



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECATRÔNICA

Automação e Validação de Método de Controle de Qualidade de
Dados de Estações Solarimétricas

Daniel Henrique Silva Fernandes
NATAL- RN, 2016



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Automação e Validação do Método de Controle de Qualidade de
Dados de Estações Solarimétricas

DANIEL HENRIQUE SILVA FERNANDES

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Engenharia
Mecatrônica da Universidade Federal do
Rio Grande do Norte como parte dos
requisitos para a obtenção do título de
Engenheiro Mecatrônico, orientado pelo
Prof. Dr. Marcio Valério de Araújo.

NATAL - RN
2016



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Automação e Validação do Método de Controle de Qualidade de
Dados de Estações Solarimétricas

DANIEL HENRIQUE SILVA FERNADES

Banca Examinadora do Trabalho de Conclusão de Curso

Prof. Dr. Marcio Valério de Araújo _____

Universidade Federal do Rio Grande do Norte – Orientador

Dra. Samira de Azevedo Santos _____

Centro de Tecnologias do Gás e Energia Renováveis - Avaliador externo

Ms. Eng. Raniere Rodrigues Melo de Lima _____

Centro de Tecnologias do Gás e Energia Renováveis - Avaliador externo

NATAL, 13 de dezembro de 2016

Dedicatória

Dedico este trabalho à minha mãe Nadilma, que sempre me apoiou mesmo nos momentos mais difíceis, ao meu pai Juarez Junior, com quem nunca deixei de contar e também a minha família, principalmente a minha tia Marleide e aos meus avós Juarez, Margarida, Raimundo e Natalia.

Agradecimentos

A todos os professores que me ensinaram o que sei hoje, advindos dos departamentos de Engenharia de Computação e Automação, Engenharia Elétrica, Engenharia Mecânica e da Escola de Ciências e Tecnologias.

Ao meu professor orientador Marcio Valério de Araújo, pelos conselhos dados e pelo aprendizado que pude obter no desenvolvimento desse trabalho.

Aos funcionários do CTGAS-ER Samira Azevedo, Bruno Soares e a Hudson Resende pela confiança que me foi dada no tempo de estagio, permitindo aprender bastante sobre o que quero trabalhar no futuro.

Não poderia deixar de agradecer também a pessoas com quem tenho muito carinho e vivenciaram meus dias na graduação.

A família Costa, que me viram passar por todas as dificuldades de um curso de Engenharia: Nilza, Nilmar, Marcondes, Raphaella e principalmente a Dannyella, que sempre mais me incentivou para chegar até o fim.

Aos meus amigos da época de Ciências e Tecnologias: Bruno Rodrigues, Everton Carneiro e Plinio Melo e aos amigos na Engenharia, Alcemy Severino, Dayse Cavalcanti, Kassio Eugenio, Leonardo Silva, Lucas Laricchia, Tiago Batista e Yasmin Medeiros.

Fernandes, D.H.S. **Automação e Validação do Método de Controle de Qualidade de Dados de Estações Solarimétricas**. 2016. 49 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecatrônica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

Resumo

Durante uma campanha de medição para avaliar o potencial energético de geração de energia elétrica através da radiação do Sol, faz-se necessário o controle de qualidade dos dados obtidos durante a campanha como um processo de suma importância. Para que as variáveis medidas pelos diversos sensores de estações solarimétricas possam ser validadas, é necessário o uso de um mecanismo que avalie se os dados medidos estão de acordo com o esperado. Esse trabalho é feito comparando os dados medidos a critérios estabelecidos internacionalmente para cada variável radiométrica. Com intuito de automatizar esse processo, visto que o mercado carecia de uma ferramenta adequada, baseando-se na elaboração de um algoritmo utilizando a linguagem Python, capaz de realizar o controle de qualidade de dados acessados diariamente de diversas estações solarimétricas espalhadas pelo país.

Palavras-chave: Energia Solar, Estação Solarimétrica, Python, Automação

Fernandes, D.H.S. **Automation and Validation of the Method of Data Quality Control of Solarimetric Stations**. 2016. 49 p. Conclusion work project (Graduate in Mechatronic Engineering) - Federal University of Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

Abstract

During a measurement campaign to evaluate the energy potential of electric energy generation through the Sun's radiation, it is necessary to control the quality of the data obtained during a campaign as a process of high importance. For that, as measured variables for several sensors of solarimetric stations to validated, necessary to use a mechanism that evaluate the measured data is expected. This work is done with the measured data and internationally established criteria for each radiometric variable. In order to automate this process, this work is based on the elaboration of an algorithm using a Python language, able to perform the quality control of data accessible daily from several solarimétricas stations scattered throughout the country.

