



**INSTITUTO FEDERAL**  
**GOIÁS**  
Câmpus Itumbiara

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA**  
**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS**  
**CÂMPUS ITUMBIARA**  
**COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**ANÁLISE DE DESEMPENHO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS,  
CONSIDERANDO A INFLUÊNCIA DA SUJEIRA NA REGIÃO SUL  
DE GOIÁS: ESTUDO DE CASO NO INSTITUTO FEDERAL DE  
GOIÁS – CAMPUS ITUMBIARA**

**MARCOS VINICIUS DA SILVA CANDINE**

**JUNHO**

**2018**

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
DE GOIÁS**

**ANÁLISE DE DESEMPENHO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS,  
CONSIDERANDO A INFLUÊNCIA DA SUJEIRA NA REGIÃO SUL  
DE GOIÁS: ESTUDO DE CASO NO INSTITUTO FEDERAL DE  
GOIÁS – CAMPUS ITUMBIARA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Banca Examinadora do Trabalho de Conclusão do Curso Bacharelado em Engenharia Elétrica, em cumprimento às exigências legais como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Prof. Dr. Sergio B. Silva – Orientador (IFG)

Prof. Ms. Willian Martins Leão – (IFG)

Prof. Dr. Olívio Carlos Nascimento Souto – (IFG)



**INSTITUTO FEDERAL**

Goiás

Câmpus Itumbiara

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS

DEPARTAMENTO DE ÁREAS ACADÊMICAS - CÂMPUS ITUMBIARA

COORDENAÇÃO DE CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

**ATA Nº 18 DA DEFESA PÚBLICA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE MARCOS VINICIUS DA SILVA, DISCENTE DO CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA DO INSTITUTO FEDERAL DE GOIÁS, CÂMPUS ITUMBIARA.**

Aos nove dias do mês de julho de 2018, às 16 horas e 30 minutos, na sala 22 (BLOCO ANTIGO) do Instituto Federal de Goiás, Câmpus Itumbiara, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos membros: Prof. DR. SÉRGIO BATISTA DA SILVA, do Instituto Federal de Goiás, Câmpus Itumbiara, Prof. Msc. WILLIAM MARTINS LEÃO, do Instituto Federal de Goiás, Câmpus Itumbiara e Prof. Dr. OLÍVIO CARLOS NASCIMENTO SOUTO, do Instituto Federal de Goiás, Câmpus Itumbiara, sob a presidência do primeiro, para a arguição pública do Trabalho de Conclusão de Curso de MARCOS VINICIUS DA SILVA, intitulado "ANÁLISE DE DESEMPENHO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONSIDERANDO A INFLUÊNCIA DA SUJEIRA NA REGIÃO SUL DE GOIÁS: ESTUDO DE CASO NO INSTITUTO FEDERAL DE GOIÁS – CAMPUS ITUMBIARA". Após a apresentação do trabalho, o discente foi arguido oralmente pelos membros da Comissão. Em reunião reservada, a Comissão Examinadora deliberou e decidiu pelo conceito final do trabalho: 6,0 ( seis ), o qual foi informado formalmente à estudante e aos presentes na defesa pública. Nada mais havendo, deu-se por encerrada a reunião, na qual foi lavrada, lida e assinada a presente ata, pelos membros da Comissão Examinadora.

Prof. Dr. SÉRGIO BATISTA DA SILVA  
Instituto Federal de Goiás, Câmpus Itumbiara

Prof. Msc. WILLIAM MARTINS LEÃO  
Instituto Federal de Goiás, Câmpus Itumbiara

Prof. Dr. OLÍVIO CARLOS NASCIMENTO SOUTO  
Instituto Federal de Goiás, Câmpus Itumbiara

### **Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

C217a

Candine, Marcos Vinicius da Silva

Análise de desempenho de sistemas fotovoltaicos, considerando a influência da sujeira na região sul de Goiás: estudo de caso no Instituto Federal de Goiás - Campus Itumbiara. / Marcos Vinicius da Silva Candine. - 2018.

67f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Itumbiara, 2018.

Orientadora: Prof. Dr. Sérgio Batista Silva

1- Energia solar 2 - Sistema de controle inteligente 3 - Limpeza. I. Título. II. Silva, Sérgio Batista.

CDD: 621.47

**Bibliotecária: Rosiane Gonçalves de Lima Santana CRB/1-1684**

## **DEDICATÓRIA**

Aos meus pais, toda minha família e amigos, pelos bons momentos compartilhados e pelas dificuldades divididas. Vocês me inspiram e me dão forças para jamais desistir. Com vocês, todo esforço tem valido a pena.

## AGRADECIMENTOS

Sem o apoio e o estímulo proporcionado por várias pessoas ao longo do caminho, este trabalho talvez não tivesse sido realizado da maneira como foi, muitos contribuíram com ensinamentos, materiais e mão de obra durante o percurso. Gostaria de fato expressar aqui meus profundos agradecimentos.

Ao meu professor orientador Sérgio B. Silva pela orientação, paciência e dedicação durante todo o tempo dedicado à elaboração do trabalho como um grande professor, amigo e mentor.

Ao Instituto Federal de Goiás pela oferta do curso de Engenharia Elétrica e pela disponibilização do sistema fotovoltaico no qual toda a pesquisa foi desenvolvida.

Ao meu pai Elias Alves Candine e à minha mãe Sandra Cristina da Silva Candine, pela sólida formação e disciplina dada durante o meu crescimento que me proporcionou a continuidade nos estudos até à chegada deste final de curso, os meus eternos agradecimentos.

À minha namorada Iana Brito de Oliveira pelo apoio emocional e incentivo durante toda a minha jornada no curso, nos piores e melhores momentos do projeto, que esteve comigo e presenciou todo o progresso ocorrido durante a evolução do trabalho.

Ao meu grande companheiro de classe e eterno amigo Gabriel Oliveira Kolailat por ter me auxiliado em todos os momentos de dificuldade acadêmica, pessoal e profissional, fica aqui minha profunda gratidão.

Aos colegas de graduação, muito obrigado pela amizade, pelo incentivo e principalmente pelo companheirismo.

Aos professores do IFG que, notavelmente, influenciaram nas tomadas de decisão e contribuíram muito durante o meu crescimento acadêmico.

Por fim, a todos que de alguma forma, direta ou indiretamente, contribuíram com a minha formação, o meu eterno e sincero muito obrigado.

*“O dinheiro faz homens ricos, o conhecimento faz homens sábios e a humildade faz grandes homens.”.*

*(Mahatma Gandhi)*

## RESUMO

A energia solar cresce cada vez mais como uma alternativa de geração de energia elétrica e possui grandes vantagens com sua implementação, utilização e manutenção, sendo uma fonte limpa e confiável. Mas, em compensação aos vários benefícios que os sistemas fotovoltaicos possuem como todo sistema real, existem perdas de eficiência. O objetivo deste trabalho é a análise dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede na região Sul de Goiás, considerando as perdas de eficiência devido à sujeira. Para alcançar os objetivos, o presente trabalho apresenta os comparativos de desempenho sobre dois sistemas fotovoltaicos de 21,6 kWp cada, instalado no Instituto Federal de Goiás – Campus Itumbiara comparando os dois com relação à limpeza programada realizada em apenas um deles, por fim, observar a necessidade ou não das limpezas periódicas no sistema da região. De mesmo modo, um levantamento em valores econômicos devido a sujeira que impactam na produção energética do sistema fotovoltaico no que diz respeito aos índices de desempenho é apresentado. O estudo demonstrou que no período analisado, as limpezas periódicas obtiveram ganhos na geração de cerca de 6 %, considerando um sistema, a economia que resulta das limpezas realizadas é de aproximadamente R\$ 900,00 em um período de 1 ano.

*Palavras-chave: Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Rede. Energia Solar. Perdas por Sujeira.*

## ABSTRACT

The solar energy is growing even more as an alternative of energy source and has a wide range of advantages for its implementation, use and maintenance, being a clean source and trustworthy. But, in compensation to the many advantages that a photovoltaic system has, as in any real system, there are losses. The objective of the research of this work is the analysis of the photovoltaic systems connected to the grid in the region south of Goiás, considering the losses of energy due to the dirt effects. The present work presents the comparisons of losses by dirt particles and their impacts on the two photovoltaic installations of 21,6 kW each installed in the Federal Institute of Goiás - Itumbiara Campus, comparing both systems, in relation to the periodic cleaning carried out in just one of the systems, finally, observe the necessity or not of the periodic cleanings of the system. In the same way, a survey of real losses that impact the generation of the photovoltaic system in relation to the indices of merit. The study showed that with periodic cleaning, there is gains of generation of 6%, considering an system of 20kWp, the economy that results from the realized cleanings, is approximated to R\$900,00 in a period of 1 year.

*Keywords: Photovoltaic systems, solar energy, loss from dirt*

## LISTA DE GRÁFICOS

|                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gráfico 1: 10 maiores Potências Instaladas em Goiás (ANEEL, 06/2018) .....      | 28 |
| Gráfico 2: Maior número de SFCRs Instalados em Goiás (ANEEL, 06/2018) .....     | 28 |
| Gráfico 3: Irradiação Solar Itumbiara no plano Horizontal (CRESESB, 2018) ..... | 29 |
| Gráfico 4: Geração do mês de Dezembro (kWh) (12/2017) .....                     | 46 |
| Gráfico 5: Geração do mês de Janeiro (kWh) (01/2018) .....                      | 46 |
| Gráfico 6: Geração do mês de Fevereiro (kWh) (02/2018) .....                    | 47 |
| Gráfico 7: Geração do Mês de Março (kWh) (03/2018) .....                        | 48 |
| Gráfico 8: Geração do Mês de Abril (kWh) (04/2018) .....                        | 48 |
| Gráfico 9: Geração do Mês de Maio (kWh) (05/2018) .....                         | 50 |
| Gráfico 10: Geração do Mês de Junho (kWh) (06/2018) .....                       | 50 |
| Gráfico 11: Produtividade do SFCR (kWh/kWp) .....                               | 51 |
| Gráfico 12: Irradiação Atlas 2017 e IFG .....                                   | 52 |
| Gráfico 13: Ganho percentual do SFCR (%) .....                                  | 53 |
| Gráfico 14: Taxa de desempenho do SFCR .....                                    | 54 |
| Gráfico 15: Análise Financeira Simplificada do SFCR (R\$) .....                 | 55 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1: Matriz Energética Brasileira (ANEEL, Maio de 2018) ..... | 16 |
| Tabela 2: Normas Técnicas.....                                     | 35 |
| Tabela 3: Resumo do SFCR do IFG Campus Itumbiara.....              | 37 |
| Tabela 4: Tarifas ENEL .....                                       | 42 |
| Tabela 5: Dados Gerais do SFCR do Campus Itumbiara .....           | 51 |
| Tabela 6: Ganho Diário (%).....                                    | 54 |
| Tabela 7: Valores Economizados (R\$).....                          | 56 |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1: 10 maiores Países em instalações e capacidade total .....       | 14 |
| Figura 2: Radiação Global no plano Horizontal (kWh/m <sup>2</sup> ) ..... | 14 |
| Figura 3: Níveis de radiação por Região .....                             | 15 |
| Figura 4: Fontes com potencial energético .....                           | 22 |
| Figura 5: Tipos de Radiação .....                                         | 23 |
| Figura 6: Corte Transversal de uma célula fotovoltaica .....              | 24 |
| Figura 7: Estrutura das células fotovoltaicas.....                        | 25 |
| Figura 8: Sujeira observada nos Módulos no IFG (BLOCO 500) .....          | 27 |
| Figura 9: Imagem de Satélite da Localização do Campus Itumbiara .....     | 35 |
| Figura 10: Imagem dos blocos, onde foram instalados os SFCRs .....        | 36 |
| Figura 11: Foto do SFCR instalado no IFG campus Itumbiara .....           | 36 |
| Figura 12: Inversores SMA e ABB e Módulos Canadian Solar .....            | 38 |
| Figura 13: Interface Sunny Portal .....                                   | 42 |
| Figura 14: Interface de Geração Sunny Portal .....                        | 43 |
| Figura 15: Interface Sistema IFG (Carlo Gavazzi) .....                    | 44 |
| Figura 16: Antes e Depois da 1º Limpeza.....                              | 47 |
| Figura 17: Antes e Depois da 2º Limpeza.....                              | 49 |

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

|                           |                                                                  |
|---------------------------|------------------------------------------------------------------|
| ABNT                      | Associação Brasileira de normas Técnicas                         |
| ABNT                      | Associação Brasileira de Normas Técnicas                         |
| ANEEL                     | Agência Nacional de Energia Elétrica                             |
| BNDES                     | Banco Nacional de Desenvolvimento Social                         |
| CA                        | Corrente alternada                                               |
| CC                        | Corrente contínua                                                |
| CLP                       | Controlador Lógico Programável                                   |
| CRESESB                   | Centro de Referência para as energias Solar e Eólica de S. Brito |
| FC                        | Fator de Capacidade                                              |
| SFCR                      | Sistema Fotovoltaico conectado à rede                            |
| GW                        | GigaWatts                                                        |
| IFG                       | Instituto Federal de Goiás                                       |
| INMETRO                   | Instituto de Metrologia, Qualidade e Tecnologia                  |
| INPE                      | Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais                        |
| kW                        | Quilowatts                                                       |
| kWh/(m <sup>2</sup> .dia) | Quilowatt por metro quadrado por dia                             |
| kWh/m <sup>2</sup> /ano   | Quilowatt por metro quadrado por ano                             |
| kWp                       | QuiloWatt pico                                                   |
| MW                        | MegaWatts                                                        |
| MWp                       | MegaWatt pico                                                    |
| NBR                       | Norma Brasileira Regulamentadora                                 |
| PCHs                      | Pequenas Centrais Hidrelétricas                                  |
| TD                        | Taxa de desempenho (do inglês PR - <i>Performance Ratio</i> )    |
| UC                        | Unidade Consumidora                                              |
| W/m <sup>2</sup>          | Watt por metro quadrado,                                         |
| Wh/m <sup>2</sup>         | Watt-hora por metro quadrado                                     |

## SUMÁRIO

|                                                                                     |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....</b>                                                 | <b>13</b> |
| 1.1 - MOTIVAÇÕES .....                                                              | 19        |
| 1.2 - OBJETIVOS .....                                                               | 20        |
| 1.2.1 – Objetivo Geral .....                                                        | 20        |
| 1.2.2 – Objetivos Específicos .....                                                 | 20        |
| 1.3 – ESTRUTURA DO TRABALHO.....                                                    | 21        |
| <b>CAPÍTULO 2 – REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>                                       | <b>22</b> |
| 2.1 – ENERGIA SOLAR .....                                                           | 22        |
| 2.2 – EFEITOS DO ACÚMULO DE SUJEIRO EM MÓDULOS FVS.....                             | 25        |
| 2.3 – ANÁLISE DOS TIPOS DE LIMPEZA .....                                            | 27        |
| 2.4 – NORMAS E REQUISITOS DE SEGURANÇA APLICADOS PARA<br>INSTALAÇÕES DE SFCRS ..... | 31        |
| <b>CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA .....</b>                                               | <b>34</b> |
| 3.1 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....                                                  | 34        |
| 3.2 – DESCRIÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO .....                                            | 34        |
| 3.2 – ANÁLISE DE DESEMPENHO.....                                                    | 38        |
| 3.2.1 – Produtividade .....                                                         | 38        |
| 3.2.2 – Taxa de Desempenho .....                                                    | 38        |
| 3.2.3 – Ganho de Geração.....                                                       | 39        |
| 3.3 – RADIAÇÃO E CLIMA NO LOCAL DE ESTUDO .....                                     | 39        |
| 3.3 – ANÁLISE ECONOMICA SIMPLIFICADA .....                                          | 41        |
| 3.4 – LEVANTAMENTOS DE DADOS .....                                                  | 42        |
| <b>CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>                                    | <b>45</b> |
| 4.1 – GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR NOS BLOCOS 400 E 500 .....                           | 45        |
| <b>CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>                                       | <b>58</b> |
| 5.1 – SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....                                        | 59        |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>                                              | <b>60</b> |

## **CAPÍTULO 1**

### **INTRODUÇÃO**

O mercado de energia solar fotovoltaica quebrou vários recordes em 2017, com expansão global de aproximadamente 100 GW de potência instalada. Grande parte desse crescimento se deve a principalmente ao mercado asiático. Somente na China, a capacidade instalada representou mais da metade de toda a capacidade instalada no ano de 2017, isto é, cerca de 53 GW instalados no presente ano, contra 34,45 GW instalados em 2016.

A China lidera o mercado fotovoltaico no mundo, mas outros mercados asiáticos também confirmam a sua presença como a Coreia do Sul (1,2 GW), Austrália (1,25 GW), Tailândia (251 MW), Paquistão (800 MW) e Taiwan (523 MW), em desenvolvimento.

