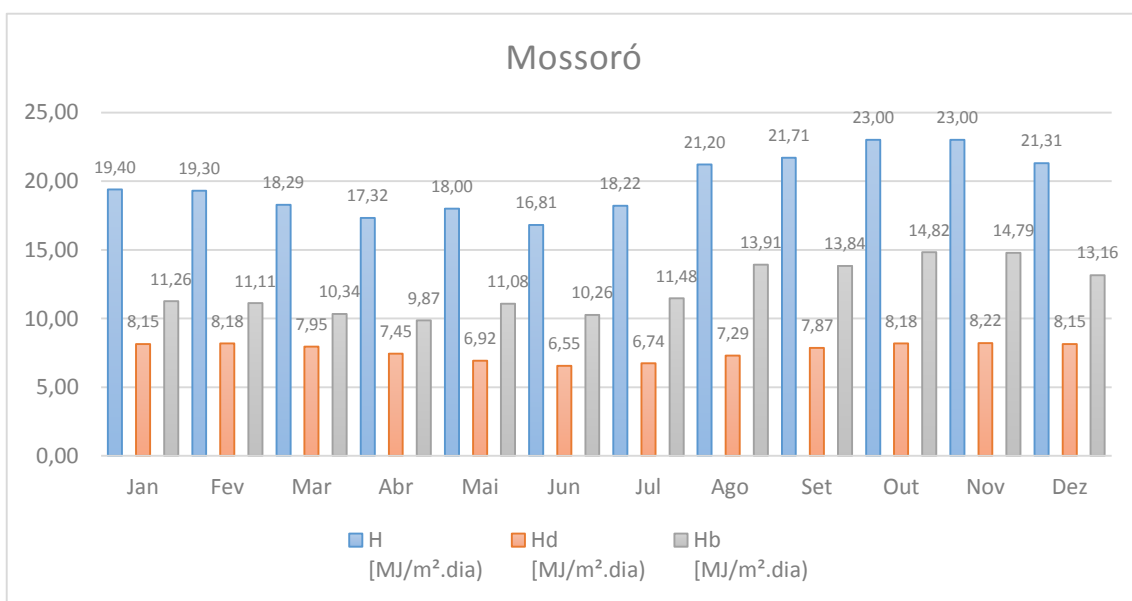


Figura 3.7. Distribuição ao longo do ano da radiação solar total, direta e difusa para Mossoró.

Levando-se em consideração as características climáticas, os períodos de maio, junho e julho são os meses que possuem menor radiação, em comparação as radiações direta e difusa, chega a diferença de 41%. Nos meses de setembro, outubro, novembro e dezembro, onde possuem maior radiação, temos inclusive valores bem diferentes de radiação direta e difusa que acaba chegando a 45% de diferença.

Analisando a Figura 3.7 se percebe que as componentes direta e difusa da energia que chega no plano horizontal médio mensal tem razões diferentes ao longo dos meses. Este fato indica possíveis desempenhos melhores nos meses com razão H_b/H_d maiores pois a radiação difusa incidente no plano do coletor com os mais diferentes ângulos de incidência, é mais afetada pelas características reflexivas da película transparente que recobre o coletor solar o que pode diminuir a absorção de energia pelas células fotovoltaicas.

A Figura 3.8 O resultado calculado em comparação da energia que chega no plano horizontal, e a energia que chega no plano inclinado em MJ/m^2 dia.

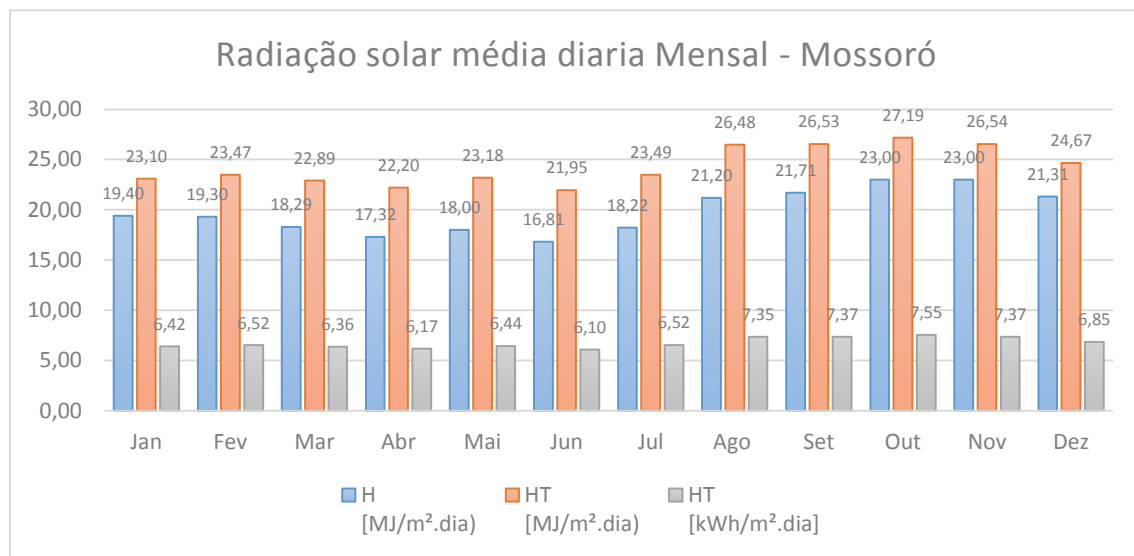


Figura 3.8. Radiação solar média mensal na latitude φ com $\beta = 10^\circ$

Levando-se em consideração as características climáticas, os períodos de abril, maio, junho e julho possuem menores radiações solares, sendo assim a energia que chega no plano horizontal média mensal é mais baixa comparada e energia que chega nos meses agosto, setembro, outubro e novembro, onde temos maior radiação solar.

No plano inclinado com $\beta = 10^\circ$ para Mossoró a Figura 3.8 mostra uma diferença em relação ao plano horizontal, principalmente nos meses que temos menor insolação, a diferença pode chegar em até 22% de melhora, e nos meses onde possuímos maior insolação pode chegar em até 15% de melhora. Isso mostra que no plano inclinado o painel fotovoltaico está coletando mais radiação do que no plano horizontal, conforme mostrado para todos os meses na Figura 3.8.

3.4. Comparações de radiação solar no plano horizontal e inclinado para sobre Florianópolis e Mossoró.

A Figura 3.9 mostra o resultado calculado em comparação da radiação solar que chega no plano horizontal para a cidade de Florianópolis e Mossoró.

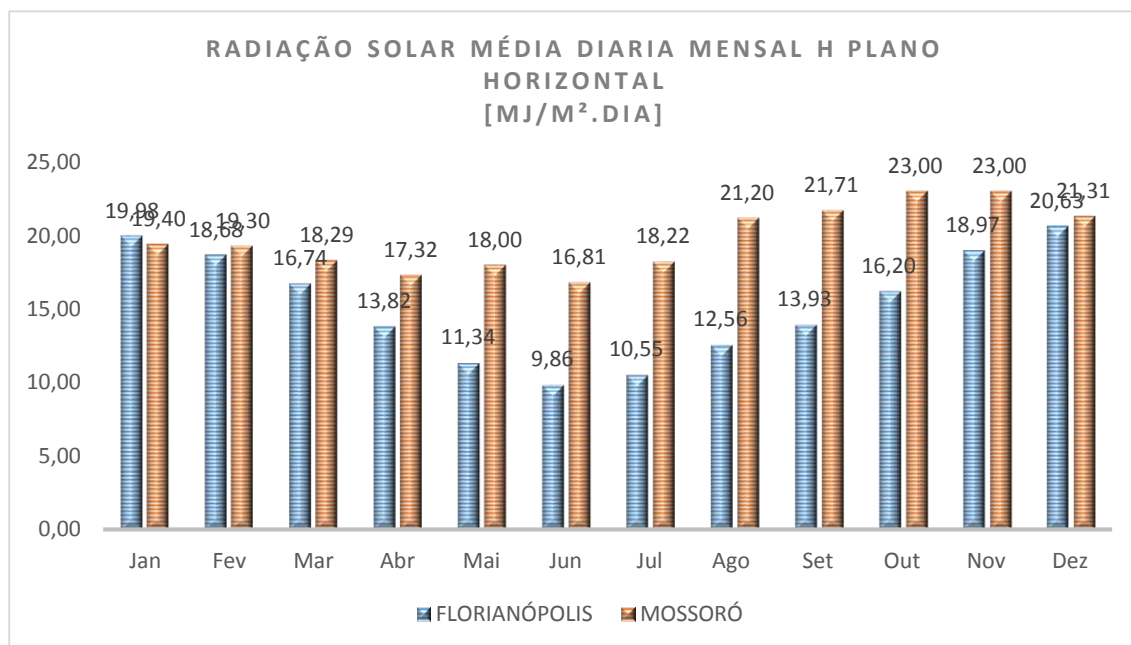


Figura 3.9. Radiação solar que chega no plano horizontal em Florianópolis com $\beta = 0^\circ$ e Mossoró com $\beta = 0^\circ$

Levando-se em consideração as características climáticas, para as 2 (duas) cidades a energia que chega no plano horizontal em janeiro, fevereiro, março e dezembro possuem valores praticamente iguais, chegando a diferença de até 6%. Em comparação aos demais meses para a cidade de Mossoró que mostra uma grande diferença dos valores de radiação solar, chegando em até 41% de melhora, conforme ilustrado na Figura 3.9.