Keywords: Solar Energy, Solarimetric Station, Python, Automation

Lista de Ilustrações

Figura 1 – Fluxograma do Processo de validação de dados Solarimétricos	4
Figura 2 – Taxa de crescimento das energias renováveis	6
Figura 3 – Corte Transversal de uma Célula Fotovoltaica	7
Figura 4 – Taxa de crescimento entre 2005 - 2015	8
Figura 5 – Pannel Solar Fotovoltaico	9
Figura 6 – Pannel Concentrador Fotovoltaico	9
Figura 7 – Visão aérea da Usina de IVANPAH	10
Figura 8 – Piranômetro para leitura de radiação global	13
Figura 9 – Piranômetro com sombreamento para a leitura de radiação difusa	13
Figura 10 – Pireliômetro para leitura da radiação direta	14
Figura 11 – Rastreador Solar que acompanha o movimento do Sol	14
Figura 12 – Pirgeômetro para leitura de radiação de onda longa	15
Figura 13 – Termohigrômetro	16
Figura 14 – Anemômetro Ultrassônico	17
Figura 15 – Barômetro	18
Figura 16 – Pluviômetro	18
Figura 17 – Cadastramento de estação	24
Figura 18 – Inserção de Dados	25
Figura 19 - Extração de Arquivos	26
Figura 20 – Gráfico de dispersão da radiação global em função do Ângulo Zenital entre 0° a 100°, com dados validos (DV) em preto, limite extremamente raro (ER) em amarelo, limite fisicamente possível (FP) em vermelho e onde o desvio Padrão foi igual a zero (DP) em Azul.	28

Figura 21 – Gráfico de dispersão da radiação global em função do ângulo zenital entre 90° a 180° com dados válidos (DV), em preto, limite extremamente raro (ER) em amarelo, limite fisicamente possível (FP) em vermelho, e onde o desvio Padrão foi igual a zero (DP) em Azul. _____ 29

Figura 22 – Gráfico de dispersão da radiação global sobre a soma das radiações em função do ângulo zenital com dados válidos em preto e limites máximos aceitáveis em azul. _____ 31

Figura 23 – Gráfico de dispersão da radiação difusa em função do ângulo zenital entre 0° a 100° com dados válidos (DV) em preto, limite extremamente raro (ER) em amarelo, limite fisicamente possível (FP) em vermelho e onde o desvio Padrão foi igual a zero (DP) em azul. _____ 32

Figura 24 – Gráfico de nuvens da radiação difusa em função do ângulo zenital entre 90° a 180° com dados válidos (DV) em preto, limite extremamente raro (ER) em amarelo, limite fisicamente possível (FP) em vermelho e onde o desvio padrão foi igual a zero (DP) em azul. _____ 33

Figura 25 – Gráfico de dispersão da radiação difusa sobre a radiação global em função do ângulo zenital; com dados válidos (DV), em preto, dados suspeitos (DS) em vermelho e limite máximo aceitável em Azul. _____ 34

Figura 26 – Gráfico de dispersão da radiação direta sobre a radiação global em função do ângulo zenital entre 0° a 100° com dados válidos (DV) em preto, limite extremamente raro (ER) em amarelo, limite fisicamente possível (FP) em vermelho e onde o desvio padrão foi igual a zero (DP) em Azul. _____ 35

Figura 27 – Gráfico de dispersão da radiação direta sobre a radiação global em função do ângulo zenital entre 90° a 180° com dados válidos (DV) em preto, limite extremamente raro (ER) em amarelo, limite fisicamente possível (FP) em vermelho e onde o desvio padrão foi igual a zero (DP) em Azul. _____ 35

Figura 28 – Gráfico de dispersão da radiação de onda longa em função do ângulo zenital; com dados válidos (DV) em preto; limite extremamente raro (ER) em amarelo e limite fisicamente possível (FP) em vermelho. _____ 37

Figura 29 – Gráfico de dispersão com dados validos (DV) em preto, limite mínimo em azul e limite fisicamente possível em vermelho. _____ 38

Figura 30 - Resumo dos Resultados de radiação global _____ 39

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Comparação do potencial solar com outras fontes energéticas	6
Tabela 2 – Critérios da BSRN para dados Radiométricos	22
Tabela 3 – Dados de Agosto de uma estação.....	40