Nas Américas, o mercado norte Americano sofreu uma queda na capacidade instalada no ano de 2017. Reduzindo sua participação de 14,7 GW no ano de 2016, para 10,6 GW em 2017. O decréscimo Norte Americano foi compensado pelo Brasil que instalou cerca de 910 MW em 2017, acompanhado pelo Chile com instalação de 670 MW, o Canadá e México com instalações de 212 MW e 150 MW respectivamente (IEA, 2018).

A Figura 1 apresenta os 10 países com maiores investimentos em instalações de usinas fotovoltaicas em 2017 (lado esquerdo), bem como, os 10 países com maior capacidade instalada acumulada até o ano de 2017 (lado direito).

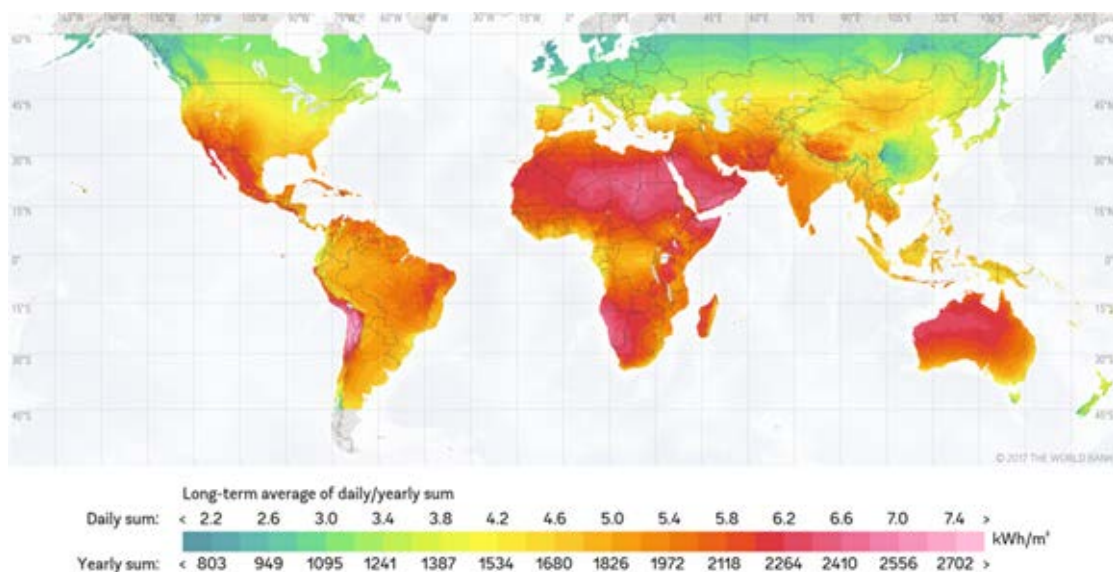
|    |                                                                                   |           |         |    |                                                                                   |           |         |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------|---------|----|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------|---------|
| 1  |  | China     | 53 GW   | 1  |  | China     | 131 GW  |
| 2  |  | USA       | 10,6 GW | 2  |  | USA       | 51 GW   |
| 3  |  | India     | 9,1 GW  | 3  |  | Japan     | 49 GW   |
| 4  |  | Japan     | 7 GW    | 4  |  | Germany   | 42 GW   |
| 5  |  | Turkey    | 2,6 GW  | 5  |  | Italy     | 19,7 GW |
| 6  |  | Germany   | 1,8 GW  | 6  |  | India     | 18,3 GW |
| 7  |  | Australia | 1,25 GW | 7  |  | UK        | 12,7 GW |
| 8  |  | Korea     | 1,2 GW  | 8  |  | France    | 8 GW    |
| 9  |  | UK        | 0,9 GW  | 9  |  | Australia | 7,2 GW  |
| 10 |  | Brazil    | 0,9 GW  | 10 |  | Spain     | 5,6 GW  |

**Figura 1 – 10 maiores Países em instalações e capacidade total instalada (IEA, 2018)**

O mercado fotovoltaico tem tendência a crescer graças aos Tigres Asiáticos, e com os altos investimentos, o mesmo tende a competir fortemente com as fontes nucleares e de combustíveis fósseis.

Com a queda dos preços dos sistemas fotovoltaicos vários países estão planejando projetos de energia fotovoltaica pelo mundo. No ano de 2017 o total do investimento Global com energia solar chegou a US\$160,8 bilhões, com aumento de cerca de 38% da capacidade instalada no mundo inteiro. (PEREIRA, 2017)

É possível observar pela Figura 2 o potencial energético mundial com destaque para o continente Africano e Oceania com os maiores potenciais de radiação solar (PEREIRA, 2017).



**Figura 2 – Radiação Global no plano Horizontal (kWh/m²) (GLOBALSOLARATLAS, 2018)**

O potencial energético brasileiro é bem elevado graças a sua localização, estando atrás apenas do continente Africano e da Oceania.

O pior índice de radiação solar brasileira (por volta de 4.6 kWh/m<sup>2</sup>) é maior ou igual que o melhor índice de radiação em toda a Europa (entre 4.6 e 5.0 kWh/m<sup>2</sup>) (GLOBALSOLARATLAS, 2018). Comparados com a Europa, a menor radiação brasileira é cerca de 1500 kWh/m<sup>2</sup> em média no período de um ano na região norte de Santa Catarina e a maior irradiação encontra-se na região nordeste, mais especificamente ao norte do estado da Bahia com médias de 2350 kWh/m<sup>2</sup> (PEREIRA, 2017). A Figura 3 mostra os níveis de radiação incidente no Brasil por região.



Figura 3 – Níveis de radiação por Região (PEREIRA, 2017).

No entanto, apesar do grande potencial de radiação solar disponível no país, a participação das usinas solar fotovoltaicas representa menos de 1% da participação na matriz energética. No Brasil, segundo dados registrados no banco de informações de geração (BIG) da ANEEL, até Junho de 2018, cerca de 60 % da energia elétrica é gerada por meio de grandes centrais hidrelétricas (ANEEL, 2018a).

Apesar da pequena participação da energia solar no país, pela primeira vez

na história, o Brasil se encontra entre os 10 países que mais investiram nesta tecnologia no ano de 2017.

Esse crescimento se deve principalmente, graças aos primeiros leilões de energia realizados pelo governo federal para contratar usinas de geração solar fotovoltaicas, em 2014 e 2015, bem como à redução do custo dos sistemas de geração fotovoltaica em cerca de 80%. (ABSOLAR, 2018)

A Tabela 1 apresenta a matriz de energia elétrica no país até Julho de 2018.

**Tabela 1 – Matriz de Energia Elétrica Brasileira (ANEEL, 2018a)**

| <b>Tipo</b>                      | <b>Quant.</b> | <b>Potência Outorgada (kW)</b> | <b>Potencia Fiscalizada (kW)</b> | <b>%</b>    |
|----------------------------------|---------------|--------------------------------|----------------------------------|-------------|
| Central Geradora Hidrelétrica    | 685           | 671.573                        | 670.919                          | 0,42        |
| Central Geradora Undi-Elétrica   | 1             | 50                             | 50                               | 0           |
| Central Geradora Eólica          | 536           | 13.158.039                     | 13.135.243                       | 8,21        |
| Pequena Central Hidrelétrica     | 426           | 5.103.119                      | 5.075.853                        | 3,17        |
| Central Geradora Solar Fotovolt. | <b>2.234</b>  | <b>1.306.522</b>               | <b>1.306.522</b>                 | <b>0,82</b> |
| Usina Hidrelétrica               | 220           | 101.897.047                    | 96.405.579                       | 60,27       |
| Usina Termelétrica               | 3.005         | 43.107.242                     | 41.373.989                       | 25,87       |
| Usina Termonuclear               | 2             | 1.990.000                      | 1.990.000                        | 1,24        |
| <b>TOTAL</b>                     | <b>7.109</b>  | <b>167.233.592</b>             | <b>159.958.155</b>               | <b>100</b>  |

O governo brasileiro está investindo em novos empreendimentos através de leilões de energia e de crédito do BNDES para financiar projetos fotovoltaicos, o que está gerando forte interesse no mercado.

Na Geração Distribuída (GD), até Junho de 2018 a capacidade instalada de micro e minigeração solar fotovoltaica é de cerca de 309 MW em residências, comércios, indústria, propriedades rurais e prédios públicos, totalizando mais de 32 mil unidades consumidoras com geração distribuída (ANEEL, 2018b). Houve um acréscimo significativo nos últimos anos na GD no país, sendo que, no início de 2017, havia apenas 7 mil unidades consumidoras com sistemas instalados.

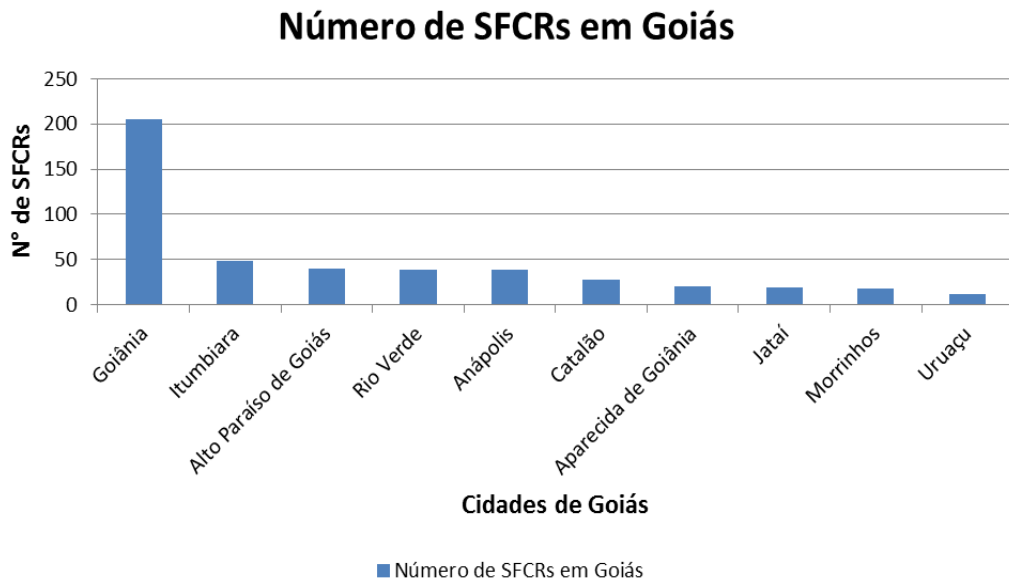
Ainda, de acordo com dados ANEEL até Junho de 2018, cerca de 760 unidades consumidoras possuíam micro ou minigeração solar fotovoltaica no estado de Goiás, alcançando mais de 10 MW de potência instalada encontrando-se como o oitavo estado brasileiro com maior potência instalada até a presente data (ANEEL,

2018b).

As 10 cidades com maior potência instalada no estado de Goiás assim como as cidades com maior número de sistemas pode ser vistos nos Gráficos 1 e 2 a seguir.



**Gráfico 1 – 10 maiores Potências instaladas em Goiás (ANEEL, 06/2018)**



**Gráfico 2 – Maior número de SFCRs Instalados em Goiás (ANEEL, 06/2018)**

Este número não para de crescer, muitos desafios e questionamentos ainda necessitam ser respondidos. Apesar das inúmeras vantagens atreladas aos sistemas fotovoltaicos, são necessários estudos relacionados aos fatores que

garantam a qualidade e eficiência dos sistemas fotovoltaicos de forma a incentivar o investimento nessa tecnologia, que além de ser uma energia sustentável (limpa, econômica e não causa impactos sociais), também possui reservas praticamente ilimitadas de energia.

Os investimentos na área fotovoltaica estão crescendo rapidamente e com eles a necessidade de aprimoramento e estudos acerca desta tecnologia que se mostra cada vez mais, parte da realidade mundial.

Com o grande número de investimentos vem sendo cada vez mais discutido sobre o desempenho da energia fotovoltaica, visando identificar medidas com o potencial de promover melhorias para a tecnologia. (COSTA e DINIZ, 2018).

A instalação dos sistemas fotovoltaicos para se obter rendimento ideal é ditada basicamente pela sua localização geográfica (latitude e longitude) e o projeto de instalação (inclinação, orientação e altitude) para maximizar a exposição a radiação solar. Uma vez que estes parâmetros são determinados, existem outros fatores que surgem influenciando na determinação do desempenho dos sistemas fotovoltaicos. (MANI e PILLAI, 2010).

Apesar da confiabilidade técnica, os sistemas fotovoltaicos ainda apresentam pouca informação relacionada à análise de seu desempenho e como em todo sistema real existem fatores que reduzem a eficiência do sistema.

Portanto fazem-se necessárias pesquisas que auxiliem na operacionalidade dos sistemas, na análise dos fatores que reduzem a eficiência, um destes fatores são os índices de sujeira, custos e benefícios da frequência de limpezas periódicas (RYAN, 1989).

O acúmulo de sujeira, incidente nos módulos, causa uma redução significativa na absorção da radiação solar, vários estudos apontam que estes valores podem reduzir até 30% da geração. (GOSTEIN e DUNN, 2013).

Estes acúmulos de impurezas implicam em deixar de economizar, podendo aumentar o tempo do retorno do investimento do projeto fotovoltaico (ASTRA SOLAR, 2018).

Porém, em cada sistema existem diferentes tipos de atenuações devido aos diferentes tipos de localização nos quais podem ser instalados os sistemas e também aos diversos tipos de clima de cada região, poluição do local, vegetação, detritos de animais e tipos de partículas de solo como areia, silte ou argila (DARWISH, 2015).

Portanto, cada sistema fotovoltaico possui reduções características de onde se encontram, a serem analisadas e quantificadas que exigem maiores ou menores cuidados.

Ainda existe uma carência de conhecimento muito grande em relação aos efeitos da sujeira nos sistemas fotovoltaicos ao redor do globo, sendo destes estudos a maioria para usinas de grande porte em ambientes com alta concentração de poeira e areia. (REZENDE e ZILLES, 2018).

A avaliação dos recursos naturais da região como vegetação, clima, índices de radiação são importantes para se obter o maior rendimento do sistema fotovoltaico possível e elevar ainda mais a economia do mesmo, que é o principal ponto de interesse de investidores na área. (ALSOL, 2018).

Neste trabalho de conclusão de curso, um sistema solar fotovoltaico conectado à rede - SFCR, instalados no Instituto Federal de Goiás, campus Itumbiara, foi utilizado para avaliar a influência da sujeira dos módulos fotovoltaicos no desempenho energético do sistema. O SFCR instalado no campus é composto por quatro subsistemas, sendo que, estes subsistemas diferenciados apenas em relação à limpeza a fim de quantificar a redução de eficiência da geração solar fotovoltaica frente à sujeira da região.

## **1.1 MOTIVAÇÕES**

No Instituto Federal de Goiás campus Itumbiara, foi instalado um sistema fotovoltaico conectado à rede de 70,2 kWp de potência total, composto por quatro subsistemas, sendo três de 21,6 kWp e um de 5,4 kWp.

A instalação ocorreu no segundo semestre de 2017 tendo sua conexão com a rede elétrica no início do mês de novembro do mesmo ano.

Como todo sistema de energia solar, é necessária à incidência de luz solar nos módulos fotovoltaicos, sendo assim, estes em sua grande maioria fica ao ar livre para que se obtenha o maior contato com a radiação solar e proporcionar uma melhor geração de energia, entretanto os sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFCRs) também ficam expostos a partículas de sujeira que são trazidas pelo vento ou por animais.

A medição da potência energética desenvolvida pelo SFCR torna-se necessária para analisar a quantidade de energia que está sendo deixada de gerar

devido às partículas de sujeira.

Este estudo é importante para conhecer melhor o problema, assim como quantificar os ganhos para o cliente ou para a empresa que possam vir a realizar os serviços de limpeza no setor de geração fotovoltaica.

## **1.2 OBJETIVOS**

O SFCR instalado no IFG campus Itumbiara foi dividido em quatro subsistemas, como já informado, destes sistemas, apenas dois foram utilizados para este estudo, sendo eles, os subsistemas instalados nos blocos 400 e 500.

Estes dois subsistemas, possuem capacidade instalada de 21,6 kWp, com as mesmas características técnicas e de instalação física e se encontram sobre as mesmas condições de irradiação solar, climáticas e ambientais. A única diferença entre eles é que um dos blocos teve limpezas programadas durante o período de estudo (bloco 500) e o outro sem nenhuma interferência desde a sua instalação (Bloco 400).

Por meio da diferença de potência originada pelos sistemas instalados em cada bloco, propôs-se analisar em valores reais a quantidade que deixou de ser produzida.

### **1.2.1 Objetivo Geral**

Avaliar o desempenho dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFCRs) na região Sul de Goiás considerando o acúmulo de sujeira sobre os módulos fotovoltaicos.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Estudar os sistemas fotovoltaicos conectados a rede e seus componentes.
- Realizar a coleta de dados de produção de energia e de radiação solar do sistema instalado no campus IFG Itumbiara.
- Analisar o desempenho por meio de índices de mérito técnico (Produtividade, taxa de desempenho, ganho de geração).
- Análise econômica simplificada das perdas de eficiência devido à sujeira.