A Figura 3.10 mostra o resultado calculado em comparação da radiação solar que chega no plano inclinado para a cidade de Florianópolis e Mossoró.

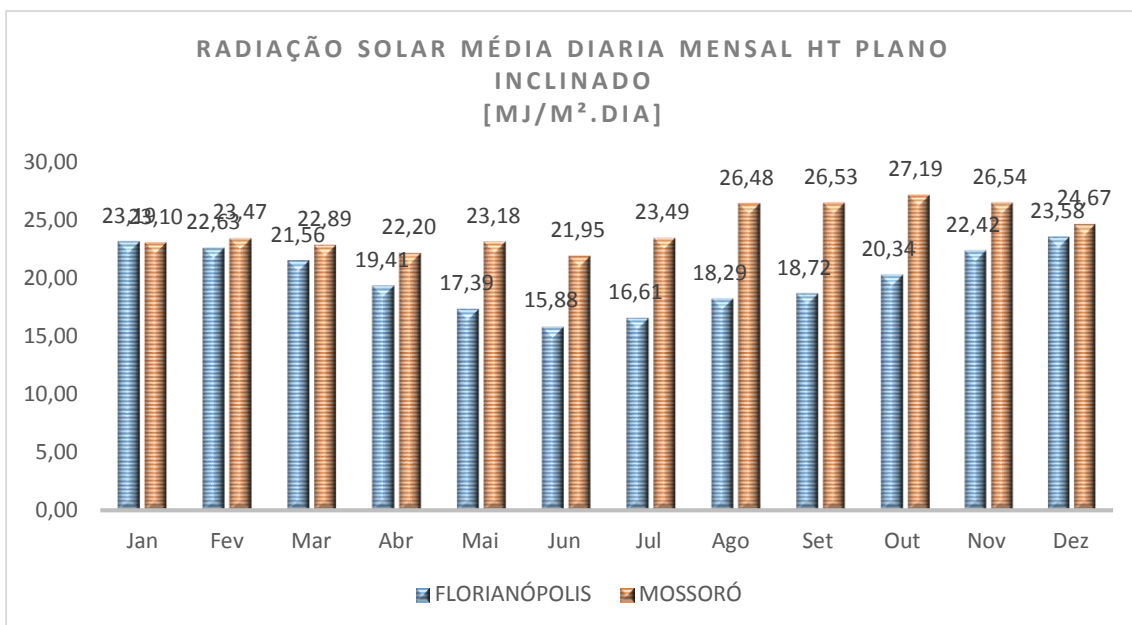


Figura 3.10. Radiação solar que chega no plano inclinado em Florianópolis com $\beta = 30^\circ$ e Mossoró com $\beta = 10^\circ$

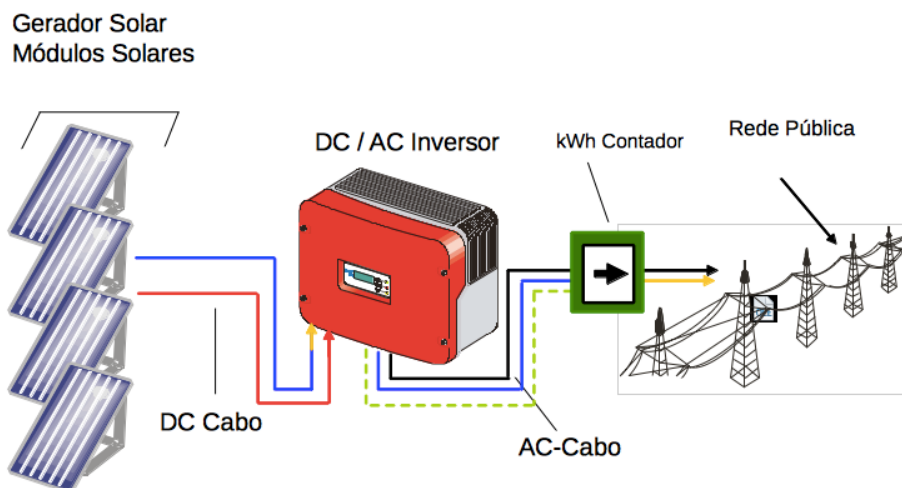
Levando-se em consideração as características climáticas, para as 2 (duas) cidades a energia que chega no plano inclinado em janeiro, fevereiro, março e dezembro possuem valores praticamente iguais, chegando a diferença de até 1%, em comparação aos demais meses para a cidade de Mossoró que mostra uma diferença dos valores de radiação solar, chegando em até 29% de melhora, conforme ilustrado na Figura 3.10.

Nos meses de abril até novembro na cidade de Florianópolis, percebemos que em comparação ao plano horizontal $\beta = 0^\circ$ da figura 3.9, deixar os coletores solares no plano inclinado $\beta = 30^\circ$, mesmo com menor radiação solar, obteve um melhor ganho de energia coletada do que para cidade de Mossoró com $\beta = 10^\circ$ demonstrado na figura 3.10.

Nos meses de Janeiro, fevereiro, março e dezembro, não tivemos quase variação nenhuma para as 2 (duas) cidades sendo tanto no plano horizontal quanto no inclinado, mais nos demais meses obtivemos um resultado considerável mostrando que na cidade de Mossoró utilizando os coletores no plano inclinado obteve um melhor resultado.

3.5. Cálculo de dimensionamento do arranjo fotovoltaico para Florianópolis e Mossoró.

A Figura 3.11 mostra o sistema fotovoltaico conectado à rede (On-Grid)



A Figura 3.11. Sistema fotovoltaico conectado à rede (On-Grid)

Fonte: <http://www.sssolar.com.br/Produtos/detail/4-conectados--on-grid>

Tabela 3.5 mostra os dados utilizados do painel fotovoltaico – SW 245 poly

SW 245 Poly		
Potência máxima	P_{max}	245 Wp
Tensão de circuito aberto	V_{oc}	37.5 V
Maximo ponto de tensão	V_{mpp}	30.8 V
Corrente de curto circuito	I_{sc}	8,49 A
Maximo ponto de corrente	I_{mpp}	7.96 A
Temperatura nominal de operação da célula	NOCT	46 °C
Coeficiente de temperatura de corrente	TC I_{sc}	0.034 %/°C
Coeficiente de temperatura de Tensão	TC v_{oc}	-0.34 %/°C
Coeficiente de temperatura de potência	TC P_{mpp}	-0.48 %/°C
Faixa de operação		-40°C a 90°C
Tensão máxima do sistema		1000 V
Corrente máxima inversa		16 A
Carga mecânica máxima		5.4KN/m ²

Energia do Gerador Fotovoltaico = 245 kWh/dia

P_p = 245 W; G = 1000 W/m²; T 25C

Florianópolis T= 20.9°C média máxima Junho adotado pelo fato do painel operar em torno do meio dia solar.