Sumário

Dedicatória	i
Agradecimentos.....	ii
Resumo	iii
Abstract	iv
Lista de Ilustrações.....	v
Lista de Tabelas	viii
Sumário	ix
1 Introdução.....	1
2 A Energia Solar.....	5
2.1 Energia Solar Fotovoltaica	7
2.2 Energia Solar Heliotérmica.....	9
3 Campanha de Medição Solar	10
3.1 Estações de Referência	12
4 Metodologia	19
4.1 Validação dos Dados	19
4.2 Linguagem Python	22
4.3 Banco de Dados SQLite3.....	23
4.4 Funcionamento do Algoritmo	24
4.4.1 Cadastramento	24
4.4.2 Inserção de Dados	25
4.4.3 Extração do Relatório	25
4.5 Formatos do Relatório Final	26
4.6 Método de Validação	27
5 Resultados e Discussões	28
5.1 Gráficos.....	28
5.1.1 Radiação Global	28

5.1.2 Radiação Difusa	31
5.1.3 Radiação Direta.....	34
5.1.4 Radiação de Onda Longa.....	36
5.2 Resumo dos Dados.....	38
5.3 Validação dos Dados	39
6 Conclusões	41
7 Referências	42

1 Introdução

Com intuito de garantir uma maior variabilidade na matriz energética, políticas públicas de incentivo a investimentos no setor de energias renováveis crescem a cada ano no mundo. O Brasil, destaque mundial na área com 41,2% do consumo advindos de recursos renováveis (BEN, 2016), volta sua atenção para a extração de energia elétrica através, principalmente, da força dos ventos e da radiação solar, o que vem sendo demonstrado pelo aumento nos investimentos e em leilões de energia para essas áreas. Com essa demanda em mente, surge conseqüentemente a necessidade que se ocorra campanhas de medição do recurso energético disponível em diversos locais do país. Essas campanhas são feitas por estações anemométricas, solarimétricas e meteorológicas que funcionam com diversos sensores para captar e estimar o potencial energético da região. Essas estações devem fornecer leituras confiáveis durante longos períodos de tempo de forma a assegurar um estudo detalhado da região, garantindo a confiabilidade da informação de qualquer empreendimento relacionado ao estudo.

Para garantir que essas estações funcionem adequadamente, torna-se indispensável o acompanhamento e gerenciamento dos instrumentos instalados em campo de forma eficaz. A falta de detecção de falhas nos sensores instalados ou até mesmo a demora nesta identificação pode invalidar toda uma campanha de medição (que chega a durar até três anos no caso de energia solar) tornando-a não apta à participação de um leilão de energia, por exemplo. Essas falhas no equipamento podem ser causadas por diversos fatores, seja no processo de fabricação ou por sofrer algum dano no ambiente em que foram instalados, tais como raios, acidentes com animais ou problemas relacionados à ação humana.

O Centro de Tecnologias do Gás e Energias Renováveis - CTGAS-ER opera e mantém sete estações solarimétricas que funcionam de modo independente e estão espalhadas por todo o país, podendo ser acessadas remotamente pela instituição. Essas estações fornecem dados de radiação solar e meteorológicos seguindo os critérios adotados pelo Centro Mundial de Monitoramento da Radiação – WRMC (*World Radiation Monitoring Center*) e pela Rede de Estações de Superfície para Medição de Radiação – BSRN (*Baseline Surface Radiation Network*), referências na área. No Brasil, o Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais – Rede

SONDA, nascido de um projeto do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, também realiza essa atividade e segue como base os mesmos critérios adotados internacionalmente.

Como as estações estão em locais distintos pelo país, torna-se inviável, tanto financeiramente quanto por questão de tempo, que haja o acompanhamento presencial em todas elas. Para contornar essa situação, o trabalho do funcionário habilitado é o de verificar, através da leitura dos dados acessados remotamente, se a estação está operando do modo esperado, assim como comparando a leitura de sensores e observando o seu grau de correlação. Entretanto, não se havia encontrado nenhuma ferramenta para atuar nessa área específica, de modo a facilitar o trabalho desde o técnico interessado na qualidade dos dados ao empreendedor que deseja garantir que seu investimento possua retorno financeiro.