### 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Para alcançar os objetivos expostos, este trabalho foi organizado na forma de capítulos:

**Capítulo 2 - Referencial Teórico:** faz uma contextualização teórica sobre o tema, destacando itens como energia solar, efeitos do acúmulo de sujeira nos módulos, tipos de sujeira, tipos de limpeza e normas e requisitos de segurança aplicados para instalações fotovoltaicas.

**Capítulo 3 – Metodologia:** traz os detalhes sobre o sistema fotovoltaico do IFG campus Itumbiara bem como os métodos utilizados para avaliar o desempenho dos SFCRs.

Também é apresentada a análise econômica simplificada utilizada para avaliar as perdas econômicas e custos envolvidos para manutenções dos SFCRs.

**Capítulo 4 – Resultados e Discussões:** São apresentados os dados coletados dos sistemas instalados no campus do IFG, com e sem limpezas programadas, assim como os resultados das análises de desempenho desses sistemas.

O capítulo ainda apresenta as análises econômicas das perdas de eficiência por sujidade devido as manutenções periódica dos SFCRs para região sul de Goiás.

**Capítulo 5 – Conclusão:** as conclusões e considerações do trabalho são apresentadas, juntamente com as propostas de estudos e trabalhos futuros.

## CAPÍTULO 2

### REFERENCIAL TEÓRICO

#### 2.1 ENERGIA SOLAR

A energia solar é obtida através da radiação do sol convertida em eletricidade através de materiais semicondutores, este fenômeno ficou conhecido como efeito Fotovoltaico e começou a ser estudado em 1839 pelo físico francês Edmund Becquerel (PINHO e GALDINO, 2014).

O Sol é uma fonte primária de energia, inesgotável no ponto de vista humano de tempo. Ele é o responsável direto pela origem de diversas fontes de energia no planeta Terra (PINHO e GALDINO, 2014).

Na Figura 4 é apresentada a quantidade dos recursos energéticos renováveis e não renováveis que se encontra na Terra, o tamanho da esfera simboliza a quantidade de energia.

O sol é uma excelente fonte de energia, segundo o CRESESB, por ano ele chega a fornecer  $1,5 \times 10^{18}$  kW/h de energia, o que corresponde a 10.000 vezes o valor do consumo mundial de energia neste mesmo período (CRESESB, 2018)

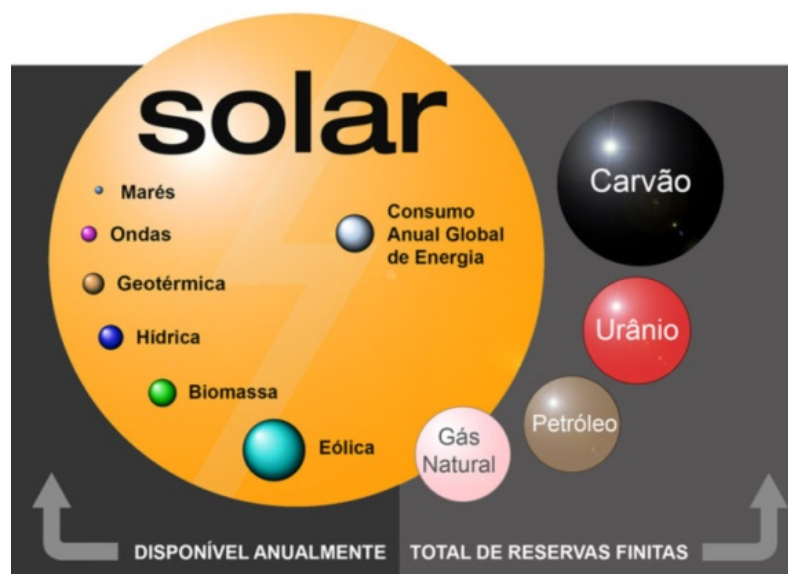
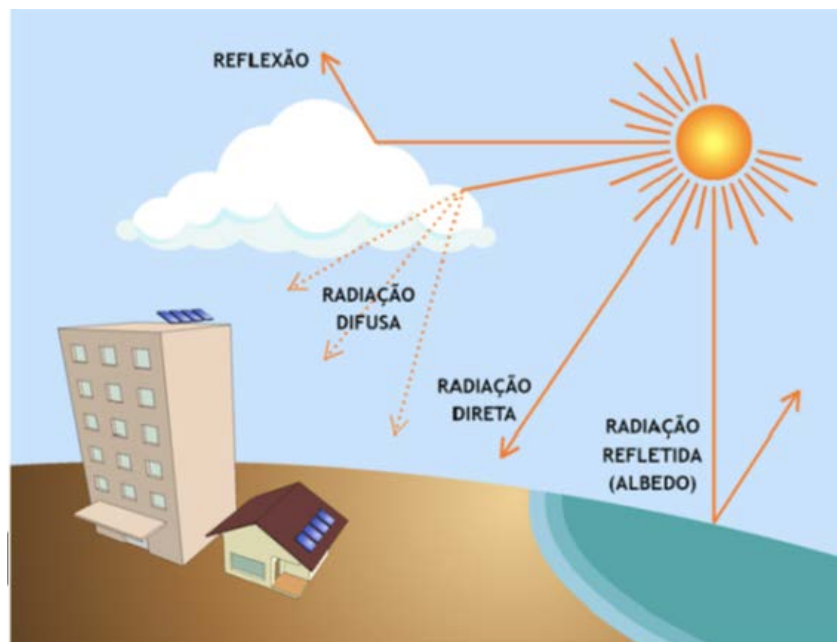


Figura 4 – Fontes com Potencial Energético (COMPASSO SOLAR, 2018)

Realizando uma análise quantitativa dos recursos disponíveis em forma de eletricidade, energia química ou calor em um mesmo período, sabe-se que a energia de origem solar é a mais rica em nosso planeta, porém ainda pouco explorado.

A radiação solar é dividida em três partes: Direta, Difusa e Albedo, como são indicadas na Figura 5.



**Figura 5 – Tipos de Radiação (VIANA, 2010)**

A radiação direta, como o próprio nome diz, é a que chega diretamente ao solo. A radiação difusa é a que sofreu algum tipo de desvio e chega indiretamente ao solo como por espalhamento pela atmosfera, ou pelo vapor d'água e até mesmo através da poeira. Enquanto a radiação refletida ou albedo é a resultante da reflexão em superfícies inclinadas no entorno e é considerada quando se calcula a radiação no plano inclinado.

Contudo, há uma parte de toda essa radiação que não chega à superfície da Terra. A atmosfera terrestre diminui os valores desta radiação através de reflexão, absorção e espalhamento. (PINHO e GALDINO, 2014).

O acúmulo de partículas de sujeiras, presentes no meio, próximo à superfície dos módulos fotovoltaicos resultam em um acréscimo dos índices de sujeidade e

consequentemente em um alargamento dos prejuízos de produtividade dos sistemas fotovoltaicos.

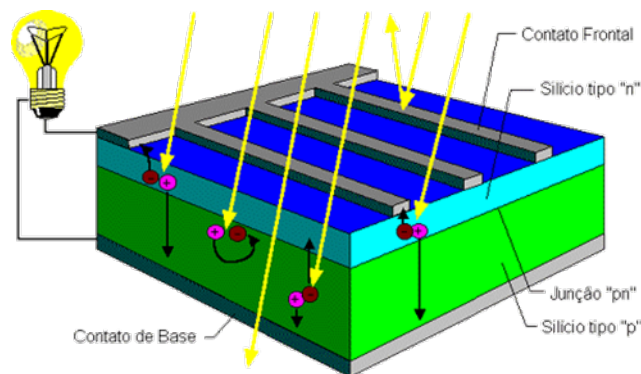
A acumulação de sujeira nos módulos fotovoltaicos promove um efeito de barreira para a circulação dos fótons afetando a produtividade dos sistemas fotovoltaicos à medida que está se estende.

Em módulos lisos a sujeira se apresenta mais uniforme diferentemente do que ocorre em módulos com vidros texturizados, que exibem grande variação na distribuição das partículas de sujeira podendo apresentar pontos com menor transmitância do que outros num mesmo módulo (SAMPLE, 2016).

A conversão dessa radiação solar em energia elétrica ocorre por meio do efeito fotoelétrico, que consistem na aparição de uma diferença de potência em um material semiconductor quando este recebe a incidência de luz solar. (CAVALCANTE e TAVALARO, 2002).

Na área fotovoltaica o silício é o elemento mais empregado. Os átomos deste elemento são caracterizados por possuírem quatro elétrons que se acoplam aos elétrons adjacentes formando um tipo de rede cristalina.

A Figura 6 ilustra este funcionamento.



**Figura 6 – Corte Transversal de uma célula Fotovoltaica (CRESESB, 2018)**

Um módulo fotovoltaico é a junção de várias células fotovoltaicas conectadas eletricamente e reguladas para suportar a exposição ao ambiente onde estarão expostas. Os módulos são especificados pela potência nominal que é a potência gerada sob as condições-padrão de referência de ensaios, do inglês, STC - *Standard Test Conditions*. (VIANA, 2010).

As células são conectadas em arranjos de séries e paralelos formando um módulo fotovoltaico, estes módulos são associados formando assim um painel ou arranjo fotovoltaico adquirindo a potência de geração desejada. (URBANETZ, 2010).

O procedimento de organização em camadas é chamado de encapsulamento, os materiais usados para o processo são vidro temperado de alta resistência, as células, EVA estabilizado, e um filme isolante.

Concluído o processo, coloca-se uma estrutura de alumínio anodizado em volta do encapsulamento, além das caixas de conexões elétricas e está pronta a estrutura das células assim como indica a Figura 7. (PINHO e GALDINO, 2014).

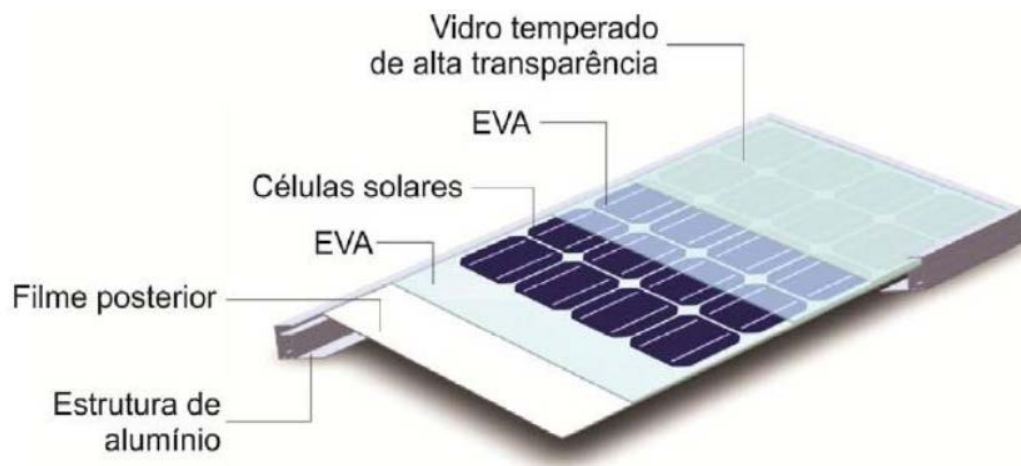


Figura 7 – Estrutura das Células Fotovoltaicas (PINHO E GALDINO, 2014).

## 2.2 EFEITOS DO ACÚMULO DE SUJEIRA EM MÓDULOS FVs

Os sistemas SFCR assim como qualquer outro sistema elétrico possuem fatores que reduzem a geração de energia e que diminuem o rendimento da instalação, (ABINEE, 2012).

Diversos autores, relacionam estas reduções na geração energética dos sistemas fotovoltaicos como perdas de produtividade. (LEMOS, 2016; HICKEL, 2016; LONGO, 2015; REZENDE e ZILLES, 2018; ARAÚJO e RANK, 2016). Entre os diversos fatores que reduzem a eficácia do sistema fotovoltaico, podem citar:

- Altas temperaturas de trabalho nas células fotovoltaicas (acima do valor em condições de teste padrão – STC, isto é, 25 °C);
- A conversão de energia dos inversores;

- Quedas de tensão no cabeamento das instalações;
- Diferenças de fabricação dos módulos, (módulos de um mesmo modelo, com mesma potência e de um mesmo fabricante podem apresentar pequenas diferenças, o que gera perdas de desacoplamento);
- Sombreamentos do dia-a-dia nos módulos de produção;
- Acúmulo de partículas de poeira ou sujeira nos módulos, reduzindo a eficiência de geração;

Neste trabalho de conclusão de curso buscou-se realizar uma análise do desempenho do SFCR na região Sul de Goiás com relação ao acúmulo de sujeira nos módulos fotovoltaicos em condições reais de trabalho.

Desta forma deve-se levar em conta que o mesmo engloba uma variedade de elementos que juntos promovem uma redução na geração de energia elétrica em sistemas fotovoltaicos.

Os elementos encontrados em superfícies de módulos fotovoltaicos comumente dependem da região onde se encontram, mas basicamente são partículas de solo (argila, silte e areia), cimento, cinzas, carbono, limonita, sílica, carbonato de cálcio, fungos, fezes de pássaros, lama, poluição em geral e materiais grosseiros.

Pode haver também outros componentes de sujeira incomuns como metais pesados, neve em regiões propensas e seiva de árvore (DARWISH, 2015).

Um dos principais problemas que afetam o desempenho dos sistemas fotovoltaicos é a sujeira animal e vegetal. Este material orgânico bloqueia a incidência da luz solar na célula gerando pequenas sombras dessa forma as áreas afetadas permanecem desta maneira até que seja realizada uma limpeza, esta sujeira afeta toda a geração do sistema, pois o sistema se encontra em série com outros módulos fotovoltaicos, sendo assim se a corrente de um módulo diminuir a corrente de todo o arranjo será diminuída, reduzindo a potência gerada (APPELS, 2012).

De acordo com um estudo realizado por Hammond em Phoenix, Arizona, foi detectado que a sujeira de pássaros é mais severa que a da poeira (HAMMOND, 1997).

Próximo ao IFG campus Itumbiara também existe uma área com um grande número de Mangueiras, o que atrai vários animais principalmente pássaros que por

sua vez são agentes de grande impacto na sujeira para com os módulos assim como mostra a Figura 8.

Dentro das espécies de pássaros, a mais comum na região são os pombos sendo estes animais causadores de uma quantidade excessiva de sujeira.

Outro agente são as próprias plantas da região que através do vento espalham detritos sobre os módulos, como pequenos grãos, folhas secas, gravetos ou sementes que são trazidos pelo vento ou até mesmo por animais.



**Figura 8 – Sujeira observada nos Módulos no IFG (BLOCO 500) (Arquivo Pessoal)**

Por meio de uma simples estratificação do solo ou mesmo por observação, pode-se verificar que a parte predominante do solo na localização do campus é composta por argila, uma terra avermelhada.

Há também partículas de areia provinda de construções residenciais ou da “prainha” nome dado pela população a uma praia local próxima ao rio Paranaíba que possui grandes quantidades de areia que por sua vez não fica muito longe do IFG e também influencia na sujeira dos módulos.

### **2.3 ANÁLISE DOS TIPOS DE LIMPEZA**

Os tipos e horários de limpeza dependem do local de instalação, clima, vegetação e da concentração de poeira atmosférica.

Segundo Sayigh, se o sistema se encontrasse instalado em Riad, Arábia

Saudita a limpeza deveria ser executada a cada três dias para obter resultados satisfatórios (SAYIGH, 1978).

Cada região tem seu próprio cronograma de limpeza como, por exemplo, em zonas tropicais secas na faixa de latitude entre 15 e 25 nos hemisférios norte e sul possuem raras precipitações e inúmeros eventos de poeira, portanto exigem programas de limpeza semanais.

Porém, em regiões de baixa latitude onde a precipitação anual é significativa a limpeza natural pela chuva periodicamente já reduz bastante as perdas de eficiência por sujeira (MANI e PILLAI, 2010).

A chuva é considerada o agente natural mais eficiente para remover partículas de sujeira das superfícies das células fotovoltaicas. Nas cidades de Leuven, na Bélgica e Bern, na Suíça, demonstraram os efeitos significativos que a chuva realiza na superfície dos painéis, para estas regiões a manutenção regular manual se provou desnecessária (HAEBERLIN e GRAF, 1998, RYAN, 1989).

As frequentes chuvas nestes locais são bem distribuídas ao longo do ano, para coletores com rastreamento solar do inglês, "*sun tracking*" a angulação do coletor ajuda a chuva a limpar de maneira mais eficiente.

Para posições praticamente horizontais, chuvas leves, que podem incluir saís em maior ou menor quantidade, geralmente deixam indesejáveis manchas de água após algum período de tempo de exposição, estes pontos deixam resíduos formando camadas mais espessas de sujeira que não são removidas naturalmente.

Como dito anteriormente, esta camada de sujeira formada pela chuva deve ser imediatamente limpa, pois chuvas leves fazem o desempenho reduzir (BETHEA, 1981).

O vento também possui influência no desempenho dos coletores solares, ele é a principal fonte de transporte de partículas de sujeira, mas o lado positivo é que o vento também pode reduzir o empoeiramento dos módulos removendo partículas maiores de poeira da superfície.