Junho plano inclinado 4,41 kWh/m² dia corresponde a 4,41 HSP

Coeficiente de temperatura de potência do painel fotovoltaico = -0,48%/°C

TNOC – Temperatura nominal de operação da célula = 46

- Com o valor de temperatura nominal de operação da célula (TNOC), a temperatura ambiente (T_{ref}) e o valor da irradiação ($\bar{H}_{ref}$) nas condições de referência (STC por exemplo) fornecidos pelo fabricante juntamente com a temperatura ambiente média (T_a), e o valor de irradiação na condição HSP, pode-se calcular a temperatura de operação da célula (T_c) utilizando equação.

$$T_c = T_a(^{\circ}C) + \bar{H}_T (W.m^{-2}) \times \left(\frac{TNOC(^{\circ}C) - T_{ref}}{\bar{H}_{ref}} \right) \times \eta_{MPPT} \quad 3.1$$

$$T_c = 20,9 + 1000 * (46-25) / (1000) * 0,9 = 39,8^{\circ}C$$

- Com os valores de T_{noc}, γ_{mp} , $\bar{H}_T$ e P^oPV, pode-se calcular a potência máxima (P_{mp}(T_c)) nas condições de temperatura de operação da célula a partir da equação.

$$P_{mp}(T_c) = P_{FV}^0 \times \frac{\bar{H}_T}{H_{ref}} \times \left[1 - \gamma_{mp} \times (T_c - T_{ref}) \right] \quad 3.2$$

$$P_{mp} = 245 * (1000/1000) * (1 - 0,0048 * (39,8 - 25)) = 227,6W$$

$$245000 [Wh/dia] = 227,6W * 4,41 HSP * N$$

$$245000 = 1.003,7 Wh * N$$

$$245000/1.003,7 = N = 244,0 \text{ Painéis}$$

$$N = 244/0,8 = (305 \text{ Painéis}) \text{ Fator } 0,7 \text{ a } 0,9$$

Correção da Tensão

$$V_{mp} = V_{mp \text{ nominal}} [1 - \gamma_v (T_c - T_{NOC})]$$

$$V_{mp} = 30,8V * [1 - 0,0034^{\circ}C * (39,8^{\circ}C - 46^{\circ}C)]$$

$$V_{mp} = 31,45v$$

Faixa de tensão de MPPT do inversor = 200 - 480v

Número de painéis em série = $14 \times 31,45v$ = cada strings = **440,3v**
para 14 Painéis.

Número de strings em paralelo = $305/14 = 21,78$ (**22 strings**)

Sendo, 20 strings com 14 painéis e 2 strings com 13 painéis.

Correção de Corrente

$$I_{mp} = I_{mp \text{ nominal}} [1 - \gamma_i (T_c - T_{NOC})]$$

$$I_{mp} = 7,96amp * [1 + 0,0034^{\circ}C * (39,8^{\circ}C - 46^{\circ}C)]$$

$$I_{mp} = 7,79amp$$

Corrente total do gerador = $7,79 * 22 = 171,38amp$

Número total de Inversores

Cada inversor pode receber até 2 strings com corrente máxima total de 15 amperes quando a insolação for $1000W/m^2$

Serão utilizados **11 inversores** modelo (REcon S1-4), recebendo cada um 2 strings totalizando **15,58amp**.

Cálculo do FDI

$$FDI = \frac{P_{Inv}^0}{P_{FV}^0}$$

3.3

$$P_{0FV} = 305 \text{ Painéis} \times 227,6W = 69.418 W = 69,4 kW$$

$$P_{0inv} = kW \ 4,3 \times 11 = 47,3,1kW$$

$$FDI = 47,3/69,4 = 0,68$$

Zilles recomenda valores de FDI entre 0,6 a 0,9

3.6. Desenho da implantação do sistema fotovoltaico em Florianópolis

Na figura 3.12 mostra o desenho utilizado no projeto do sistema de energia solar fotovoltaica conectado à rede, a energia elétrica produzida é consumida na própria instalação. O excedente é injetado na rede elétrica da concessionária.

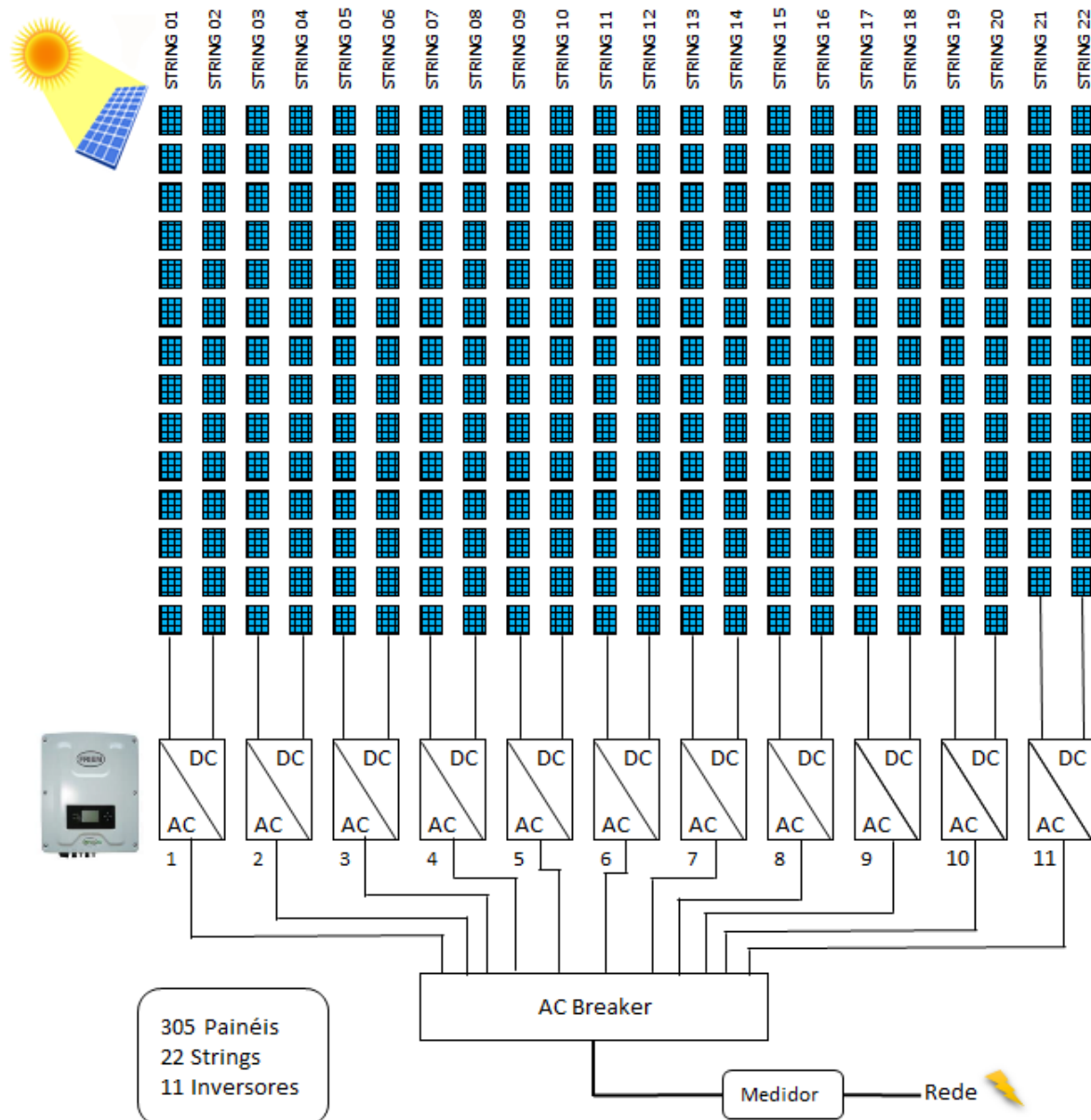


Figura 3.12. Desenho do sistema fotovoltaico on-grid para Florianópolis

Mossoró T= 32.2°C média máxima Junho adotado pelo fato do painel operar em torno do meio dia solar.

Junho plano inclinado 6,1 kWh/m² dia corresponde a 6,1 HSP

- Com o valor de temperatura nominal de operação da célula (TNOC), a temperatura ambiente (Tref) e o valor da irradiação ($\bar{H}_{ref}$) nas condições de referência (STC por exemplo) fornecidos pelo fabricante juntamente com a temperatura ambiente média (Ta), e o valor de irradiação na condição HSP, pode-se calcular a temperatura de operação da célula (Tc) utilizando equação.

$$T_c = T_a (^{\circ}C) + \bar{H}_T (W.m^{-2}) \times \left(\frac{TNOC(^{\circ}C) - T_{ref}}{\bar{H}_{ref}} \right) \times \eta_{MPPT} \quad 3.4$$

$$T_c = 32.2 + 1000 * (46-25) / (1000) * 0,9 = 51,1^{\circ}C$$

- Com os valores de Tnoc, γ_{mp} , $\bar{H}_T$ e P°PV, pode-se calcular a potência máxima (Pmp(Tc)) nas condições de temperatura de operação da célula a partir da equação.

$$P_{mp}(T_c) = P_{FV}^0 \times \frac{\bar{H}_T}{H_{ref}} \times \left[1 - \gamma_{mp} \times (T_c - T_{ref}) \right] \quad 3.5$$

$$P_{mp} = 245 * (1000/1000) * (1 - 0,0048 * (51,1 - 25)) = 214,3W$$

$$245000 [Wh/dia] = 214,3W * 6,1 HSP * N$$

$$245000 = 1307,2 Wh * N$$

$$245000/1307,2 = N \quad 187,4 \text{ Painéis}$$

$$N = 187,4/0,8 = (234 \text{ Painéis}) \text{ Fator } 0,7 \text{ a } 0,9$$

Correção da Tensão

$$V_{mp} = V_{mp \text{ nominal}} [1 - \gamma_v (T_c - T_{NOC})]$$

$$V_{mp} = 30,8V * [1 - 0,0034^{\circ}C * (51,1^{\circ}C - 46^{\circ}C)]$$

$$V_{mp} = 30,27v$$

$$\text{Faixa de tensão de MPPT do inversor} = 200 - 480v$$

$$\text{Número de painéis em série} = 13 \times 30,27 \text{ cada strings} = 393,51v$$

$$\text{Número de strings em paralelo} = 234/13 = 18 \text{ strings}$$

Correção de Corrente

$$I_{mp} = I_{mp \text{ nominal}} [1 - \gamma_i (T_c - T_{NOC})]$$

$$I_{mp} = 7,96 \text{ amp} * [1 + 0,0034^\circ\text{C} * (51,1^\circ\text{C} - 46^\circ\text{C})]$$

$$I_{mp} = 8,09 \text{ amp}$$

$$\text{Corrente total do gerador} = 8,09 * 18 = 145,6 \text{ amp}$$

Número total de Inversores

Cada inversor pode receber até 2 strings com corrente máxima total de 15 amperes quando a insolação for 1000W/m²

Serão utilizados **9 inversores** modelo (REcon S1-4), recebendo cada um 2 strings totalizando **16,17 amp**.

Cálculo do FDI

$$FDI = \frac{P_{Inv}^0}{P_{FV}^0}$$

3.6

$$P_{0FV} = 234 \text{ Painéis} \times 214,3 \text{ W} = 50.146 \text{ W} = 50,1 \text{ kW}$$

$$P_{0inv} = 4,3 \text{ kW} \times 9 = 38,7 \text{ kW}$$

$$FDI = 38,7 / 50,1 = 0,77$$

Zilles recomenda valores de FDI entre 0,6 a 0,9

3.7. Desenho da implantação do sistema fotovoltaico em Mossoró

Na figura 3.13 mostra o desenho utilizado no projeto do sistema de energia solar fotovoltaica conectado à rede, a energia elétrica produzida é consumida na própria instalação. O excedente é injetado na rede elétrica da concessionária.

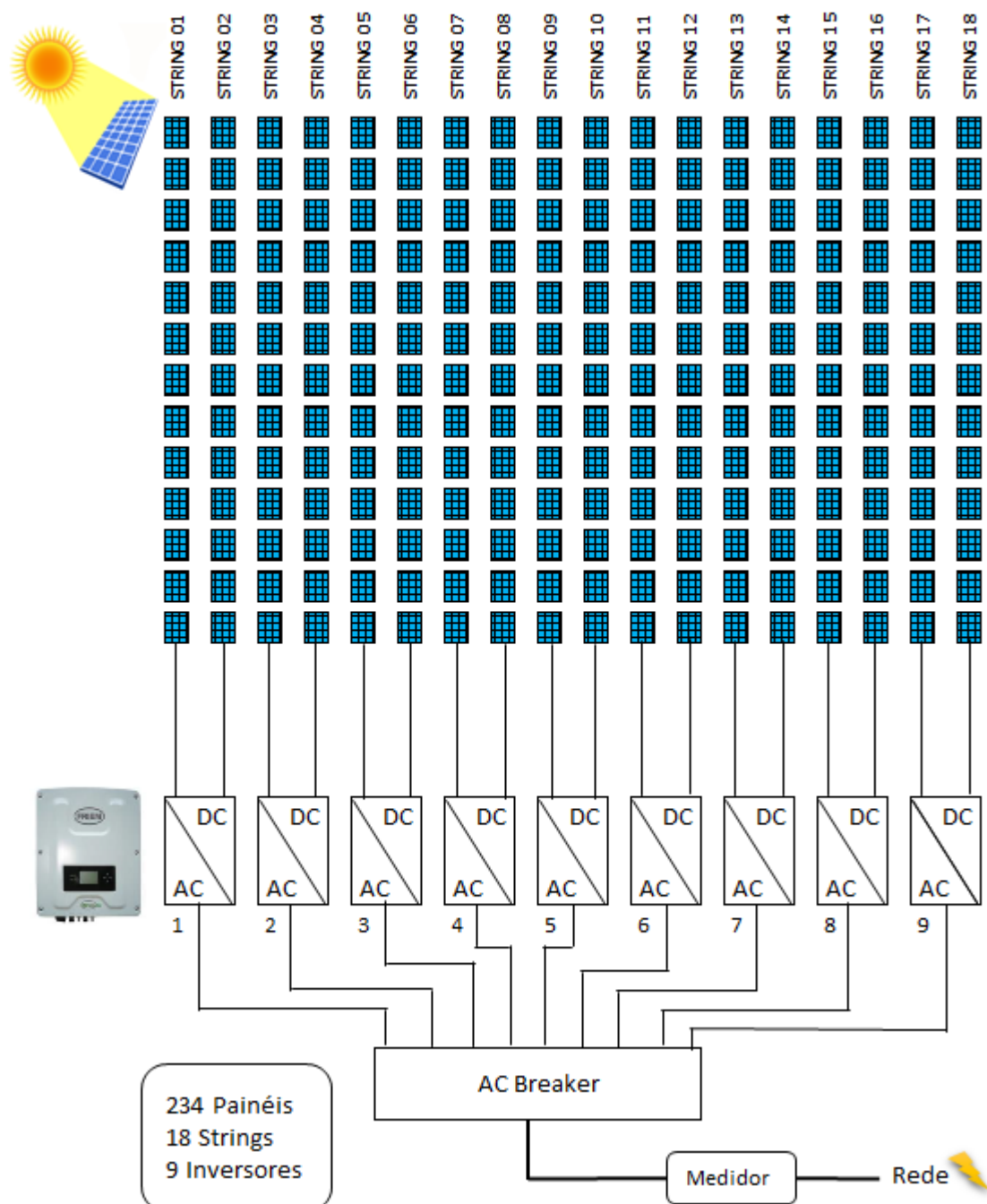


Figura 3.13. Desenho do sistema fotovoltaico on-grid para Mossoró

3.8. Custos do arranjo fotovoltaico para Florianópolis e Mossoró

A Figura 3.14 mostra a comparação de custo de todos os materiais utilizados para o arranjo fotovoltaico de Florianópolis e Mossoró.

Descrições	FLORIANÓPOLIS				MOSSORÓ			
	Qts		Preços		Qts		Preços	
	Tipos		Valor Unitário	Valor Total	Tipos		Valor Unitário	Valor Total
Painel SW 245 poly (PÇ)	305	PÇ	R\$ 875,00	R\$ 266.875,00	234	PÇ	R\$ 875,00	R\$ 204.750,00
Inversor - REcon S1 (PÇ)	11	PÇ	R\$ 7.200,00	R\$ 79.200,00	9	PÇ	R\$ 7.200,00	R\$ 64.800,00
Cabos Fotovoltaicos (MT)	1.400	MT	R\$ 2,98	R\$ 4.172,00	800	MT	R\$ 2,98	R\$ 2.384,00
Conectores MC4 Y (PÇ)	250	PÇ	R\$ 28,80	R\$ 7.200,00	180	PÇ	R\$ 28,80	R\$ 5.184,00
Estruturas Metálicas (PÇ)	102	PÇ	R\$ 350,00	R\$ 35.700,00	78	PÇ	R\$ 350,00	R\$ 27.300,00
Quadros Elétricos (PÇ)	11	PÇ	R\$ 450,00	R\$ 4.950,00	9	PÇ	R\$ 450,00	R\$ 4.050,00
Materiais Elétricos (PÇ)	Componentes em Geral			R\$ 10.000,00	Componentes em Geral			R\$ 6.500,00
	Elaboração do Projeto			R\$ 17.000,00	Elaboração do Projeto			R\$ 12.000,00
	Mão de Obra de Instalação			R\$ 75.000,00	Mão de Obra de Instalação			R\$ 52.000,00
				R\$ 500.097,00				R\$ 378.968,00

Figura 3.14. Custos unitário e total dos materiais para a usina geradora

Depois de serem realizados os dimensionamentos dos sistemas, chegou-se a relação dos materiais a serem utilizados para instalação das 2 (duas) usinas fotovoltaicas. Com isso relacionou-se os materiais e componentes elétricos fundamentais para o adequado funcionamento do sistema elétrico.