Além da temperatura dos módulos diminuir à medida que a velocidade do vento aumenta, aumenta a eficiência do sistema, alta velocidade do vento também reduz a umidade relativa do ambiente, garantindo essa maior eficiência das células (MEKHILEF, 2012).

Maiores velocidades do vento também ajudam a secar as camadas de umidade formada entre as partículas de poeira e a superfície do coletor, fazendo

assim com que diminua a aderência da poeira com a superfície das células, como foi notado por Cuddihv na década de 80.

Entretanto o efeito de limpeza do vento não é efetivo para partículas muito pequenas, pois estas partículas aderem à superfície e resistem à força dos ventos, mesmo com velocidades do vento acima de 50 m/s (CUDDIHV, 1986).

Geralmente, maiores velocidades de vento vão depositar mais sujeira nos módulos em um ambiente empoeirado. O estudo realizado por Goossens mostrou os efeitos da concentração de poeira e o desempenho da velocidade do vento nos módulos e concluiu que a relação da direção do vento e a posição do coletor são cruciais para o impacto do acúmulo de sujeira (GOOSSENS e KERSCHAEVER, 1999).

A limpeza manual com água, geralmente misturada com detergente, seguida pela limpeza com um pano macio é a prática mais comum para limpeza de sistemas fotovoltaicos de pequena escala (MOHAMED e HASAN, 2012).

No entanto para usinas de larga escala já são necessários jatos pressurizados de água seguida de escovação como foi constatado em muitas pesquisas (EL-NASHAR, 1994. PAVAN, 2011. KIMBER, 2007).

Isto é considerado um dos métodos mais efetivos no combate das partículas de sujeira, pois é menos agressivo a superfície do coletor, é econômico e tem menos impactos ambientais.

A efetividade de escovar após lavar foi demonstrada por Pavan, no estudo do sistema de 1 MWp da planta de Puglia na Itália, os módulos foram limpos usando jatos de alta pressão com água destilada, onde alguns dos painéis da planta foram escovados após a limpeza e outros não.

Aquisição de dados realizada antes e depois de eventos de limpeza seguidas de escovações mostraram que o procedimento aumenta a potência de saída da instalação em cerca de 7% em oposição aos 1% sem a escovações, a primeira razão para o aumento da eficiência é que muitas das pequenas partículas saiam apenas com a escovação (PAVAN, 2011).

Porém, escovar em excesso a superfície dos módulos pode degradar ou até danificar o desempenho do sistema, o que pode ser mais danoso a sistemas com coletores concentrados.

Freese conclui que o processo de escovação dos painéis deve ser procedido com o máximo de cautela e delicadeza para não acarretar problemas com os

módulos e ter o máximo de eficiência (FREESE, 1979)

Alguns métodos diferentes utilizando detergente foram testados no centro de pesquisas da NASA. O método utilizado foi usar um detergente chamado Alconox, juntamente com panos, seguidos por uma lavagem utilizando a água e por fim secado (GAIER, 1991).

Outro local a realizar o teste foi o laboratório de propulsão a jato, onde um detergente a base de água, do inglês “*water-based*”, foi aplicado juntamente com uma esponja e seguiu o procedimento dos demais, enxaguar e depois deixar secar, este método também se provou efetivo (HOFFMAN e MAAG, 1980).

O procedimento de limpeza dos sistemas fotovoltaicos dependem de mão de obra, água e produtos de limpeza, as vezes combinados porém não necessariamente, sendo a água a maior parte dos custos da limpeza.

Existem tentativas de usar sistemas controlados para realizar o procedimento de limpeza automaticamente e minimizar o uso de água e manter a eficiência do sistema em um nível aceitável.

Para um experimento de aumentar a energia gerada pelos SFCRs foi criado dois sistemas ambos com sistema de rastreamento solar do inglês *solar tracking*, porém, somente um com um mecanismo de limpeza, desenvolvido e testado por Tejwani e Solanki no ano de 2010.

No sistema com limpeza, sempre que a superfície do módulo ficava perpendicular ao solo, uma escova montada em uma haste desliza pelo sistema girando e seguindo um caminho descendente devido à gravidade limpando-o. Esta configuração costuma limpar o sistema duas vezes ao dia.

Ao se comparar a eficiência de ambos os sistemas foi constatado que aquele com sistema de limpeza, apresentava um aumento de 15% de produtividade, quando comparado ao sem limpeza (TEJWANI e SOLANKI, 2010).

Em sistemas fotovoltaicos instalados em torres nos Emirados Árabes, foram instalados dois tipos de controles, um por CLP (controlador lógico programável) e o outro através de micro-controladores.

Estes dois sistemas, estudados por Lamont e Chaar em 2011, tinham por objetivo manter as aves longe dos arranjos fotovoltaica sendo uma boa parte da sujeira nas torres causada por excrementos de pássaros. Para o problema foram usados métodos de limpeza e escovagem nos módulos.

Embora tenham sido obtidos resultados satisfatórios para as instalações

fotovoltaicas de pequena escala, esses métodos ainda apresentam alguns desafios como preços e manutenção do sistema (LAMONT e CHAAR, 2011)

A proporção do sistema de limpeza para grandes plantas fotovoltaicas, quantidades significativas de água e consequente evaporação a altas temperaturas ambiente, além da não uniformidade do fluxo de água nas secções inferiores dos módulos são outros desafios destes métodos.

Há também sistemas utilizando robôs para limpar a superfície dos módulos apesar de reduzirem o consumo de água, aumentam o preço das instalações e das manutenções (JU e FU, 2011).

Os SFCRs que recebiam a limpeza dos robôs tinham um aumento na produção comparado aos demais, porém o consumo de energia utilizado pelos motores também aumentava no período.

Para plantas solares onde há muita poeira, sistemas de limpeza que não necessitam de água são os mais desejáveis.

Mas a maioria dos processos aplicados utilizam dados mecânicos complexos e mecanismos motorizados, o que ainda não estão bem estabelecidos como econômicos ou confiáveis.

De modo geral, é difícil ou impraticável ter uma equipe técnica disponível apenas para manter a operação dos sistemas de limpeza automáticos, particularmente em instalações independentes em áreas remotas.

Métodos emergentes de limpeza automática utilizando telas eletrodinâmicas são alternativas promissoras para limpeza de coletores solares com custo operacional mínimo, mas estes processos ainda estão em desenvolvimento para aplicações comerciais.

Existem também outros tipos de limpeza que estão sendo pesquisadas ainda recentemente com o intuito de melhorar a eficiência dos sistemas fotovoltaicos, mas ainda são métodos caros e difíceis de implementar.

## **2.4 NORMAS E REQUISITOS DE SEGURANÇA APLICADOS PARA INSTALAÇÕES DE SFCRS**

No projeto, na instalação e na realização da manutenção dos sistemas fotovoltaicos é necessário levar em consideração a segurança do trabalhador e, sendo assim, devem ser consideradas as normas técnicas e regulamentadoras de

segurança objetivando a segurança e a saúde dos trabalhadores direta ou indiretamente.

É conveniente salientar que as normas técnicas têm cunho de orientação e são publicadas pela sociedade civil com objetivo de definir conceitos, regras e padrões de determinada área ou seguimento. No Brasil, a entidade oficial que elabora normas técnicas é a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Já as normas de segurança são elaboradas, desenvolvidas e publicadas pelo Ministério do Trabalho e Emprego. Essas normas têm como objetivo determinar condições mínimas de segurança e saúde no trabalho, de acordo com as atividades laborais. (FLANDOLI, 2018).

Por se tratar de uma instalação elétrica de geração solar fotovoltaica a norma requerida é a NR-10, segurança em instalações e serviços em eletricidade, esta norma se aplica a geração, transmissão, distribuição e consumo, incluindo etapas de projeto, construção, montagem, operação, manutenção das instalações elétricas ou quaisquer trabalhos realizados nas suas proximidades.

Como previsto na norma NR-10, parágrafo 10.2.8, os equipamentos devem possuir certificações de proteções individuais e coletivas onde a coletiva consiste prioritariamente na desenergização elétrica ou emprego da tensão de segurança.

Caso não seja possível está desenergização, um aterramento deve ser executado conforme regulamentação dos órgãos competentes.

Em relação às medidas de proteção individual parágrafo 10.2.9, o uso de equipamentos de proteção individual (EPIs) é recomendado, onde as vestimentas devem ser adequadas às atividades devendo contemplar a condutibilidade, inflamabilidade e influências eletromagnéticas.

Como boa parte dos SFCRs são instalados em telhados, é recomendado que se leve em consideração a norma NR-35 para a realização da limpeza.

Segundo esta norma no parágrafo 35.1, o trabalho é considerado em altura se for uma atividade executada acima de 2,00 metros do nível inferior e há risco de quedas, sendo necessário treinamento para o trabalho, planejamento e organização.

Assim como a utilização dos devidos equipamentos de proteção individual (parágrafo 35.5), acessórios e sistemas de ancoragem, sendo que estes devem ser escolhidos levando em conta sua eficiência, a carga aplicada e o fator de segurança em caso de eventual queda, presando pela saúde daquele que realizam o serviço.

Outra norma que deve ser levada em consideração é a NR-21, pois em sua grande maioria os sistemas fotovoltaicos são instalados a céu aberto para que se obtenha o maior índice de radiação solar possível.

Esta ultima norma no parágrafo 21.2 exige medidas especiais que protejam os trabalhadores contra a insolação excessiva, o calor, o frio, a umidade e os ventos inconvenientes.

Alguns procedimentos devem ser realizados para com a manutenção dos módulos fotovoltaicos, são estes (LAU. 2017):

- Executar a inspeção visual dos painéis em primeiro lugar;
- Executar a manutenção nos períodos de baixa radiação solar e também menores temperaturas, como no início da manhã por volta de 8:00 horas ou no final da tarde por volta das 16:00;
- Realizar o desligamento do sistema de geração e verificar se o mesmo se encontra completamente desenergizado;
- Ter conhecimento do projeto da instalação e das certificações de proteção do sistema;
- Utilizar os devidos equipamentos de proteção individual;
- Utilizar água limpa e panos macios adequados para limpar painéis;
- Não pisar ou sentar-se nos módulos para sua limpeza;
- Bloquear e destacar todos os dispositivos de isolamento de energia;

## **CAPÍTULO 3**

### **METODOLOGIA**

#### **3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS**

Os SFCRs são caracterizados por serem sistemas com baixa necessidade de realização de serviços de manutenção periódica, no entanto, um dos aspectos importantes relacionadas a estes sistemas é a limpeza regular dos módulos FVs.

Avaliar a intensidade do acúmulo de sujeira sobre os módulos fotovoltaicos é um trabalho necessário para compreender e determinar a melhor forma de realizar a limpeza periódica desses sistemas, considerando os custos desse serviço, assim como os ganhos econômicos do aumento da eficiência devido a essa limpeza.

Há diversas métricas para avaliar o impacto da sujeira nos SFCRs, entre elas, a avaliação da taxa de desempenho dos sistemas em termos de produtividade de energia, é a que mais se aproxima ao valor real do sistema fotovoltaico (HICKEL, 2016).

Neste trabalho, foi utilizado a análise do desempenho de sistemas FVs reais instalados no IFG campus Itumbiara, localizado na região do sul do estado de Goiás, de forma a avaliar o impacto causado pelo acúmulo de sujeira nos módulos nestes sistemas.

#### **3.2 DESCRIÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO**

Para realizar a avaliação dos efeitos da sujeira nos SFCR, dois subsistemas que integram a microgeração solar fotovoltaica no IFG campus Itumbiara foram selecionados.

O SFCR instalado no Instituto Federal de Goiás se encontra no endereço Avenida Furnas, nº 55, Village Imperial, na cidade de Itumbiara – GO, segundo o Google Maps o campus se encontra no hemisfério sul nas seguintes coordenadas latitude ao sul 18.435391 e longitude ao oeste 49.212943.

A instalação foi realizada pela empresa MTEC-energia, seguindo as normas da NBR5410, NR10, RN 482/2012, RN 687/2015 e a NTC-71. A Tabela 2 mostra as normas utilizadas e suas definições.

**Tabela 2 – Normas Técnicas**

| <b>Normas técnicas</b> |                                                                                                 |
|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>NBR 5410</b>        | Instalação Elétrica de Baixa Tensão                                                             |
| <b>NR 10</b>           | Segurança em instalações e serviços em eletricidade                                             |
| <b>RN 482/2012</b>     | Resolução normativa para acesso à micro e mini geração, ANEEL.                                  |
| <b>RN 687/2015</b>     | Ampliação da RN 482/2012 para acesso à micro e mini geração, ANEEL.                             |
| <b>NTC-71</b>          | Requisitos para conexão de microgeradores e minigeradores ao sistema de distribuição da CELG-D. |

Tendo sua instalação iniciada na data de 05/09/2017, o SFCR foi conectado à rede no dia 02/11/2017, após substituição do medidor de energia pela concessionária ENEL.

A Figura 9 uma visão completa da área total do IFG campus Itumbiara, enquanto a Figura 10 indica o local onde os módulos fotovoltaicos foram instalados e divididos entre blocos 300, 400, 500 e o solo.



**Figura 9 - Imagem de Satélite do IFG Campus Itumbiara (Acervo Pessoal)**



**Figura 10 - Imagem dos Blocos, onde foram instalados os SFCRs (Acervo Pessoal)**

O SFCR possui 260 módulos de 270 Wp cada, com área 1,61 m<sup>2</sup> aproximadamente, totalizando 70,2 kWp de potência instalada total, distribuído entre quatro blocos os blocos 500, 400, 300 e o do solo.

Os blocos 500, 400 e 300 possuem quatro arranjos em paralelo, cada um com 20 módulos em série por arranjo, totalizando 80 módulos fotovoltaicos com potência total do arranjo de 21,6 kWp (80x270) de potência em cada um destes três blocos.

A Figura 11 ilustra os blocos 300, 400 e 500.



**Figura 11 – Foto do SFCR instalado no IFG Campus Itumbiara (Acervo Pessoal)**

O bloco referente ao solo apresenta 20 módulos divididos em dois arranjos com 10 módulos em série em cada totalizando 5,4 kWp (20 x 270 Wp) de potência total do arranjo.

Ambos os subsistemas instalados nos blocos 500 e 400 usam os inversores do mesmo fabricante (SMA modelo SUNNY TRIPOWER 20000TL). O subsistema instalado no bloco 300 utiliza o inversor do fabricante ABB (modelo TRIO-20.0-TL-OUTD). Os módulos fotovoltaicos são todos do mesmo fabricante Canadian Solar modelo CS6P-270P. Cada equipamento é apresentado na Figura 12.



**Figura 12 – Inversores SMA e ABB e Módulos Canadian Solar**

Na Tabela 3 apresenta o resumo do SFCR completo instalado IFG campus Itumbiara, mostrando a quantidade de módulos, os inversores utilizados e a capacidade nominal de cada bloco.

**Tabela 3 – Resumo SFCR do IFG Campus Itumbiara**

| <b>Localização</b> | <b>Nº de módulos</b> | <b>Modelo e Pot. Inversor</b> | <b>Potência Total (kWp)</b> |
|--------------------|----------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| Bloco 300          | 80                   | ABB<br>20 kW                  | 21,6                        |
| Bloco 400          | 80                   | SMA<br>20 kW                  | 21,6                        |
| Bloco 500          | 80                   | SMA<br>20 kW                  | 21,6                        |
| Solo               | 20                   | SMA<br>5 kW                   | 5,4                         |
| <b>Total</b>       | <b>260</b>           | <b>65 kW</b>                  | <b>70,2</b>                 |

### 3.3 ANÁLISE DE DESEMPENHO

As taxas de comportamento ou índices de mérito são avaliações que auxiliam nas análises, de forma característica, as peculiaridades de cada sistema fotovoltaico.

A atuação de um sistema fotovoltaico é verificada por meio de comparações entre os valores gerados de energia, a potência nominal da instalação e irradiação incidente sobre os módulos determinados através dos índices de mérito neste trabalho de conclusão de curso.

Os índices de mérito são produtividade, taxa de desempenho e ganho de geração e foram empregados nos dois subsistemas em estudo, instalados nos bloco 500 e 400 do campus Itumbiara. O subsistema do bloco 400 foi utilizado como padrão, isto é, mantido não limpo durante todo o tempo de análise, já o subsistema instalado no bloco 500 foi submetido a uma escala de limpeza periódica.

#### 3.3.1 Produtividade

Produtividade ou do inglês “*final yield*” ( $Y_f$ ), é um conceito essencial para a determinação do desempenho do sistema fotovoltaico.

Este conceito é dado pela relação entre a energia que foi de fato gerada pelo sistema fotovoltaico e a potência nominal do sistema, assim como na equação (1):

$$Y_f = \frac{E_g}{P_0} \quad (1)$$

Onde:

$Y_f$  = Produtividade (kWh/kW).

$P_0$  = Potência nominal do sistema (kW).

$E_g$  = Potência Gerada do sistema em um determinado período de tempo (kWh).