A Figura 3.15 mostra o gráfico de comparação percentual (%) de custo de todos os materiais utilizados para o arranjo fotovoltaico de Florianópolis e Mossoró.

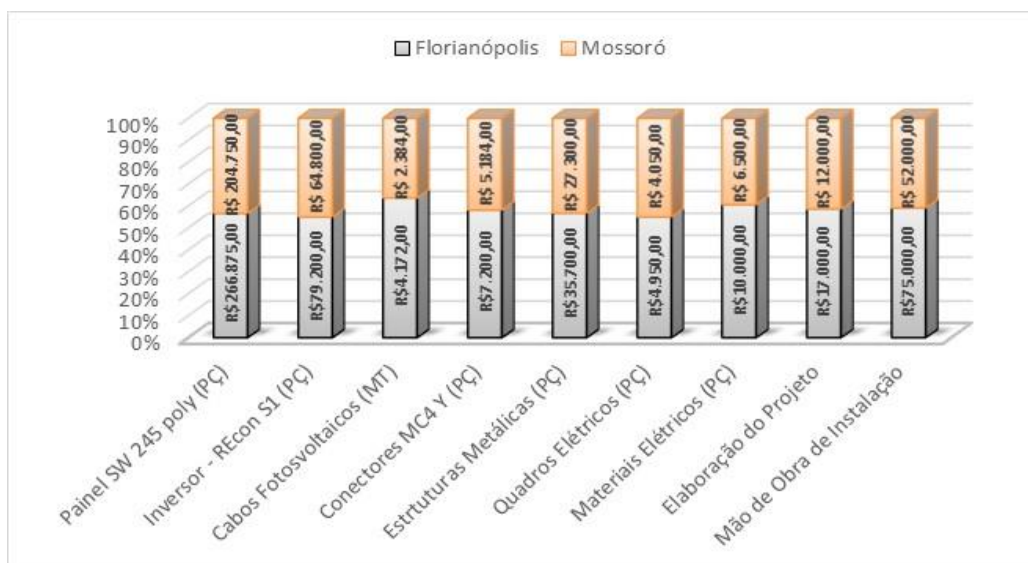


Figura 3.15. Custos em percentual dos materiais para a usina geradora

Completando o arranjo fotovoltaico das usinas para as cidades de Florianópolis e Mossoró, o diferencial dos custos em relação aos equipamentos utilizados, indica que Florianópolis possui uma média de 24.2% maior em relação aos custos para a implantação do projeto na cidade de Mossoró, conforme ilustrado na figura 3.14.

A Figura 3.16 mostra o gráfico do quantitativo dos materiais utilizados para o arranjo fotovoltaico de Florianópolis e Mossoró.

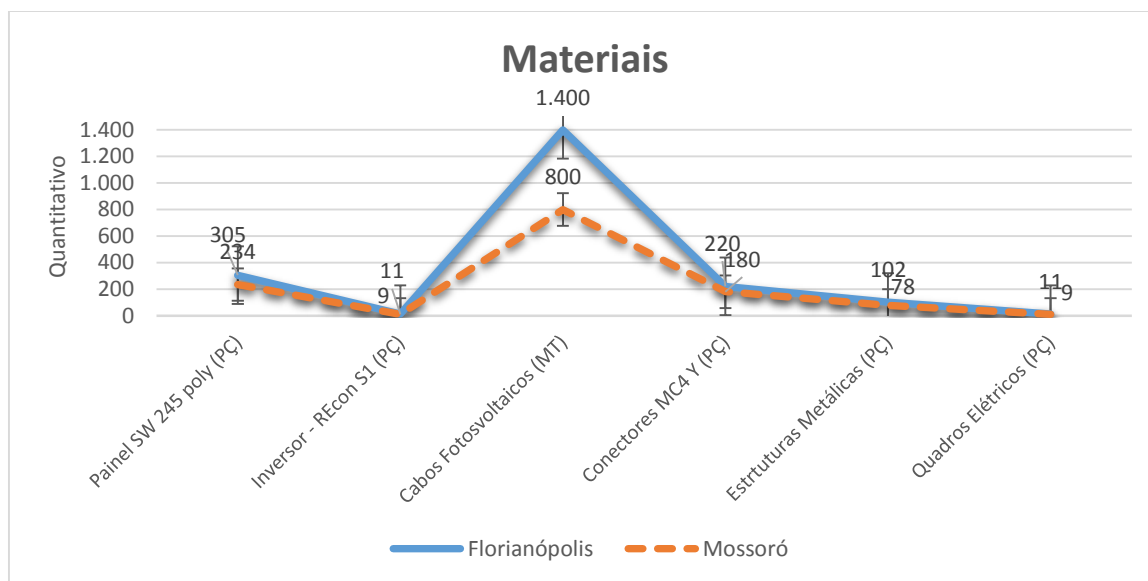


Figura 3.16. Quantitativo de materiais utilizados por fornecedor

Em relação as posições geográficas, as cidades de Florianópolis e Mossoró, recebem diferentes quantidades de irradiação solar média mensal. Isto leva a dimensões diferentes para Florianópolis que por ter menor irradiação necessita de mais equipamentos para gerar a mesma quantidade de energia da instalação situada Mossoró.

Em números de painéis fotovoltaicos, inversores, cabos, conectores e estruturas, Florianópolis possui maior quantidade de equipamentos em relação a cidade de Mossoró.

3.9. Tarifas de energia das concessionárias que representam as cidades de Florianópolis e Mossoró

A Figura 3.17 mostra o valor das tarifas de energia elétrica em kWh com e sem impostos da concessionária CELESC. (Florianópolis).

Concessionária - CELESC (Celesc Distribuidora S.A.)				
Tarifa - Horo-Sazonal Verde		TUSD	TE	TARIFA DE APLICAÇÃO
		R\$/kWh	R\$/kWh	R\$/kWh
GRUPO A4	PONTA	-	-	1,12870
	FORA PONTA	0,07451	0,29242	0,36693 

Os valores constantes da Resolução Homologatória referida são expressos em R\$/MWh

Figura 3.17. Tarifas de energia elétrica da Celesc

Fonte: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/tarifa>

A Figura 3.18 mostra o valor das tarifas de energia elétrica em kWh com e sem impostos da concessionária COSERN. (Mossoró).

Concessionária - COSERN (Companhia Energética do Rio Grande do Norte)				
Tarifa - Horo-Sazonal Verde		TUSD	TE	TARIFA DE APLICAÇÃO
		R\$/kWh	R\$/kWh	R\$/kWh
GRUPO A4	PONTA	-	-	1,16348
	FORA PONTA	0,03339	0,23589	0,26928 

Os valores constantes da Resolução Homologatória referida são expressos em R\$/MWh

Figura 3.18. Tarifas de energia elétrica da Cosern

Fonte: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/tarifa>

3.10. Estudos de Viabilidade

A Tabela 3.6 mostra os valores da energia elétrica gerada (kWh) ao longo dos meses do ano para Florianópolis, tendo-se adotado como referência a temperatura máxima média da tabela 2.5.

Tabela 3.6. Desempenho anual kWh gerado ano para Florianópolis (305 Painéis)

Florianópolis (KWh/mês)												
jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Ano
10.676	9.396	9.957	8.772	8.221	7.344	7.954	8.754	8.571	9.529	10.068	11.067	110.309

Os valores da tabela 3.6 foram obtidos pelo produto da energia média diária produzida pelo gerador fotovoltaico pelo número de dias do mês.

O Fluxo de caixa foi elaborado através da receita anual de energia gerada (kWh) a partir dos dados da Tabela 3.6

O cálculo do payback simples, utilizou a produção anual de energia (MWh/ano) gerada pelo sistema fotovoltaico, a tarifa da Concessionária e o fluxo de caixa mensal.

Payback Simples →

$$110,309 \text{ MWh/ano} \times 366,93 \text{ R\$/MWh} = 40,5 \text{ mil R\$/ano}$$
$$\text{Sistema } 500.097 \text{ mil R\$} / 40,5 \text{ mil R\$/ano} = 12,3 \text{ anos}$$

O cálculo do payback descontado, utilizou a produção anual de energia (MWh/ano) gerada pelo sistema fotovoltaico, a tarifa da Concessionária, o fluxo de caixa mensal e uma taxa de desconto de 5% ao ano.

Payback Descontado →

$$110,309 \text{ MWh/ano} \times 366,93 \text{ R\$/MWh} = 40,5 \text{ mil R\$/ano}$$
$$\text{Sistema } 500.097 \text{ mil R\$} / 25,8 \text{ mil R\$/ano} = 19,4 \text{ anos}$$

A Tabela 3.7 mostra os valores da energia elétrica gerada (kWh) ao longo dos meses do ano para Mossoró, tendo-se adotado como referência a temperatura máxima média da tabela 2.6.

Tabela 3.7. Desempenho anual kWh gerado ano para Mossoró (234 Painéis)

Mossoró (kWh/mês)												
jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Ano
7.936	7.294	7.908	7.419	8.013	7.341	8.075	9.064	8.775	9.278	8.763	8.450	98.316

Os valores da tabela 3.7 foram obtidos pelo produto da energia média diária produzida pelo gerador fotovoltaico pelo número de dias do mês.

O Fluxo de caixa foi elaborado através da receita anual de energia gerada (kWh) a partir dos dados da Tabela 3.7

O cálculo do payback simples, utilizou a produção anual de energia (MWh/ano) gerada pelo sistema fotovoltaico, a tarifa da Concessionária e o fluxo de caixa mensal.

Payback Simples →

$$98,316 \text{ MWh/ano} \times 269,28 \text{ R\$/MWh} = 26,5 \text{ mil R\$/ano}$$

$$\text{Sistema } 378.968 \text{ mil} / 26,5 \text{ mil R\$/ano} = 14,3 \text{ anos}$$

O cálculo do payback descontado, utilizou a produção anual de energia (MWh/ano) gerada pelo sistema fotovoltaico, a tarifa da Concessionária, o fluxo de caixa mensal e uma taxa de desconto de 5% ao ano.

Payback Descontado →

$$98,316 \text{ MWh/ano} \times 269,28 \text{ R\$/MWh} = 26,5 \text{ mil R\$/ano}$$

$$\text{Sistema } 378.968 \text{ mil} / 14,9 \text{ mil R\$/ano} = 25,4 \text{ anos}$$

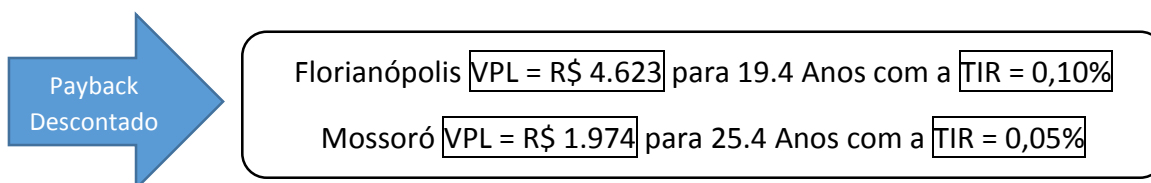
3.11. Análises de viabilidade Econômica para Florianópolis e Mossoró

A Tabela 3.8 mostra o tempo de retorno do investimento. Mostra-se a diferença entre os payback simples e descontado.

Tabela 3.8 payback simples e descontado Florianópolis e Mossoró.

M&M S A	PAYBACK SIMPLES				PAYBACK DESCONTADO			
	PROJETO 0%				PROJETO 5%			
	Florianópolis		Mossoró		Florianópolis		Mossoró	
Investimento Inicial	-R\$ 500.097,00	-R\$ 500.097,00	-R\$ 378.968,00	-R\$ 378.968,00	-R\$ 500.097,00	-R\$ 500.097,00	-R\$ 378.968,00	-R\$ 378.968,00
Ano 01	R\$ 40.500,00	-R\$ 459.597,00	R\$ 26.500,00	-R\$ 352.468,00	R\$ 38.571,43	-R\$ 461.525,57	R\$ 25.238,10	-R\$ 353.729,90
Anos 02	R\$ 40.500,00	-R\$ 419.097,00	R\$ 26.500,00	-R\$ 325.968,00	R\$ 36.734,69	-R\$ 424.790,88	R\$ 24.036,28	-R\$ 329.693,62
Anos 03	R\$ 40.500,00	-R\$ 378.597,00	R\$ 26.500,00	-R\$ 299.468,00	R\$ 34.985,42	-R\$ 389.805,45	R\$ 22.891,70	-R\$ 306.801,93
Anos 04	R\$ 40.500,00	-R\$ 338.097,00	R\$ 26.500,00	-R\$ 272.968,00	R\$ 33.319,45	-R\$ 356.486,00	R\$ 21.801,62	-R\$ 285.000,31
Anos 05	R\$ 40.500,00	-R\$ 297.597,00	R\$ 26.500,00	-R\$ 246.468,00	R\$ 31.732,81	-R\$ 324.753,19	R\$ 20.763,44	-R\$ 264.236,87
Anos 06	R\$ 40.500,00	-R\$ 257.097,00	R\$ 26.500,00	-R\$ 219.968,00	R\$ 30.221,72	-R\$ 294.531,47	R\$ 19.774,71	-R\$ 244.462,16
Anos 07	R\$ 40.500,00	-R\$ 216.597,00	R\$ 26.500,00	-R\$ 193.468,00	R\$ 28.782,59	-R\$ 265.748,88	R\$ 18.833,06	-R\$ 225.629,10
Anos 08	R\$ 40.500,00	-R\$ 176.097,00	R\$ 26.500,00	-R\$ 166.968,00	R\$ 27.411,99	-R\$ 238.336,88	R\$ 17.936,24	-R\$ 207.692,86
Anos 09	R\$ 40.500,00	-R\$ 135.597,00	R\$ 26.500,00	-R\$ 140.468,00	R\$ 26.106,66	-R\$ 212.230,22	R\$ 17.082,14	-R\$ 190.610,73
Anos 10	R\$ 40.500,00	-R\$ 95.097,00	R\$ 26.500,00	-R\$ 113.968,00	R\$ 24.863,49	-R\$ 187.366,74	R\$ 16.268,70	-R\$ 174.342,02
Anos 11	R\$ 40.500,00	-R\$ 54.597,00	R\$ 26.500,00	-R\$ 87.468,00	R\$ 23.679,51	-R\$ 163.687,22	R\$ 15.494,00	-R\$ 158.848,02
Anos 12	R\$ 40.500,00	-R\$ 14.097,00	R\$ 26.500,00	-R\$ 60.968,00	R\$ 22.551,92	-R\$ 141.135,31	R\$ 14.756,19	-R\$ 144.091,83
Anos 13	R\$ 40.500,00	R\$ 26.403,00	R\$ 26.500,00	-R\$ 34.468,00	R\$ 21.478,01	-R\$ 119.657,29	R\$ 14.053,52	-R\$ 130.038,32
Anos 14	R\$ 40.500,00	R\$ 66.903,00	R\$ 26.500,00	-R\$ 7.968,00	R\$ 20.455,25	-R\$ 99.202,04	R\$ 13.384,30	-R\$ 116.654,02
Anos 15	R\$ 40.500,00	R\$ 107.403,00	R\$ 26.500,00	R\$ 18.532,00	R\$ 19.481,19	-R\$ 79.720,85	R\$ 12.746,95	-R\$ 103.907,06
Anos 16	R\$ 40.500,00	R\$ 147.903,00	R\$ 26.500,00	R\$ 45.032,00	R\$ 18.553,52	-R\$ 61.167,33	R\$ 12.139,96	-R\$ 91.767,11
Anos 17	R\$ 40.500,00	R\$ 188.403,00	R\$ 26.500,00	R\$ 71.532,00	R\$ 17.670,02	-R\$ 43.497,32	R\$ 11.561,86	-R\$ 80.205,24
Anos 18	R\$ 40.500,00	R\$ 228.903,00	R\$ 26.500,00	R\$ 98.032,00	R\$ 16.828,59	-R\$ 26.668,73	R\$ 11.011,30	-R\$ 69.193,95
Anos 19	R\$ 40.500,00	R\$ 269.403,00	R\$ 26.500,00	R\$ 124.532,00	R\$ 16.027,23	-R\$ 10.641,51	R\$ 10.486,95	-R\$ 58.707,00
Anos 20	R\$ 40.500,00	R\$ 309.903,00	R\$ 26.500,00	R\$ 151.032,00	R\$ 15.264,02	R\$ 4.622,52	R\$ 9.987,57	-R\$ 48.719,43
Anos 21	R\$ 40.500,00	R\$ 350.403,00	R\$ 26.500,00	R\$ 177.532,00	R\$ 14.537,17	R\$ 19.159,68	R\$ 9.511,97	-R\$ 39.207,45
Anos 22	R\$ 40.500,00	R\$ 390.903,00	R\$ 26.500,00	R\$ 204.032,00	R\$ 13.844,92	R\$ 33.004,60	R\$ 9.059,02	-R\$ 30.148,43
Anos 23	R\$ 40.500,00	R\$ 431.403,00	R\$ 26.500,00	R\$ 230.532,00	R\$ 13.185,64	R\$ 46.190,24	R\$ 8.627,64	-R\$ 21.520,79
Anos 24	R\$ 40.500,00	R\$ 471.903,00	R\$ 26.500,00	R\$ 257.032,00	R\$ 12.557,75	R\$ 58.747,99	R\$ 8.216,80	-R\$ 13.303,99
Anos 25	R\$ 40.500,00	R\$ 512.403,00	R\$ 26.500,00	R\$ 283.532,00	R\$ 11.959,76	R\$ 70.707,75	R\$ 7.825,52	-R\$ 5.478,47
Anos 26	R\$ 40.500,00	R\$ 552.903,00	R\$ 26.500,00	R\$ 310.032,00	R\$ 11.390,25	R\$ 82.098,00	R\$ 7.452,88	R\$ 1.974,41
Anos 27	R\$ 40.500,00	R\$ 593.403,00	R\$ 26.500,00	R\$ 336.532,00	R\$ 10.847,86	R\$ 92.945,86	R\$ 7.097,98	R\$ 9.072,39
Anos 28	R\$ 40.500,00	R\$ 633.903,00	R\$ 26.500,00	R\$ 363.032,00	R\$ 10.331,29	R\$ 103.277,15	R\$ 6.759,98	R\$ 15.832,37
Anos 29	R\$ 40.500,00	R\$ 674.403,00	R\$ 26.500,00	R\$ 389.532,00	R\$ 9.839,33	R\$ 113.116,48	R\$ 6.438,08	R\$ 22.270,45
Anos 30	R\$ 40.500,00	R\$ 714.903,00	R\$ 26.500,00	R\$ 416.032,00	R\$ 9.370,79	R\$ 122.487,27	R\$ 6.131,50	R\$ 28.401,95