Esta relação apresenta o número de horas que o sistema deveria operar em sua potência nominal para produzir a mesma quantia de energia no período de tempo em análise (BENEDITO, 2009). Este conceito será usado para comparar o desempenho entre os subsistemas avaliados neste trabalho.

### 3.3.2 Taxa de desempenho

A taxa de desempenho ou do inglês *performance ratio* (PR) é o rendimento global do sistema fotovoltaico dado em porcentagem sendo definido como a relação entre o desempenho real do sistema e seu desempenho máximo teórico possível no período de tempo de análise (PINHO e GALDINO, 2014).

Este representa a real capacidade do sistema em transformar a energia solar incidente nos módulos em potência elétrica e pode ser determinada pela equação (2):

$$PR = \frac{Y_f}{\left(\frac{H_t}{G_{ref}}\right)} \quad (2)$$

Onde:

**PR** = Taxa de desempenho.

**Y<sub>f</sub>** = Produtividade (kWh/kW).

**H<sub>t</sub>** = Irradiação total no plano do arranjo fotovoltaico (kWh/m<sup>2</sup>).

**G<sub>ref</sub>** = Irradiância nas condições padrão que vale 1 kW/m<sup>2</sup> (kW/m<sup>2</sup>).

Este índice é muito útil, pois considera as reduções de eficiência na potência ocorridas no processo de conversão da radiação solar em potência elétrica. (BENEDITO, 2014).

### 3.3.3 Ganho de geração

De forma a analisar o ganho de geração que a limpeza dos módulos fornece aplica-se a equação (3) que proporciona o quanto o subsistema instalado no bloco 500 (limpo) gera a mais, comparado ao subsistema instalado no bloco 400 (sujo).

$$Gan = 100 \times \frac{(Eg1 - Eg2)}{Eg2} \quad (3)$$

Onde:

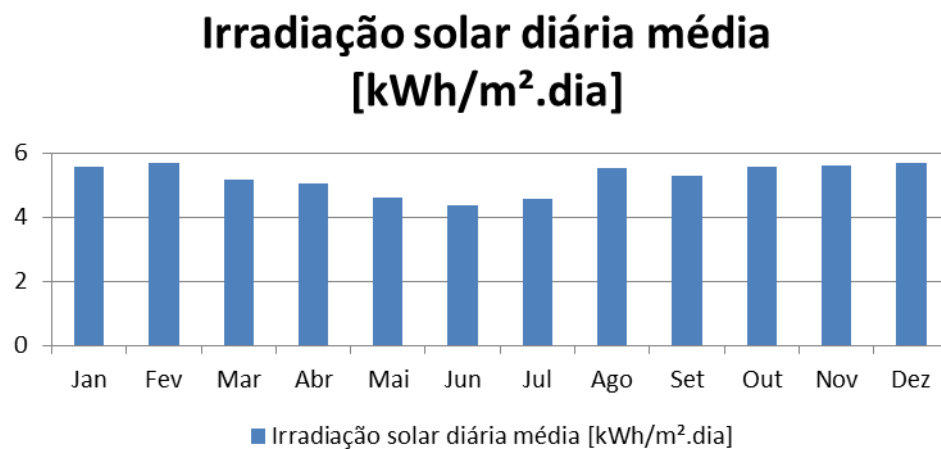
**Eg1** = Potência total gerada referente bloco 500 (kWh/mês)

**Eg2** = Potência total gerada referente bloco 400 (kWh/mês)

**Gan** = Ganho de geração (%)

### 3.4 RADIAÇÃO E CLIMA NO LOCAL DE ESTUDO

Itumbiara possui médias de irradiação solar muito positivas para sistemas fotovoltaicos, como é possível observar no Gráfico 3, tendo os meses Janeiro, Fevereiro, Setembro, Outubro, Novembro e Dezembro com médias que passam de 5,5 kWh/m<sup>2</sup>.dia, sendo o pior mês o de Junho com média pouco acima de 4,3 kWh/m<sup>2</sup>.dia. (CRESESB, 2018).



**Gráfico 3 – Irradiação Solar diária média em Itumbiara (kWh/m<sup>2</sup>.dia) (CRESESB, 2018)**

O clima da cidade é tropical com diminuição de chuvas no inverno e temperatura média anual de 23,8 °C possui invernos secos e amenos, com verões com muita chuva e temperaturas moderadamente altas, sendo o mês mais quente o de outubro com médias de 38,5°C e o mês mais frio sendo o de julho com 21,1°C.

Na região é comum a temperatura ter alterações repentinas que ocorrem por volta do mês de agosto até Janeiro, onde o clima é bem quente podendo passar a margem de 40°C (PREFEITURA DE ITUMBIARA, 2018).

O aumento da temperatura no módulo em operação acima da temperatura padrão de testes que é de 25°C tem efeito negativo no desempenho dos sistemas fotovoltaicos, reduzindo a eficiência de conversão (MATTOS, 2016).

### 3.5 ANÁLISE ECONÔMICA SIMPLIFICADA

O IFG – campus Itumbiara utiliza a tarifa do grupo A4 na conta de energia, mas devido ao grande número de sistemas residenciais e comerciais, que constituem mais de 93% dos sistemas fotovoltaicos, optou-se por analisar também a tarifa residencial grupo B1 (ABSOLAR, 2018).

A potência de sistemas residenciais e comerciais podem variar entre 1kWp a 75 kWp, os subsistemas do IFG – Campus Itumbiara estudados possuem potência de 21,6 kWp portanto se encontram dentro desta faixa e a avaliação realizada pode ser aplicada também para as tarifas residenciais. (ANEEL, 2018a).

A fim de avaliar a quantia em valores reais (R\$) devido às perdas de eficiência, serão utilizadas as tarifas da **ENEL-D Goiás**.

Os valores de mão de obra e de consumo de água são fatores que influenciam na economia, além de serem fatores determinísticos para com os cronogramas de limpeza, estes fatores em alguns casos são necessários para manter o desempenho do sistema em um nível aceitável.

Considera-se que o preço da mão de obra privada é cerca de 30 reais por hora, sendo que na maioria dos casos os cuidados básicos podem ser realizados pelos próprios donos dos sistemas fotovoltaicos (DUSOL, 2018).

Foram gastos com a limpeza em média 2 m<sup>3</sup> de água durante 1 hora, segundo a SANEAGO em 2017 o valor do m<sup>3</sup>/mês de água é R\$ 4,06, resultando em um gasto de R\$ 8,12 com água (SANEAGO, 2018). O valor econômico será dado pela diferença da potência total gerada nos blocos 400 (sujo) e 500 (limpo) em cada mês multiplicado pela tarifa de energia da concessionária assim como indica a equação (4):

$$Val = Tar \times (Eg1 - Eg2) \quad (4)$$

Onde:

**Eg1** = Potência total gerada referente bloco 500 (kWh/mês)

**Eg2** = Potência total gerada referente bloco 400 (kWh/mês)

**Val**= Valor em Reais mensal da economia (R\$)

**Tar**= Tarifa de energia (R\$/ kWh)

Foi feita avaliação para dois grupos sendo estes o residencial e o grupo A4 ambos utilizando a tarifa verde sendo este último grupo no qual o IFG se encontra.

Os valores das tarifas aplicados no ano de 2018 para o grupo residencial e grupo A4, tarifa verde, determinados pela concessionária ENEL-D no estado de Goiás se encontram na Tabela 4. (ENEL, 2018)

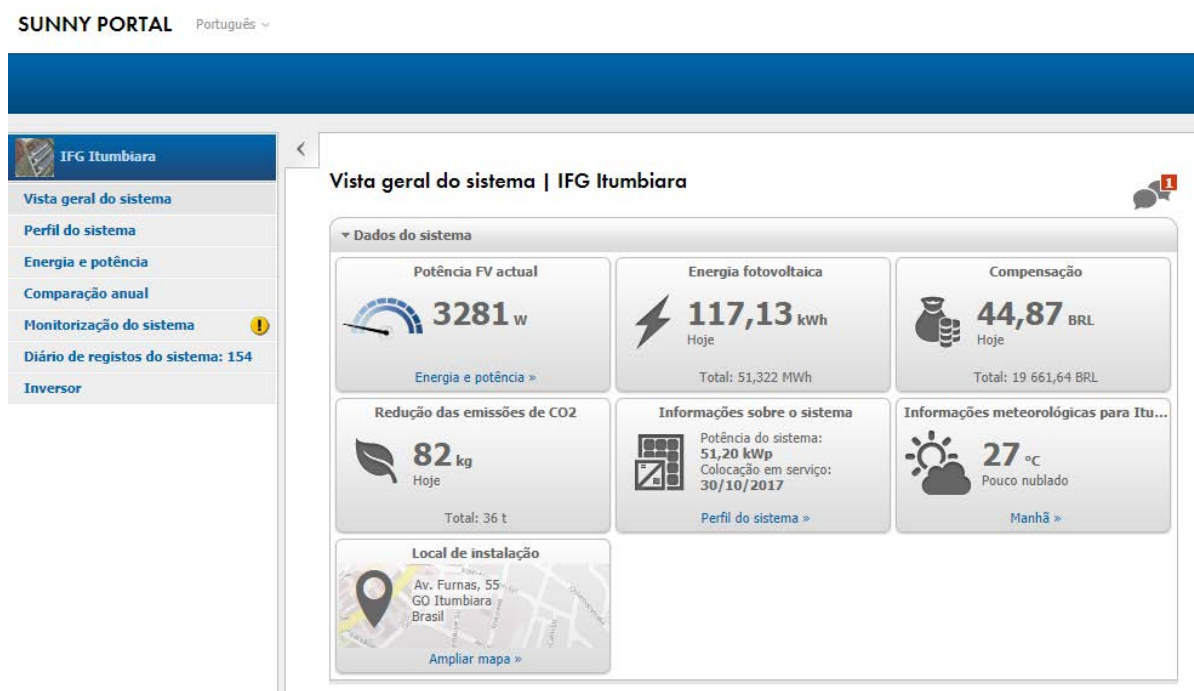
**Tabela 4 – Tarifas ENEL**

| GRUPO       | Tarifa Verde (R\$/ kWh) |
|-------------|-------------------------|
| RESIDENCIAL | 0,75                    |
| A4          | 0,47                    |

### 3.6 LEVANTAMENTO DE DADOS

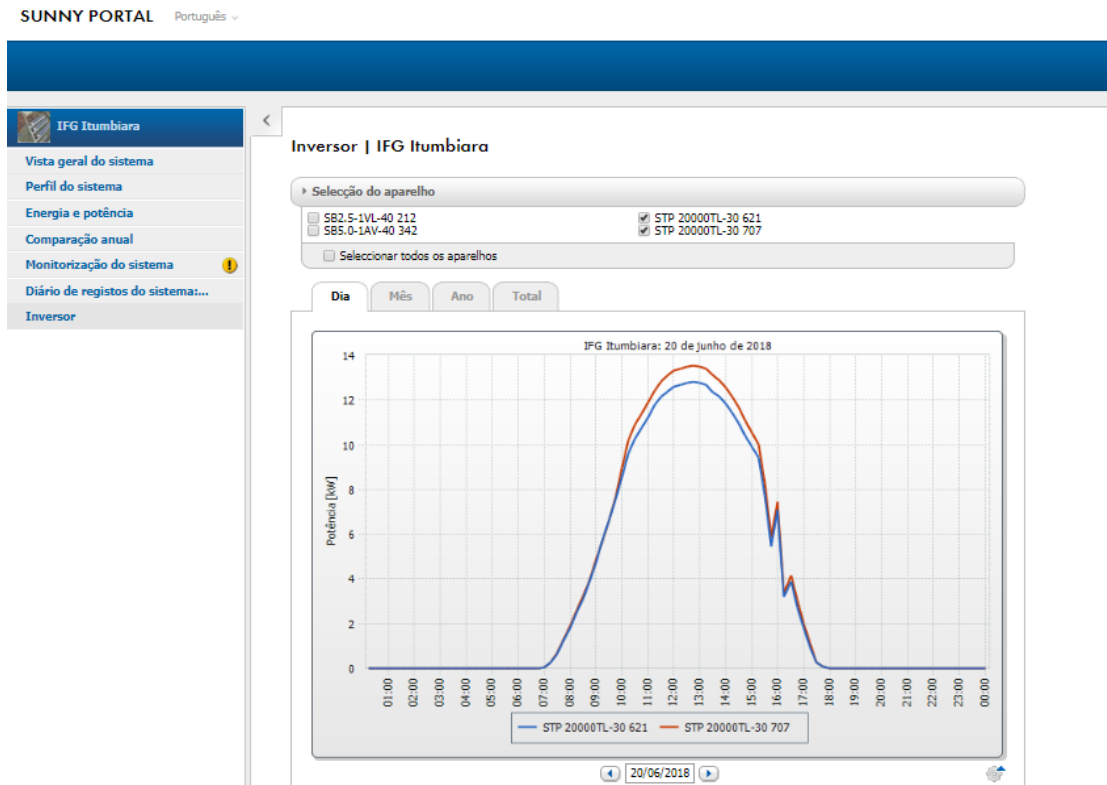
A análise das perdas de eficiência ocasionadas pela sujeira presente nos módulos fotovoltaicos é realizada com base nos dados de geração dos dois sub-sistemas da SMA de 21,6 kWp cada obtidos no Sunny Portal, site onde são armazenadas as informações do sistema, são dados diários mensais e anuais da geração dos blocos 400 e 500.

A Figura 13 ilustra a interface do Sunny portal.



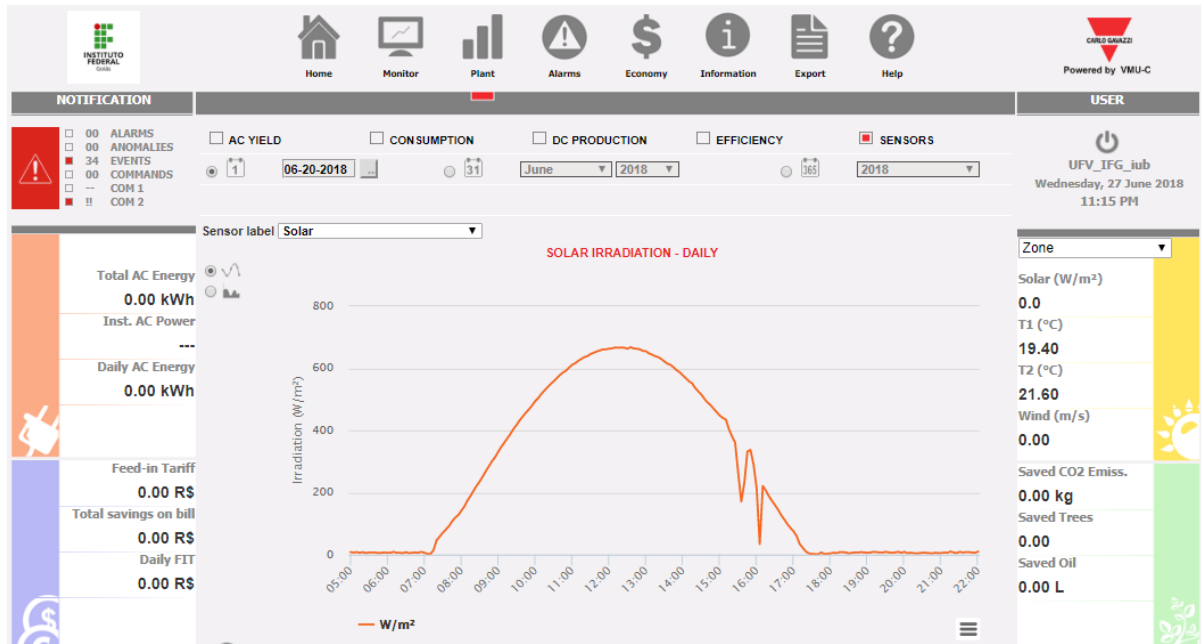
**Figura 13 – Interface Sunny Portal**

Na Figura 14 estão ilustrados os dados de geração do dia 20 de Junho de 2018 adquiridos por meio do sistema Sunny Portal.



**Figura 14 – Interface de Geração Fotovoltaica Sunny Portal**

Os dados de radiação foram coletados através do software online de armazenamento de dados do IFG (Carlo Gavazzi) e utilizando os dados do CRESESB para Itumbiara. A Figura 15 ilustra o sistema do IFG e a curva de radiação do dia 20/06/2018 como exemplo.



**Figura 15 – Interface Sistema IFG (Carlo Gavazzi) – Bloco 300**

Os dados foram coletados dos meses de Dezembro de 2017 a Junho de 2018, consistindo de dados de geração (kWh) e radiação ( $kWh/m^2$ ).

O sistema de coleta de dados do IFG se utiliza de uma célula de referência para a medição de radiação solar, a curva desta acompanha a curva de uma célula fotovoltaica e não cobre todo o espectro de radiação.