A Tabela 3.9 mostra o valor presente líquido e a TIR para Florianópolis e Mossoró.



3.12. Comparações da viabilidade Econômica através do fluxo de caixa simples de Florianópolis e Mossoró.

A Figura 3.19 mostra o gráfico do fluxo de caixa simples, com retorno a partir do 15º ano para cidade de Florianópolis.

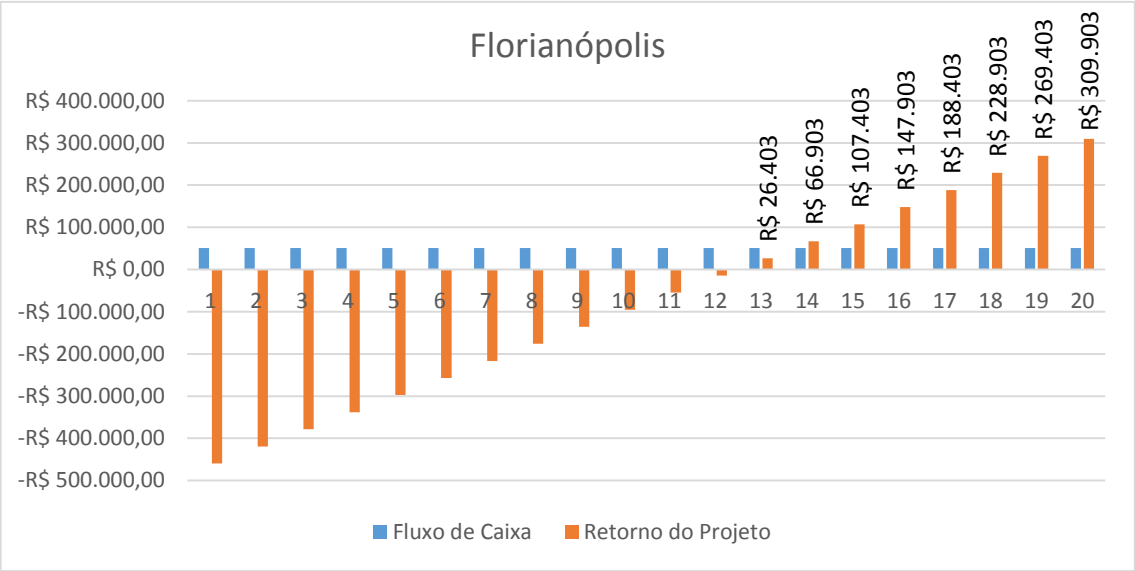


Figura 3.19. Retorno de fluxo de caixa simples em Florianópolis

A Figura 3.20 mostra o gráfico do fluxo de caixa simples, com retorno a partir do 10º ano para cidade de Mossoró.

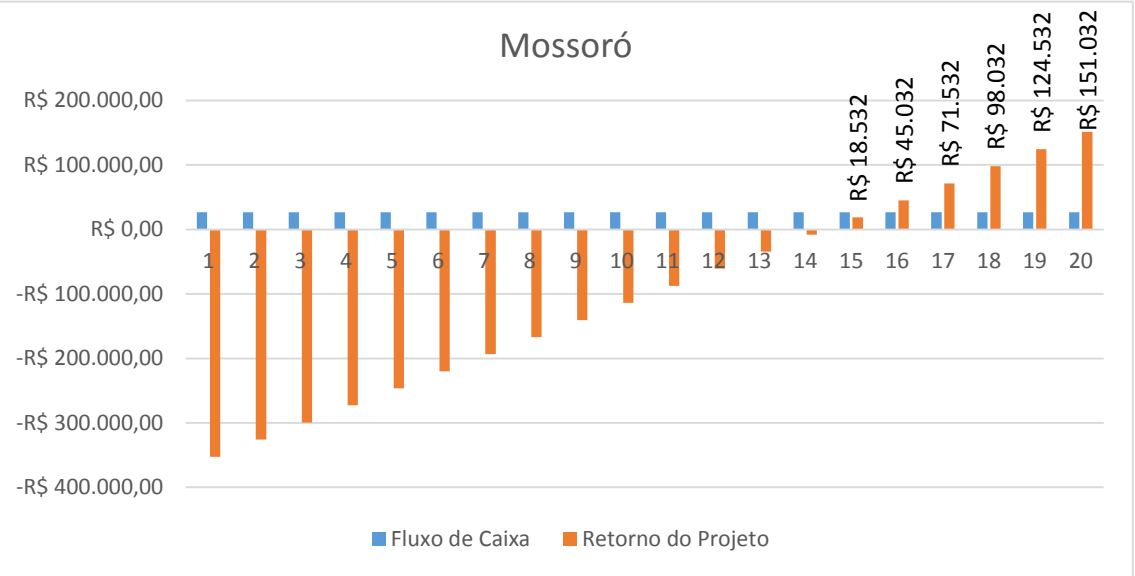


Figura 3.20. Retorno de fluxo de caixa simples em Mossoró

3.13. Comparações da viabilidade Econômica através do fluxo de caixa descontado de Florianópolis e Mossoró.

A Figura 3.21 mostra o gráfico do fluxo de caixa descontado, com retorno a partir do 28º ano para cidade de Florianópolis.

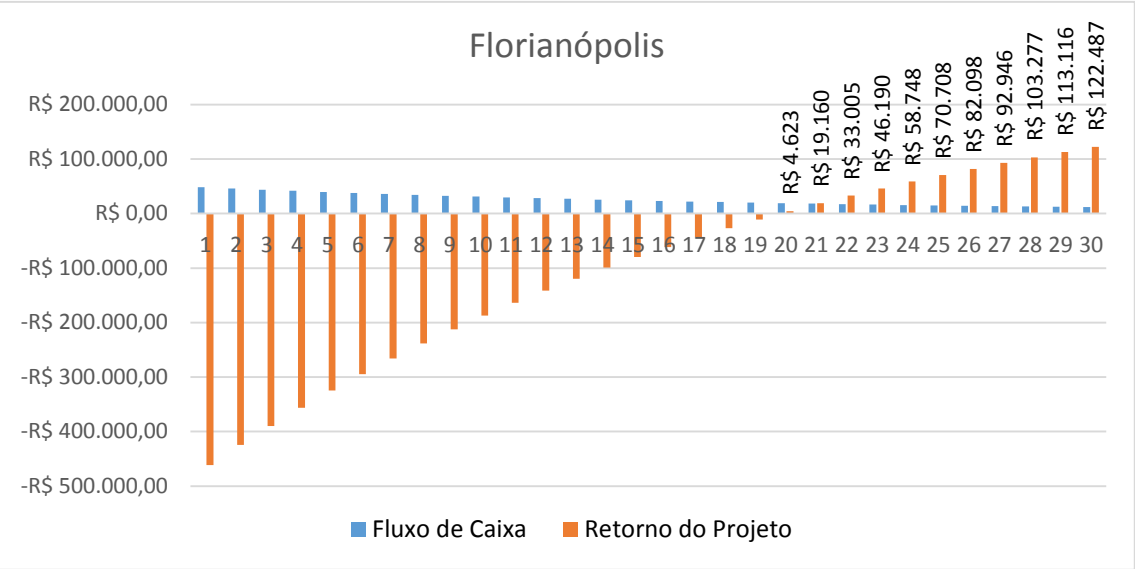


Figura 3.21. Retorno de fluxo de caixa descontado em Florianópolis

A Figura 3.22 mostra o gráfico do fluxo de caixa descontado, com retorno a partir do 15º ano para a cidade de Mossoró.