Os dados de radiação solar no plano inclinado do CRESESB são dados da média de 17 anos de estudos de radiação solar brasileira. (PEREIRA, 2017)

## **CAPÍTULO 4**

### **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

A análise foi realizada no período de Dezembro de 2017 até Junho de 2018, tendo uma totalização de sete meses para que seja possível quantificar os efeitos da limpeza, sendo assim não foi possível avaliar os efeitos da sujeira durante um ano completo passando por todas as estações do ano.

A coleta de dados de cada um dos subsistemas fotovoltaicos nos meses de Dezembro até Fevereiro teve por objetivo a comparação entre os dois subsistemas, a fim de avaliar a diferença de geração entre ambos os blocos antes do começo das limpezas programadas e analisar a confiabilidade dos dados coletados.

Os dados do CRESESB foram confrontados com os dados do sistema instalado no IFG campus Itumbiara cabendo ressaltar que os dados do CRESESB são médias anuais justificando alguma diferença na taxa de radiação solar.

Assim foram determinados os Gráficos de geração mensal dos meses de Dezembro de 2017 até Junho de 2018 totalizando sete meses de coleta de dados e estes dados se mostraram bastante positivos.

#### **4.1 GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR NOS BLOCOS 400 E 500**

Os dados de geração de energia elétrica e de potência foram obtidos acessando o Sunny Portal em que se encontram os dados dos inversores instalados, com isso foi possível o desenvolvimento das tabelas e comparações apresentadas.

A geração de energia, antes da realização da primeira limpeza, não apresentou diferenças, os Gráficos de ambos os blocos tiveram curvas nos Gráficos, praticamente idênticas.

Por meio destes Gráficos também é possível observar que em todos os dias destes três meses de monitoramento a diferença de geração diária entre os blocos 400 (preto) e 500 (cinza) são aproximadamente zero, o que indica que ambos possuem o mesmo potencial de geração.

Os Gráficos de geração de ambos os blocos desse período de monitoramento podem ser vistos nos Gráficos 4, 5 e 6:



Gráfico 4 – Geração do mês de Dezembro (kWh) (12/2017)

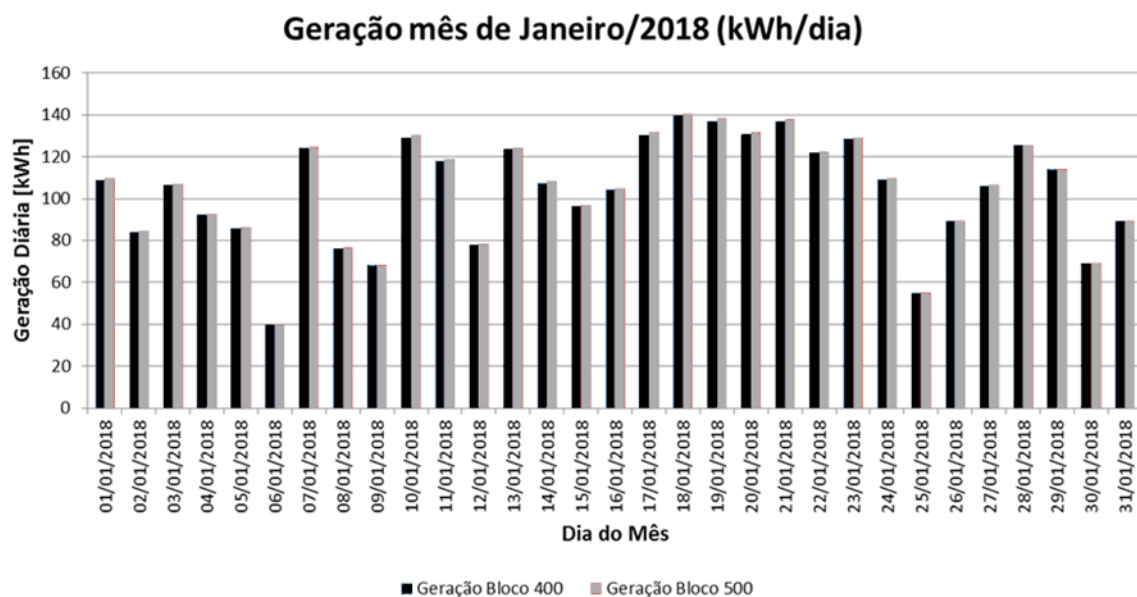
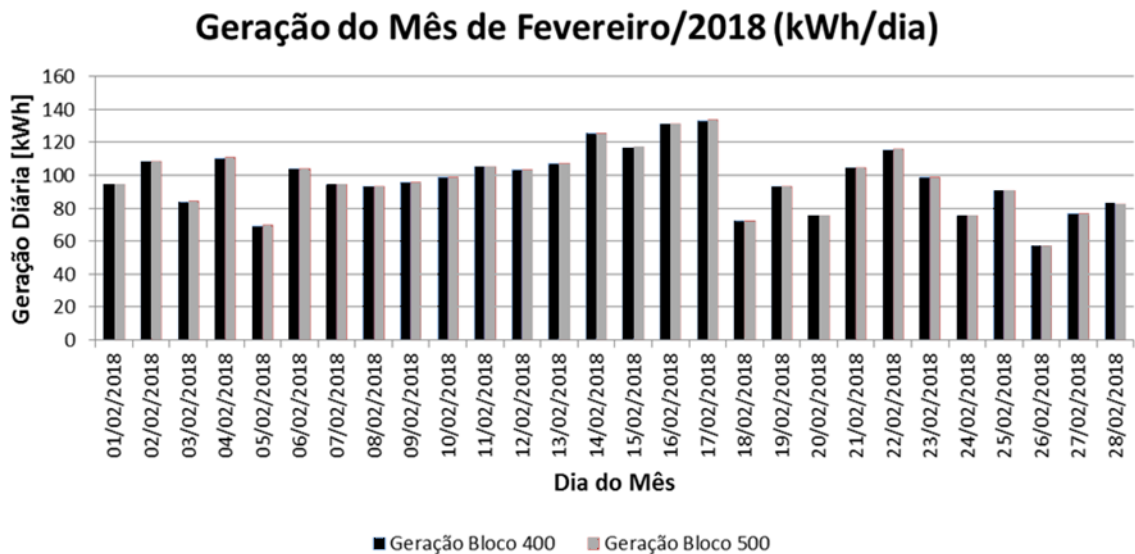


Gráfico 5 – Geração do mês de Janeiro (kWh) (01/2018)



**Gráfico 6 – Geração do mês de Fevereiro (kWh) (02/2018)**

A avaliação dos efeitos da limpeza nos sistemas fotovoltaicos na região sul de Goiás, começou após a limpeza do SFCR instalado no bloco 500 enquanto o sistema do bloco 400 foi mantido da forma como se encontrava (sujo), através deste método será possível analisar o efeito que a limpeza tem nos SFCRs.

Como programado, foi realizada a primeira limpeza no bloco 500 no dia 05 do mês de Março de 2018 as 18h00min e teve duração de aproximadamente 1 hora, a geração deste dia praticamente não foi afetada pela limpeza, portanto não foi considerada.

A Figura 16 mostra o estado dos módulos após a primeira limpeza.



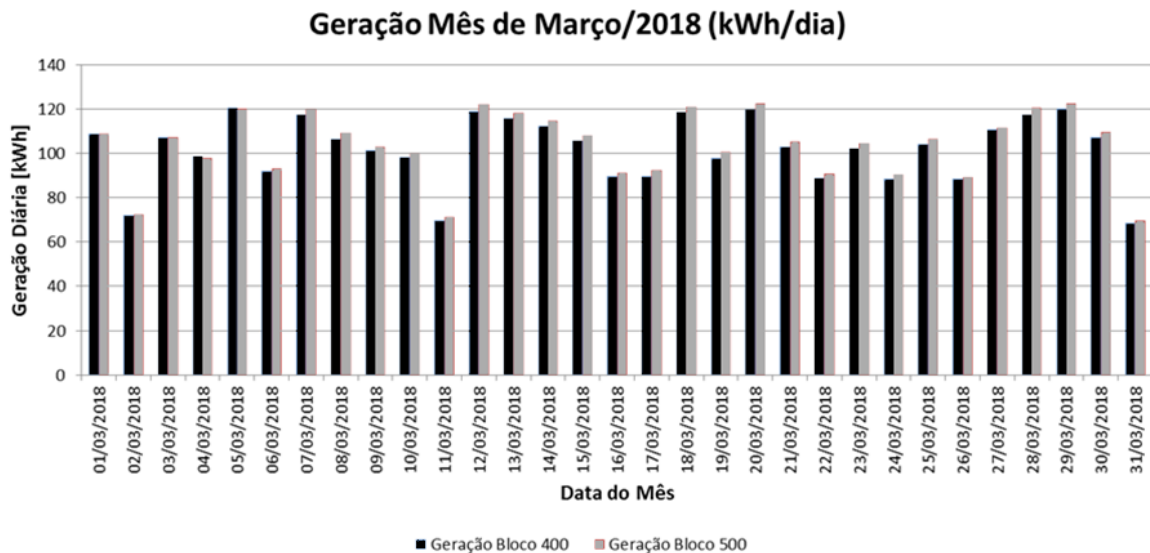
**Figura 16 – Antes e Depois da 1ª Limpeza (Arquivo Pessoal)**

Mesmo com o grande período de chuva dos meses anteriores à primeira

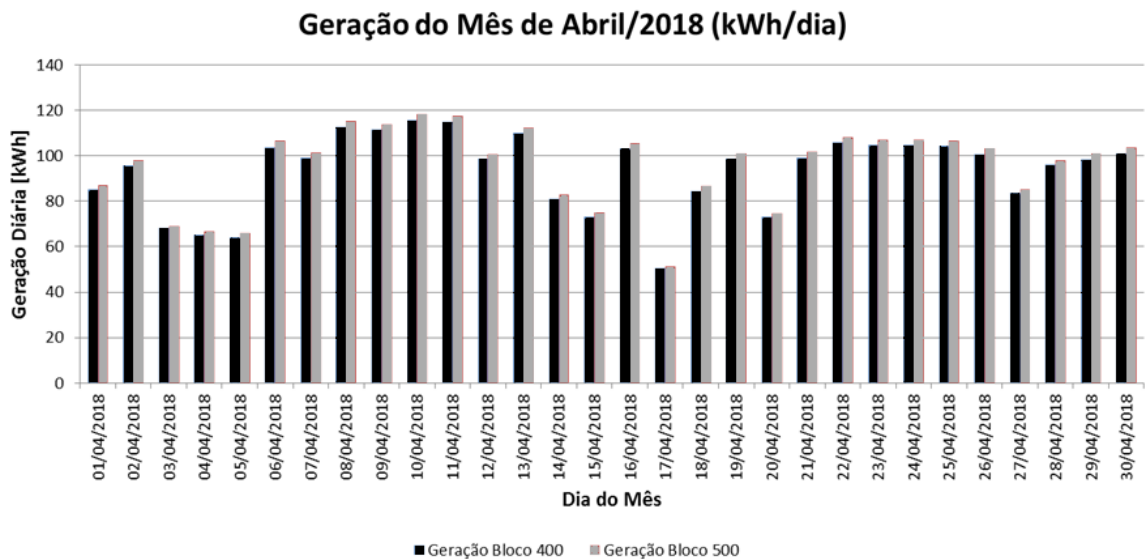
limpeza, os módulos se apresentavam muito sujos com um grande índice de poeira, fezes de pássaros, além de gravetos e folhas.

Nos meses de Março e Abril a quantidade em mm de chuva foi de 80 e 83 respectivamente segundo dados do INMET, uma quantidade bem menor quando comparado aos índices dos meses antes da limpeza que foram de cerca de 210 mm em Dezembro, Janeiro 330 mm e Fevereiro 209 mm. (INMET, 2018)

A diferença apresentada nos Gráficos 7 e 8 nos indica que mesmo após o período de chuva a limpeza dos módulos apresenta uma variação na geração diária pequena porém visível. São variações de aproximadamente 2% de diferença entre o bloco limpo (em cinza) e o bloco sujo (em preto).



**Gráfico 7 – Geração do Mês de Março (kWh) (03/2018)**



**Gráfico 8 – Geração do Mês de Abril (kWh) (04/2018)**

A segunda limpeza do sistema fotovoltaico instalado no Bloco 500 foi realizada no dia 04 do mês de Maio de 2018 às 17h30min e também teve duração de aproximadamente 1 hora, é possível observar que assim como na primeira limpeza praticamente não houve redução na eficiência da geração no horário da limpeza.

A Figura 17 mostra os resultados de antes e depois da segunda limpeza dos módulos.



**Figura 17 – Antes e Depois da 2ª Limpeza (Arquivo Pessoal)**

Uma ultima limpeza realizada após o monitoramento foi realizada no dia 09 de Julho, após um grande período seco, suas análises ainda não são conclusivas, porém foi obtido um rendimento superior a 14% na relação do bloco limpo para o sujo.

Desta vez os módulos se encontravam com uma extensa camada de poeira além de uma grande quantidade de fezes de pássaro, uma quantidade bem maior que a observada durante a primeira limpeza.

Neste período não ocorreram chuvas, foi um período bastante seco, segundo o INMET no mês de Maio houve apenas 17 mm e no mês de Junho até a data do dia 23 era de 0 mm. (INMET, 2018)

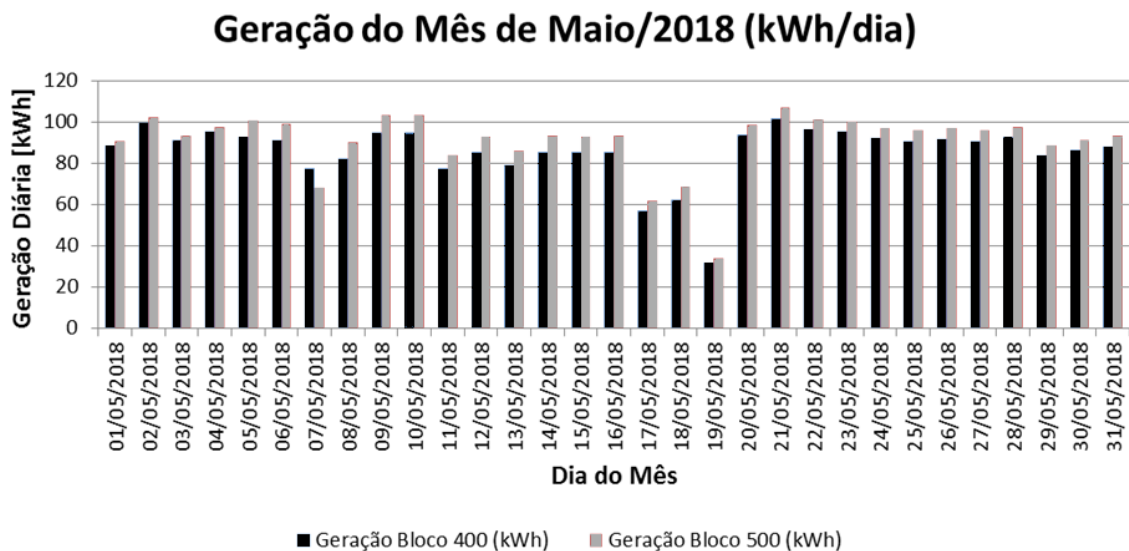
A geração dos meses de Março e Abril de 2018 passou a apresentar diferenças visíveis nas curvas de geração mostrando o início dos resultados da limpeza no sistema.

No dia 07/05/2018 ocorreu uma falha no sistema do bloco 500 o que acarretou em desligamento do sistema e isso refletiu na geração diária de modo negativo, porem a produção do mês não foi comprometida e manteve o rendimento nos demais dias.

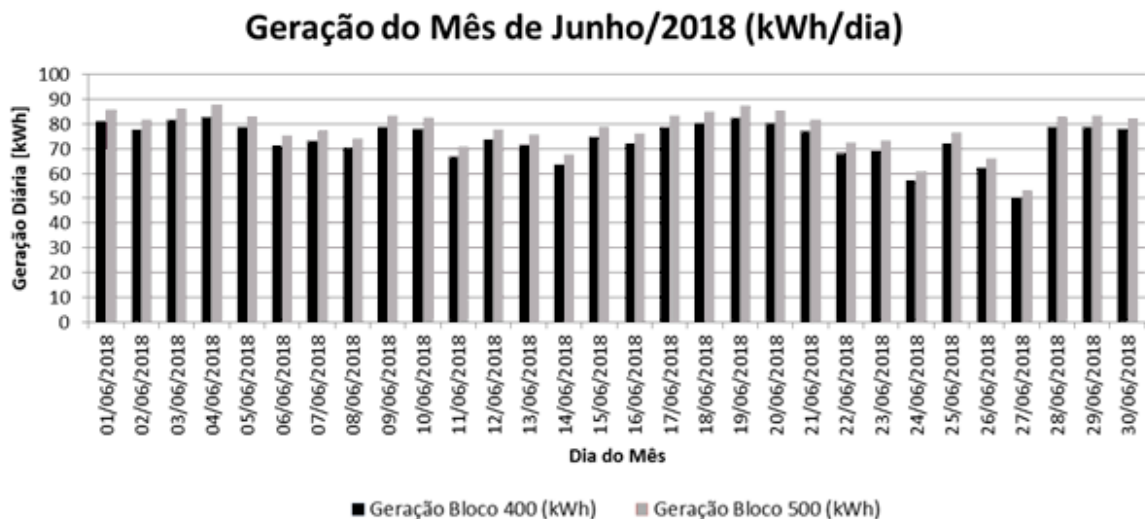
Já geração dos meses de Maio e de Junho de 2018 as diferenças foram mais claras nas curvas de geração mostrando uma diferença mais consistente dos resultados da limpeza no sistema.

Como esperado durante o período seco houve um acúmulo maior de sujeira e isto refletiu na geração diária dos SFCRs, o sistema do bloco 500 (cinza) apresentou valores de geração com cerca de 6% a mais que os valores do bloco 400 (preto).

Assim como observado nos Gráficos 9 e 10.



**Gráfico 9 – Geração do Mês de Maio (kWh) (05/2018)**



**Gráfico 10 – Geração do Mês de Junho (kWh) (06/2018)**

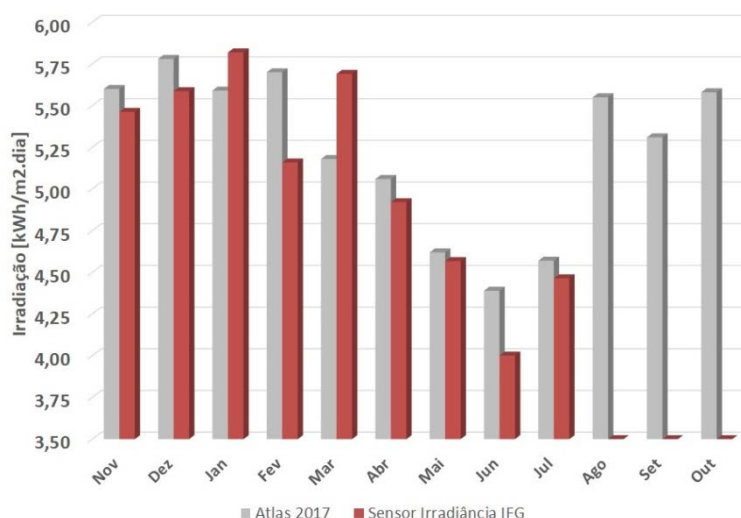
Na Tabela 5 se encontram os dados da geração total de cada mês para cada um dos blocos em estudo, nela também consta a diferença percentual da geração de um subsistema para outro mostrando as variações nos meses de Março a Fevereiro após a primeira limpeza e nos meses de Maio a Junho após a segunda limpeza.

**Tabela 5 – Dados Gerais do SFCR do IFG campus Itumbiara**

| Mês       | Geração (kWh/mês) |           | Diferença (%) | Chuva (mm³) | Radiação (kWh/m².mês) |        |
|-----------|-------------------|-----------|---------------|-------------|-----------------------|--------|
|           | Bloco 400         | Bloco 500 |               |             | CRESESB               | IFG    |
| Dezembro  | 3080,00           | 3092,12   | 0,39          | 212,60      | 179,18                | 173,18 |
| Janeiro   | 3228,28           | 3242,16   | 0,43          | 329,80      | 173,29                | 180,39 |
| Fevereiro | 2721,16           | 2724,34   | 0,12          | 204,80      | 159,60                | 144,46 |
| Março     | 3163,75           | 3217,54   | 1,67          | 80,20       | 160,58                | 176,40 |
| Abril     | 2808,95           | 2873,35   | 2,24          | 83,00       | 151,80                | 147,63 |
| Maio      | 2666,74           | 2821,73   | 5,49          | 17,60       | 143,22                | 141,60 |
| Junho     | 2214,16           | 2337,50   | 5,28          | 00,00       | 131,7                 | 117,31 |

Na mesma tabela são indicados os índices de chuvas que demonstraram uma redução significativa na quantidade de chuvas no decorrer dos meses assim como redução na radiação solar no período de coleta de dados.

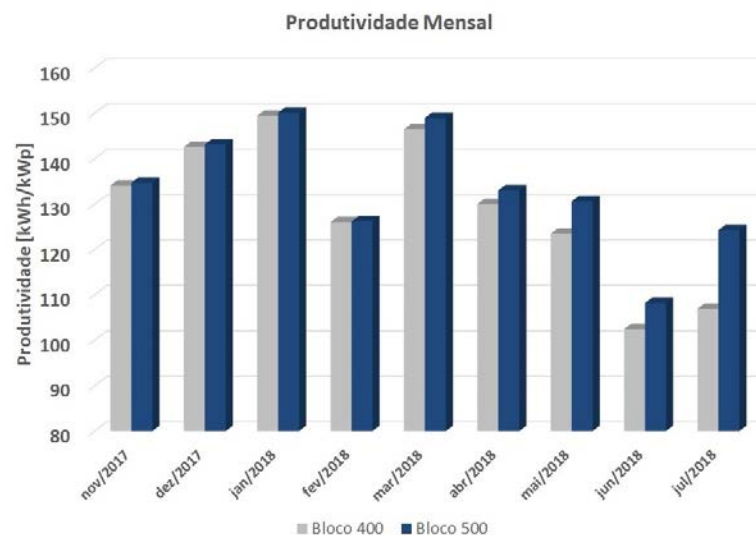
Os dados do CRESESB e do IFG apresentaram diferenças em alguns meses, mas os valores de modo geral se mostraram condizentes, já que o IFG demonstra a real radiação coletada e o CRESESB à média anual assim, como mostra o Gráfico 11.



**Gráfico 11 – Irradiação Atlas 2017 e IFG [kWh/m².dia]**

Estes dados mostram a variação de cada índice em cada um dos subsistemas estudados, no decorrer dos meses, sendo Dezembro, Janeiro e Fevereiro, meses sem a presença de limpeza e os demais meses onde foi realizada a limpeza programada.

Como é possível observar no Gráfico 12, há um aumento na produtividade do bloco 500 (em cinza) em relação ao bloco 400 (em preto), aumento que se deve às limpezas programadas realizadas no mês de Março e no mês de Maio. Pode-se dizer que, o subsistema do bloco 400 precisa de mais horas de sol para produzir a mesma quantidade de energia que o subsistema instalado no bloco 500.

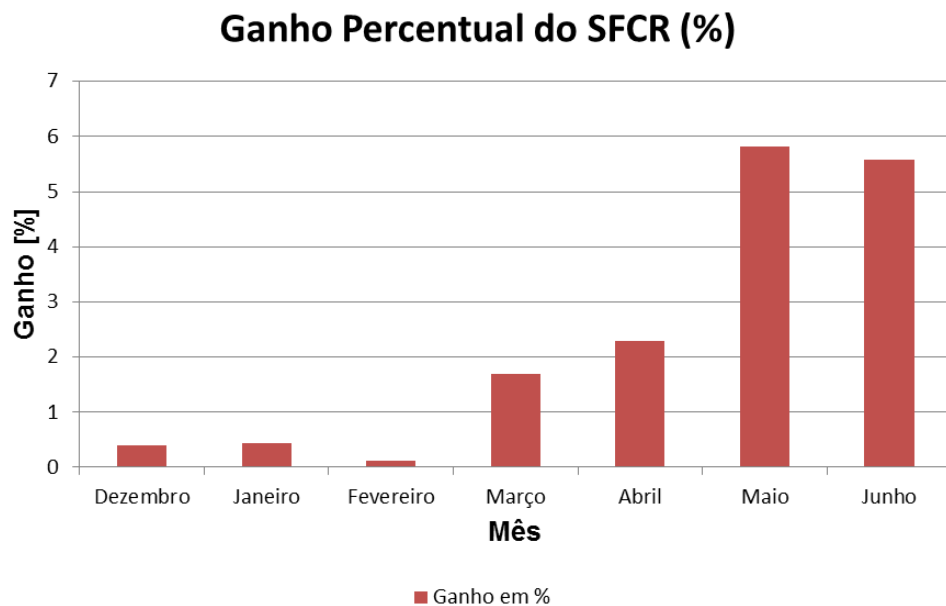


**Gráfico 12 – Produtividade do SFVC (kWh/kWp)**

Nos meses com pouca presença de chuva como Março e Abril houve diferenças pequenas nas taxas de produtividade, isto é, cerca de 2 a 3 horas a mais ao longo do mês para que o subsistema do bloco 400 pudesse gerar a mesma quantidade que o subsistema do bloco 500.

Mas as mudanças mais significativas aconteceram nos meses de Maio e Junho, onde para se obter a mesma quantia de geração o bloco 400 precisa de 4 a 7 horas a mais para se equiparar ao subsistema 500 e no mês de Julho esta diferença chegou a cerca de 16%.

O gráfico 13 por sua vez indica a quantidade de ganho percentual de geração que um sistema limpo tem em relação ao outro sujo avaliados neste trabalho.



**Gráfico 13 – Ganho do SFCR (%)**

Da mesma maneira que observado no Gráfico de produtividade, o ganho de geração do sistema do bloco 500 teve aumento após as limpezas programadas, principalmente após a segunda limpeza realizada no mês de maio.

A primeira limpeza apresentou um ganho de geração de cerca de 2% nos meses de Março e Abril e a segunda limpeza apresentou um aumento de aproximadamente 6% do bloco 500 em relação ao bloco 400.

Come é possível observar no Gráfico 13, houve um ganho percentual no subsistema instalado no bloco 500, após a realização das limpezas dos módulos fotovoltaicos. É possível ainda observar que em períodos secos são mais efetivas que em períodos chuvosos, o ganho aumentou em 4% do período de chuva para o período seco.

A Tabela 6 apresenta os dados de produção e os ganhos diários dos primeiros e últimos dias de cada um dos meses do monitoramento do sistema avaliado.

Os ganhos mensais quando comparados aos ganhos diários apresentam a mesma variação percentual de um subsistema para outro

Tabela 6 – Ganho diário (%) (Desenvolvida pelo Autor)

| Data   | Bloco 500 (kWh/dia) | Bloco 400 (kWh/dia) | Ganho diário (%) |
|--------|---------------------|---------------------|------------------|
| 01/dez | 211,12              | 210,95              | 0,08             |
| 31/dez | 292,65              | 292,75              | 0,03             |
| 01/jan | 436,10              | 438,01              | 0,43             |
| 31/jan | 358,42              | 357,99              | 0,12             |
| 01/fev | 378,68              | 379,45              | 0,20             |
| 28/fev | 333,15              | 331,29              | 0,56             |
| 01/mar | 436,33              | 435,58              | 0,17             |
| 31/mar | 273,69              | 279,08              | 1,94             |
| 01/abr | 341,34              | 348,88              | 2,16             |
| 30/abr | 404,70              | 414,58              | 2,39             |
| 01/mai | 355,32              | 363,95              | 2,38             |
| 31/mai | 352,90              | 373,10              | 5,42             |
| 01/jun | 325,03              | 342,47              | 5,10             |
| 15/jun | 299,03              | 316,22              | 5,44             |

Utilizando os dados de radiação coletados do INMET do sistema de monitoramento instalado no campus Itumbiara (CG) e os dados do CRESESB foi desenvolvido o Gráfico 14.

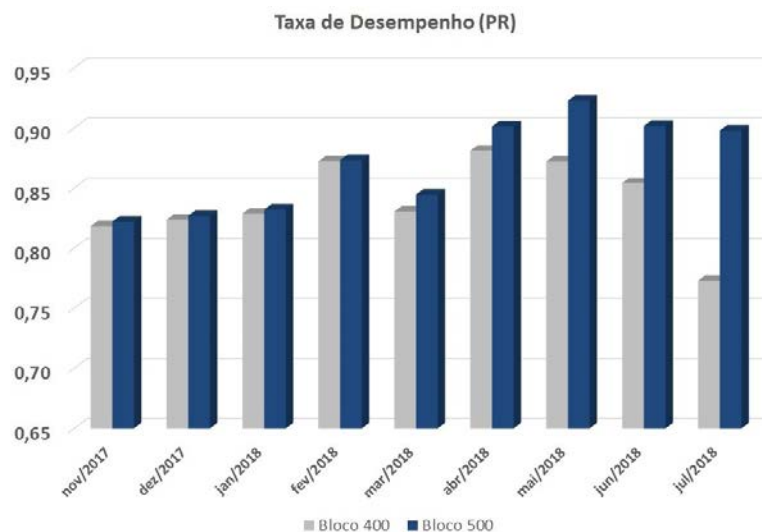


Gráfico 14 – Taxa de Desempenho do SFCR

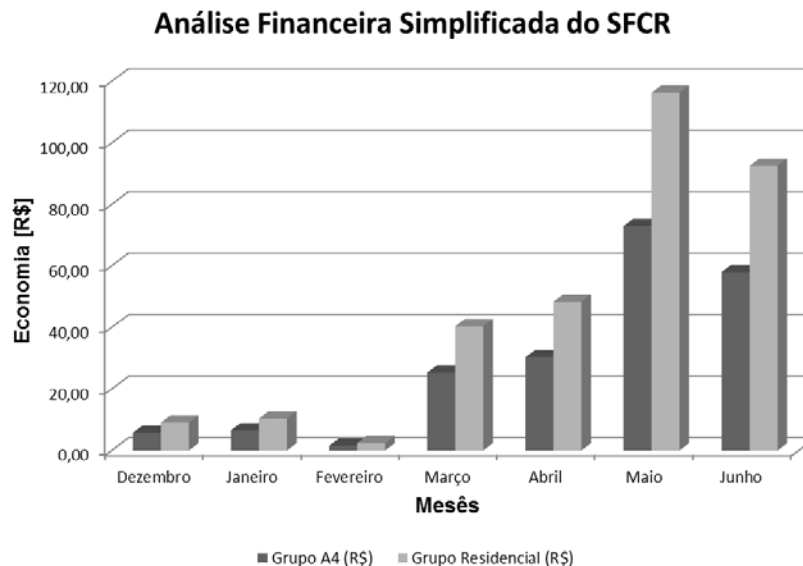
Constata-se que houve um aumento significativo no sistema quando se trata da taxa de desempenho sendo que os aumentos de eficiência total dos subsistemas do bloco 400 em relação ao bloco 500 foram de 83% para 84,5% no mês de Março, 88% para 90% no mês de Abril, depois de 87% para 92% em Maio e Junho, sendo que no mês de Julho chegou até a 16% de diferença.

Optou-se pelo sistema do IFG de radiação como referência, pois este foi dado em valores diários de 5 em 5 minutos, são valores mais precisos que os do

CRESESB que é uma média anual de 17 anos que pode conter grandes variações dos valores reais.

Para se quantificar a economia em reais (R\$) foi gerado o Gráfico 15, nele foi utilizada a Tabela 5 de tarifas e também a equação da seção 3.3 para os casos residenciais e para o grupo A4 em que o IFG se encontra.

O residencial tem como intuito abranger a maior parte dos SFCRs que são instalados em residências e comércios, que costumam ter potências instaladas entre 5 kWp e 30 kWp sendo que a potência dos subsistemas em estudo se encontra dentro desta faixa.



**Gráfico 15 – Análise Financeira Simplificada do SFCR (R\$)**

Em todos os dois grupos observou-se que as limpezas programadas causam uma redução nos valores da conta de energia, sendo que da mesma maneira que as análises anteriores à limpeza nos tempos secos geraram maiores economias.

Os valores economizados por meio da geração de energia supriram as expectativas após as duas limpezas, mesmo tendo em vista que não foi quantificado o mês de Julho.

Considerando o valor da mão de obra privada cerca de R\$30,00 que em muitos casos é o próprio dono do sistema fotovoltaico que realiza a limpeza e o preço da água utilizada que foi gasta que seria por volta de R\$8,12 segundo as tarifas da SANEAGO, resulta em um valor total das despesas de R\$38,12 por limpeza.

A economia bruta do sistema fotovoltaico utilizando a tarifa residencial nos dois meses após a primeira limpeza foi de R\$88,65 e nos dois meses após a segunda limpeza foi de R\$208,75, totalizando R\$297,39 economizados do mês de Março a Junho.

Ainda utilizando a tarifa residencial e agora considerando os gastos totais com as duas limpezas de R\$76,24, o valor total economizado do mês de Março ao mês de Junho foi de R\$221,15.

Agora considerando o grupo A4 a economia nos dois meses seguintes a primeira limpeza foi de R\$55,54 e depois de R\$130,81 nos dois meses posteriores a segunda limpeza, totalizando R\$186,37, considerando as despesas das duas limpezas a economia resultante no IFG é de R\$110,13 no período estudado.

Realizando uma projeção anual, considerando que no ano serão realizadas quatro limpezas (em Março, Maio, Julho e Setembro) para manter a eficiência do sistema, com os mesmos ganhos dos meses de Maio e Junho, para uma tarifa residencial, o valor bruto economizado é de R\$1132,40 e caso seja considerado o valor de gasto R\$152,48 com as limpezas a economia é de R\$979,92.

Para sistemas do grupo A4 a projeção econômica anual é de R\$557,12 considerando o mesmo valor de gastos com as quatro limpezas e de R\$709,60 sem considerar os gastos com a limpeza.