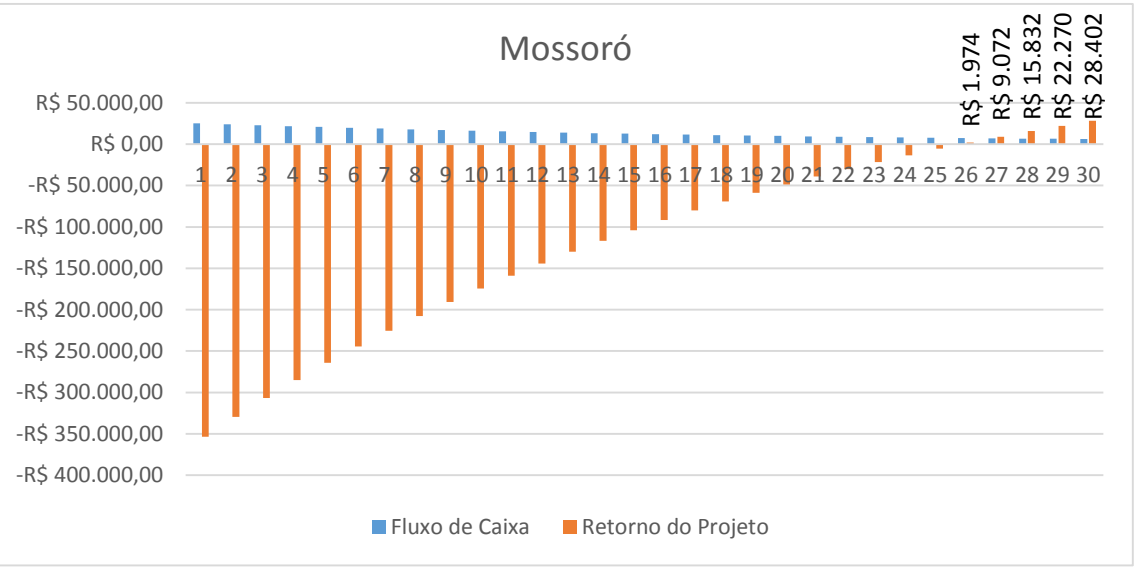


Figura 3.22. Retorno de fluxo de caixa descontado em Mossoró

4. Conclusão

1. Esse estudo comparou geradores fotovoltaicos de igual potência gerada para as cidades de Florianópolis e Mossoró (com áreas de 483,88 m² e 371,24m²).
2. A aplicação dos métodos da literatura para o pré dimensionamento de sistemas fotovoltaicos revelou que para a potência proposta de 245 kWh/dia são necessários para cidade de Florianópolis 483,88m² de painéis fotovoltaicos e 371,24m² para a cidade de Mossoró. Também são necessários 11 inversores para Florianópolis e 9 inversores para Mossoró.
3. Esse estudo mostra que para Florianópolis o sistema completo custa R\$ 500.097,00 reais, e para Mossoró R\$ 378.968,00 reais. Isso resulta em um valor específico de R\$ 1.033,51 por metro quadrado de painel em Florianópolis, e R\$ 1.020,82 para Mossoró.
4. O estudo econômico, considerando um payback simples que corresponde a uma taxa de juros (0%) ou seja como se fosse um valor subsidiado pelo governo a título de incentivo levaria a valores de 12,3 anos para Florianópolis e 14,3 anos para Mossoró. Ou seja o valor de 366,93 R\$/MWh cobrado em Florianópolis favorece a vantagem do uso do sistema fotovoltaico em relação ao valor de 269,28 R\$/MWh cobrado em Mossoró.
5. Considerando uma taxa de juros de 5% ao ano, ter-se-ia um payback descontado de 19,4 anos para Florianópolis e 25.4 anos para Mossoró.
6. O estudo revela também que a taxa interna de retorno para Florianópolis é de 0,10% ao ano e para Mossoró 0,05% ao ano.
7. Este estudo mostra que a diferença porcentual de investimento entre o local com menor insolação e maior insolação, 500.097,00 reais para Florianópolis, e 378.968,00 reais para Mossoró, é de 24,2%. Espera-se que para qualquer ponto do Brasil com insolação intermediária entre esses valores o custo de investimento, deverá estar dentro dessa faixa.
8. Este estudo sugere que a taxa interna de retorno desse sistema para diferentes pontos do Brasil, deva se situar entre os valores de 0,10% e 0,05% ao ano. Devendo-se verificar todavia o valor cobrado pelo MWh no local considerado.

Referências Bibliográficas

CRESESB. **Potencial energético solar – Sun Data**
<<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>>. Acesso em: 02 Jun. 2015.

DUFFIE, J.; BECKMAN, W. **Solar Engineering of Thermal Processes**. 4th Ed, Wisconsin, 2013.

PACHECO, Claudio Roberto de Freitas. **Apostila ERG 006- Energia Solar I**. São Paulo: PECE-USP – POLI, 2015.

SOWMY, Daniel Setrak. **Apostila ERG 007-Energia Solar II**. São Paulo: PECE-USP – POLI, 2015.

WIKIPÉDIA. **Dados climatológicos para Florianópolis e Localização**
<<https://pt.wikipedia.org/wiki/Florianópolis>>. Acesso em: 07 Jul. 2015.

WIKIPÉDIA. **Dados climatológicos para Mossoró e Localização**
<<https://pt.wikipedia.org/wiki/Mossoró>>. Acesso em: 07 Jul. 2015.

SS SOLAR. **Painéis fotovoltaicos**. Disponíveis em:
<<http://www.sssolar.com.br/Energia/detail/5-paineis-solares>>. Acesso em: 04 Ago. 2015.

SS SOLAR. **Células Solares**. Disponíveis em:
<<http://www.sssolar.com.br/Produtos/detail/8-modulos>>. Acesso em: 04 Ago. 2015.

SS SOLAR. **Wafers Solares**. Disponíveis em:
<<http://www.sssolar.com.br/Energia/detail/3-wafers-solares>>. Acesso em: 04 Ago. 2015.

SS SOLAR. **Silício**. Disponíveis em:
<<http://www.sssolar.com.br/Energia/detail/2-silicio>>. Acesso em: 04 Ago. 2015.

GAS FOMENTO ENERGIA PARA VIDA. **Componentes de um Modulo Fotovoltaico**. Disponíveis em:
<<http://www.gasfomento.pt/energiasrenovaveis/arquitectura/energia-solar-para-arquitectos.html>>. Acesso em: 21 Jul. 2015.

ENERGIA E SOL **Geração de energia a partir do Sol**. Disponíveis em:
<<http://energiaesol.com.br/energia-solar/>>. Acesso em: 21 Jul. 2015.

INGEMECÂNICA **Curvas de funcionamento de módulos fotovoltaicos**. Disponíveis em: <<http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn192.html>>. Acesso em: 21 Jul. 2015.

SS SOLAR **Painel fotovoltaico Sunmodule SW 245**. Disponível em:
<<http://www.sssolar.com.br/wwwroot/produtos/55/245.pdf>>. Acesso em 15 ago. 2015.

FRIEN **Inversor REcon S1**. Disponível em:
<<http://www.friem.com/?wpcproduct=recon-s1-2&lang=it>>. Acesso em 15 ago. 2015.

SOLARMAX **Cabo fotovoltaico Flex SN 0,6/1kV**. Disponível em:
<<https://www.incesa.com.br/produtos/detalhe/135/19/cabo-solarmax-flex-sn-06-1kv>>. Acesso em 15 ago. 2015.

VIRGINIA Prof. Virginia. Disponível em: 22 ago. 2015. **Apostila ERG-001/2014-1 – Viabilidade Econômica** São Paulo: PECE-USP – POLI, 2015.

CELESC **Tarifas de energia elétrica da Celesc**. Disponível em:
<<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/tarifaAplicada/index.cfm>>. Acesso em 05 set. 2015.

COSERN **Tarifas de energia elétrica da Cosern**. Disponível em:
<<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/tarifaAplicada/index.cfm>>. Acesso em 05 set. 2015.