Os valores economizados com as duas limpezas e os valores da projeção econômica anual para as considerações com e sem considerar as despesas com a limpeza se encontram na Tabela 7.

**Tabela 7 – Valores Economizados (R\$) (Desenvolvida pelo Autor)**

|                 | Residencial<br>até Junho<br>(R\$) | Residencial<br>Anual (R\$) | IFG até<br>Junho (R\$) | IFG Anual<br>(R\$) |
|-----------------|-----------------------------------|----------------------------|------------------------|--------------------|
| Sem<br>Despesas | 297,39                            | 1132,4                     | 186,37                 | 709,6              |
| Com<br>Despesas | 221,15                            | 979,92                     | 110,13                 | 557,12             |

Em todos os casos, considerando ou não as despesas com a limpeza, ainda é lucrativo a execução de limpezas periódicas no sistema fotovoltaico e como foi possível observar o rendimento de uma limpeza se mantém por pelo menos dois meses.

Analisando sistemas menores ou maiores a economia em valores reais (R\$) é proporcional ao tamanho do sistema, enquanto que a economia percentual continuará sendo de 2% após períodos de chuva e de 5% para períodos secos como avaliado anteriormente podendo ser ainda maior se levado em conta o desempenho da geração no mês de Julho.

Portanto se o sistema for da metade do tamanho do subsistema 500 (10,3 kWp) ou for o dobro do tamanho do sistema (43,2 kWp), os valores econômicos respectivos considerando as mesmas condições de radiação e a tarifa residencial adquiridos com as limpezas, seriam de R\$138,68 e de R\$554,7 reais respectivamente.

## **CAPÍTULO 5**

### **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Por meio do que foi proposto neste trabalho foi possível concluir os impactos da sujeira na produtividade dos dois sistemas analisados no IFG campus Itumbiara.

A limpeza realizada pela chuva quando comparada à limpeza manual dos meses de Março e Abril se mostrou bastante efetiva nos dois sistemas fotovoltaicos, mesmo com a chuva, houve ganho de geração de cerca de 2%.

A limpeza programada dos sistemas fotovoltaicos surtiu bastante efeito no desempenho do sistema nos períodos secos com aumentos de até aproximadamente 6% após os dois primeiros meses sem chuva alcançando 16% no terceiro mês sem chuvas.

Assim como o rendimento e o desempenho do SFCR aumentaram, a economia deste sistema também aumentou significativamente tanto considerando sistemas residenciais como sistemas do grupo A4 mesmo quando se leva em conta as despesas com a limpeza.

Portanto, a limpeza programada dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede durante os períodos de pouca quantidade de chuvas e períodos secos apresentou-se necessária, aumentando a economia e produtividade do sistema por um período de no mínimo dois meses.

Uma abordagem mais detalhada da economia do SFCR se vê necessária, de forma a quantificar os elevados níveis de perdas de produção durante o ano todo, assim como a decisão de realização do serviço de limpeza ou aumento da capacidade de geração do sistema com acréscimo de módulos fotovoltaicos.

## **5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Fica como recomendação para projetos futuros realizar o monitoramento do sistema fotovoltaico durante um período completo de um ano para se avaliar todas as curvas durante as quatro estações do ano.

É possível realizar uma análise mais profunda de qual o melhor tipo de limpeza deve ser realizado nos sistemas fotovoltaicos conectados à rede na região sul de Goiás e qual seria a economia para a tarifa rural.

Desenvolvimento e análise de investimento de um sistema automático de limpeza para o SFCRs do IFG campus Itumbiara.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABSOLAR. Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. **“Panorama do Setor Solar Fotovoltaico no Brasil”**. 2018.

ABINEE. Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica. **“Propostas para inserção da energia solar fotovoltaica na matriz elétrica brasileira”**. 2012.

ANEEL. Agencia Nacional de Energia Elétrica. **“Capacidade de geração do Brasil”**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em: 12/04/2018.

\_\_\_\_\_. Agencia Nacional de Energia Elétrica. **“Capacidade de produção”**, <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em: 10/06/2018.

ARAÚJO. A. J. N. RANK. N. I. Bueno. T. B. A.. **“Análise dos fatores de perdas nos sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica em Curitiba”**, UTFPR, Curitiba, 2016.

APPELS, R., MUTHIARAN, B., Beerten, A., Paesen, R., Driesen, J., Poortmans, J.. **“The effect of dust deposition on photovoltaic modules”**. 38<sup>th</sup> IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PSVC), Austin, Texas, 2012.

ASTRA Solar. **“É necessário dar manutenção no Sistema de energia solar fotovoltaico?”**. <<http://astrasolar.com.br/energia-solar/manutencao-no-sistema-de-energia-solar/>>. Acesso em: 11/07/2018.

ALSOL. Alsol energias renováveis. **“Cresce o interesse por energia solar fotovoltaica”**. <<http://blog.alsolenergia.com.br/2017/11/cresce-o-interesse-por-energia-solar-fotovoltaica>>. Acesso em 11/07/2018.

BETHEA. R. M., Barriger M.T., Williams P.F., Chin S. **“Environmental effects on solar concentrator mirrors”**. Solar Energy 27. 1981.

BENEDITO, R. S., **“Caracterização da geração distribuída de eletricidade por meio de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, no Brasil, sob os aspectos técnico, econômico e regulatório”**. Dissertação de Mestrado, USP, São Paulo, 2009.

CARVALHO P. NETO M. R. B. N. **“Geração de energia elétrica – fundamentos”**. 2012.

CAVALCANTE, M. A.; TAVALARO, C. R. C. **“Uma aula sobre o efeito fotoelétrico no desenvolvimento de competências e habilidades”**. Física na Escola, v. 3, n. 1, 2002. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol3/Num1/a08.pdf>>. Acesso em: 13 de Abril de 2018.

CEPEL. **“As energias solar e eólica no Brasil”**. <<https://pt.slideshare.net/afermartins/casasolar2011-10243851>>. Acesso em 25/06/2018.

COMPASSO SOLAR. **“Potencial energia solar – Prós e Contras”**. <<http://www.compassosolar.com.br/potencial-energia-solar-pros-e-contras/>>. Acesso em 25/06/2018.

CUDDIHV E. COULBAR C. Gupta A. Liang R. **“Electricity from photovoltaic solar cells: Flat-Plate solar array project final report”**. Volume VII: Module encapsulation. Tech. Rep. DOE/JPL-1012-125. Jet Propulsion Laboratory. 1986.

CRESESB. Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito. < [http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com\\_content&lang=pt&cid=301](http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=301)>. Acesso em 18/06/2018.

CSR. **“sistema fotovoltaico hibrido on grid e off grid”** <<http://www.csrenergiasolar.com.br/blog/sistema-fotovoltaico-hibrido-on-grid-e-off->

grid>. Acesso em 10/07/2018.

CUSTOM POWER. **“Conheça os tipos de sistemas Fotovoltaicos”**. <<http://custompower.com.br/conheca-os-tipos-de-sistemas-fotovoltaicos/>>. Acesso em 11/07/2018.

COSTA S. C. S. DINIZ. A. S. A. C. Santana V. A. C. Muller. M. Micheli. L. Kazmerski. L. L. **“Avaliação da sujidade em módulos fotovoltaicos em Minas Gerais, Brazil”**. VII Congresso Brasileiro de Energia Solar – Gramado, 17 a 20 de Abril de 2018.

DARWISH, Z. A.; Kazem, H. A.; Sopian K.; Al-goul, M.; Alawadhi, H. **“Effect of dust pollutant type on photovoltaic performance. Renewable and sustainable energy”**. 2015.

DGS - German Solar Energy Society. **“Planning and installing photovoltaic systems”**. 2013.

DUSOL. **“Como funciona a manutenção preventiva dos sistemas fotovoltaicos?”** <<https://www.dusolengenharia.com.br/post/como-funciona-manutencao-preventiva-sistemas-fotovoltaicos/>>. Acesso em 25/06/2018.

ENEL, **Taxas e tarifas** <<https://www.eneldistribuicao.com.br/ce/TaxasETarifas.aspx>>, acesso em 18/06/2018.

ENEL, **Taxas e tarifas** <<https://www.eneldistribuicao.com.br/go/TaxasETarifasCorporativo.aspx>> acesso em 18/06/2018.

ENOVA, **“Entenda o que influencia a geração do seu sistema solar”** <<http://www.enovaenergia.com.br/blog/post/entenda-o-que-influencia-a-geracao-do-seu-sistema-solar>>. Acesso em 11/07/2018.

EL-NASHAR A.M. **“The effect of dust accumulation on the performance of evacuated tube collectors”**. Solar Energy 53.1994.

FLANDOLI F. **“Normas regulamentadora NR10 e riscos da área”** <<http://www.eletricistaconsciente.com.br/pontue/fasciculos/seguranca/normas-regulamentadora-nr10-e-riscos-da-area/>>. Acesso em 11/07/2018.

FREESE J.M. **“Effects of outdoor exposure on the solar reflectance properties of silvered glass mirrors”**. International Solar Energy Society Conference. Atlanta, GA. 1979.

GAIER, J. R., Perez-Davis, M.E. **“Effects of outdoor exposure on the solar reflectance properties of silvered glass mirrors”**. International Solar Energy Society Conference. Atlanta, GA. 28 de Maio a 1 de Junho. 1979.

GOOSSENS D., Kerschaefer E.V. **“Aeolian dust deposition on photovoltaic solar cells: the effects of wind velocity and airborne dust concentration on cell performance”**. Solar Energy 66.1999.

GOSTEIN E DUNN, L. Dunn, B. Littmann, J. R. Caron, M. Gostein, **“PV module soiling measurement uncertainty analysis,”** 39th IEEE. 2013.

GUZZO. Pedro. L.; **“Quartzo”**, CETEM, <[http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/1120/1/31.%20QUARTZO\\_vers%C3%A3o02.pdf](http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/1120/1/31.%20QUARTZO_vers%C3%A3o02.pdf)>. Acesso em: 18/06/2018.

GLOBALSOLARATLAS. <<http://globalsolaratlas.info/>>. Acesso em: 18/06/2018.

HAEBERLIN H., Graf J.D. **“Gradual reduction of PV generator yield due to pollution”**. 2<sup>nd</sup> World Conference on photovoltaic solar energy conversion. Vienna, Austria. 1998.

HAMMOND, R., Srinivasan, D., Harris, A., Whitfield K., Wohlgemuth J. **“Effects of soiling on PV module and radiometer performance”**. 26<sup>th</sup> IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PSVC), Anaheim, CA. 1997.

HICKEL. B. M. Deschamps. E. M. Nascimento. L. R. Ruther. R. Simões. G. C.. **“Análise da influência do acúmulo de sujeira sobre diferentes tecnologias de módulos FV: revisão e medicos de campo”**. VI congress Brasileiro de Energia Solar – BH, 04 a 07 de Abril de 2016.

HOFFMAN A.R., Maag C.R. **“Airborne particulate soiling of terrestrial photovoltaic modules and cover materials”**. 26th Annual Technical Meeting of Institute of Environmental Sciences. Philadelphia, PA. 1980.

IEA, International Energy Agency. **“SnapShot of global photovoltaic markets”**. Rep. IEA PVPS T1-33.2018.

IPEA, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **“Energia fotovoltaica ligada à rede elétrica: atratividade para o consumidor final e possíveis impactos no sistema elétrico”**. Brasília:IPEA, 2013.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **“Estações automaticas”** <[http://www.inmet.gov.br/sonabra/pg\\_dspDadosCodigo\\_sim.php?QTAzNQ==>](http://www.inmet.gov.br/sonabra/pg_dspDadosCodigo_sim.php?QTAzNQ==>). Acesso em 10/06/2018.

JU, F., Fu, X., **“Research on impact of dust on solar photovoltaic (PV) performance”**. International Conference on Electrical and Control Engineering (ICECE), 16–18 September. Yichang, China. 2011.

KIMBER A. **“The effect of soiling on photovoltaic systems located in arid climates”**. 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition. Milan, Italy. 2007.

LAU. L. **“Manutenção de sistemas fotovoltaicos”**. <<http://sharenergy.com.br/manutencao-de-sistemas-solares-fotovoltaicos/>>. Acesso em: 11/07/2018.

LAMONT L.A., Chaar, L.E. **“Enhancement of a stand-alone photovoltaic system’s performance: reduction of soft and hard shading”**. Renew. Energy 36. 2011.

LEMOS. L.O. Ferreira. A. M. Jota. P. R. S. Silva. A. G. V. **“Efeito da sujidade no desempenho de módulos fotovoltaicos”**. VI congress Brasileiro de Energia Solar – BH, 04 a 07 de Abril de 2016.

LONGO. M. **“Análise da produção de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos ligados a rede instalados na cidade de Lajeado/RS”**. Monografia UNIVATES - Lajeado – RS. 2015.

MANI M., Pillai R., **“Impact of dust on solar photovoltaic (PV) performance: research status, challenges and recommendations”**. Renew, Sustain. Energy Rev. 14. 2010.

MATTOS. G. M. **“Estudo de rendimento e temperature de paineis fotovoltaicos com uso de tecnica de concentracao solar ”**, UFRJ, Rio de Janeiro, 2016.

MEKHILEF S., Saidur R., Kamalisarvestani M. **“Effect of dust, humidity and air velocity on efficiency of photovoltaic cells”**. Renew. Sustain. Energy Rev. 2012.

MOHAMED A.O., Hasan A. **“Effect of dust accumulation on performance of photovoltaic solar modules in Sahara environment”**. J. Basic Appl. Scient. 2012.

MORO, Guilherme A. D.. **“Fotocondutividade: como os postes acendem”**. PR Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2010

NR10, NR35, NR21, **“Norma regulamentadora nº 10, 21 e 35”**. Trabalho em altura, segurança em instalações e serviços em eletricidade, trabalho a céu aberto. 2004.

PAVAN A.M., Mellit A., Pieri D.D. **“The effect of soiling on energy production for large-scale photovoltaic plants”**. Solar Energy 85. 2011.

PEREIRA, O. L. S.; GONÇALVES, F. F. **“Dimensionamento de inversores para sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica: estudo de caso do sistema**

**de tubarão**” – SC. Revista Brasileira de Energia, Vol. 14, No. 1, 1º Sem. 2008, pp. 25-45. 2008.

PEREIRA, E. B. Martins F. R. Golçalves A. R. Costa R. S. Lima F. J. L. Ruther R. Abreu S. L. Tiepolo G. M. **“Atlas Brasileiro de energia solar”** – INPE - São José dos Campos – São Paulo – Brasil – 2017.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **“Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos”**. CRESESB. 2014.

PORTAL SOLAR. **“Célula fotovoltaica”**. . <<https://www.portalsolar.com.br/celula-fotovoltaica.html>>. Acesso em 30/06/2018.

PORTAL SOLAR. **“Energia solar cresce duas vezes mais que combustível fóssil em 2017”**. . < <https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/energia-solar-cresce-duas-vezes-mais-que-combustivel-fossil-em-2017.html>>. Acesso em 30/06/2018.

PREFEITURA DE ITUMBIARA. **“Sobre Itumbiara”** < <http://www.itumbiara.go.gov.br/site/home/index.php?p=conteudo&id=6>>. Acesso em 18/06/2018.

RANGEL M., CARVALHO P. **“Geração de energia elétrica fundamentos”**. São Paulo. 2013.

REZENDE. V. G. S. ZILLES. R.. **“Análise das perdas de produtividade em geradores fotovoltaicos por efeito de Sujidade”**. VII congresso Brasileiro de Energia Solar – Gramado, 17 a 20 de Abril de 2018.

RÜTHER, R. **“Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil”**. Florianopolis: LABSOLAR, 2004.

RYAN C.P., Vignola F., McDaniels D.K. **“Solar cell Arrays: Degradation due to**

**dirt**". American Section of the international Solar Energy Society. Denver, CO. 1998.

SAYIGH, A. A. M., "**Effect of dust on flat plate collectors**". International Solar Energy Congress, New Delhi, India.1978.

SANEAGO. "**Tabela e tarifas de agua e esgoto**". <<https://www.saneago.com.br/2016/arquivos/tabela-tarifas-agua.pdf>>. Acesso em 12/06/2018.

SAMPLE, T.; Garcia, J. L.; Pozza, A. "**Long-term soiling in a moderate subtropical climate**". European Commission, Joint Research Centre, Institute for Energy and Transport, Renewables and Energy Efficiency Unit. Italy. 2016.

STEPHEN. D. Butz "**Science of earth systems**" 1st edition. 2002.

TEJWANI, R., Solanki "**360° sun tracking with automated cleaning sustem for solar PV modules**". 35th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC). Honolulu. 20-25 de junho, 2010.

URBANETZ JR, J. "**Sistemas fotovoltaicos conectados a redes de distribuição urbanas: sua influência na qualidade da energia elétrica e análise dos parâmetros que possam afetar a conectividade**". Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2010.

VIANA, T. S. "**Potencial de geração de energia elétrica com sistemas fotovoltaicos com concentrador no Brasil**". (Tese de Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis, 2010.