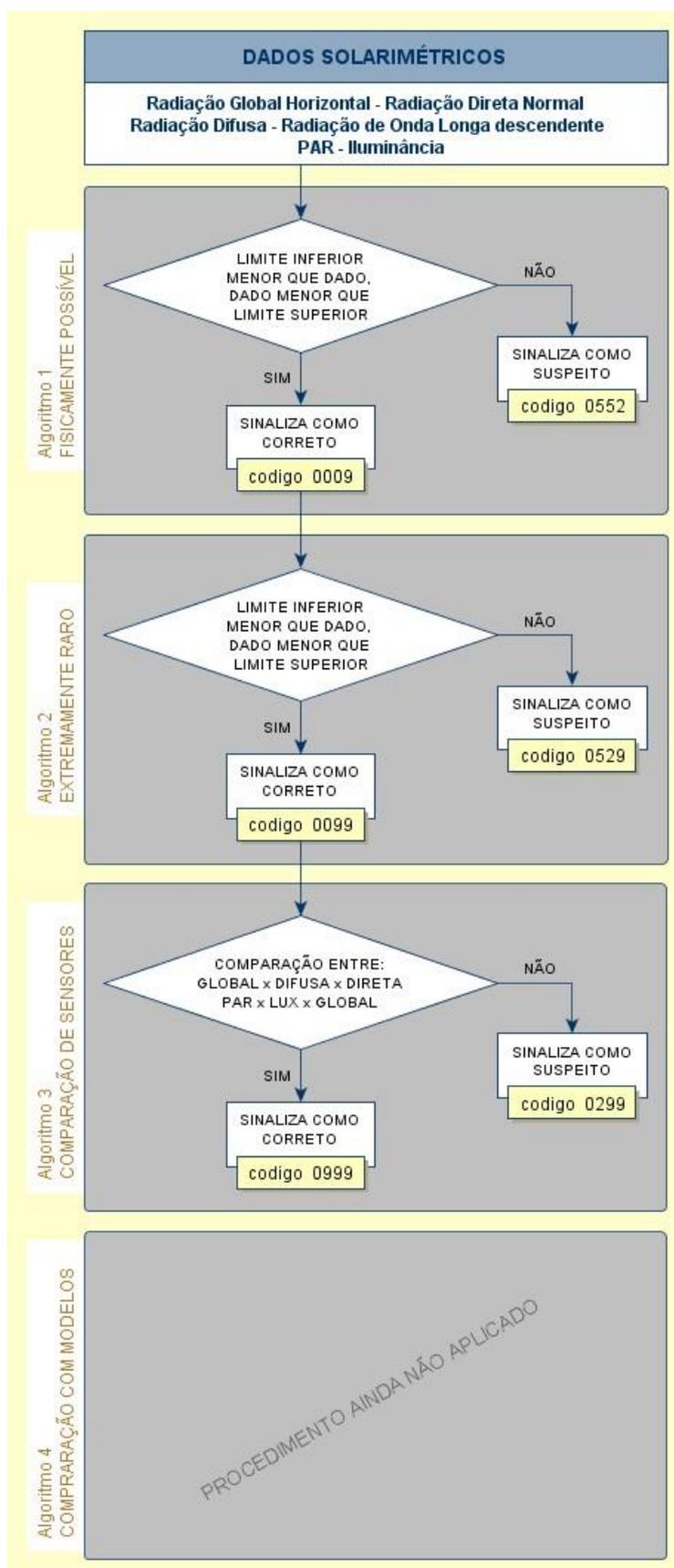
O CTGAS-ER aplicava a metodologia de controle de qualidade dos dados de forma não automatizada e pouco intuitiva. O uso desse método poderia ocasionar em demora na análise dos dados, o que implicaria na também no atraso do reconhecimento de um possível defeito em algum instrumento e, conseqüentemente, no envio tardio da equipe de manutenção para correção do problema, podendo ocasionar inclusive perda de dados. Para solucionar essa situação, foi desenvolvido um algoritmo, intitulado de *Python Estação Solar – PyES*, com intuito de sanar todas as exigências envolvendo o período de coleta de dados dessas estações.

O desenvolvimento do algoritmo exigia a criação de uma interface gráfica intuitiva para permitir que o usuário cadastrasse as estações, dispondo informações referentes ao seu posicionamento geográfico para que, em seguida, se inserisse os dados da estação através de um arquivo no formato ‘.dat’, padrão em todas as estações, em um banco de dados. Com a inserção realizada, o usuário operador pode escolher qual tipo de relatório técnico se deseja obter, conforme a necessidade da situação. Os relatórios também deveriam atender a diversos objetivos dependendo do período dos dados, variando desde apenas um relatório diário até relatório anual ou de todo o período de medição. Para facilitar as atividades referentes a empreendimentos do setor solar, esse trabalho também procurou atender as demandas da Empresa de Pesquisa Energética – EPE, que dispõe modelos que

serviram de base para a elaboração de tabelas de potencial energético anual nesse trabalho.

Como o escopo principal do trabalho está no tratamento de dados para analisar se os sensores da estação estão trabalhando de forma adequada, testes são seguindo recomendações da BSRN. Caso a leitura passe por todos os testes, a leitura é tida como um bom sinal. A rede SONDA apresenta um fluxograma dos testes definidos pela BSRN para dados radiométricos, apresentado na Figura 1, que ilustra sobre o fluxograma dos testes que devem ser realizados e que serão explicados melhor no decorrer desse trabalho.

Figura 1 – Fluxograma do Processo de validação de dados Solarimétricos



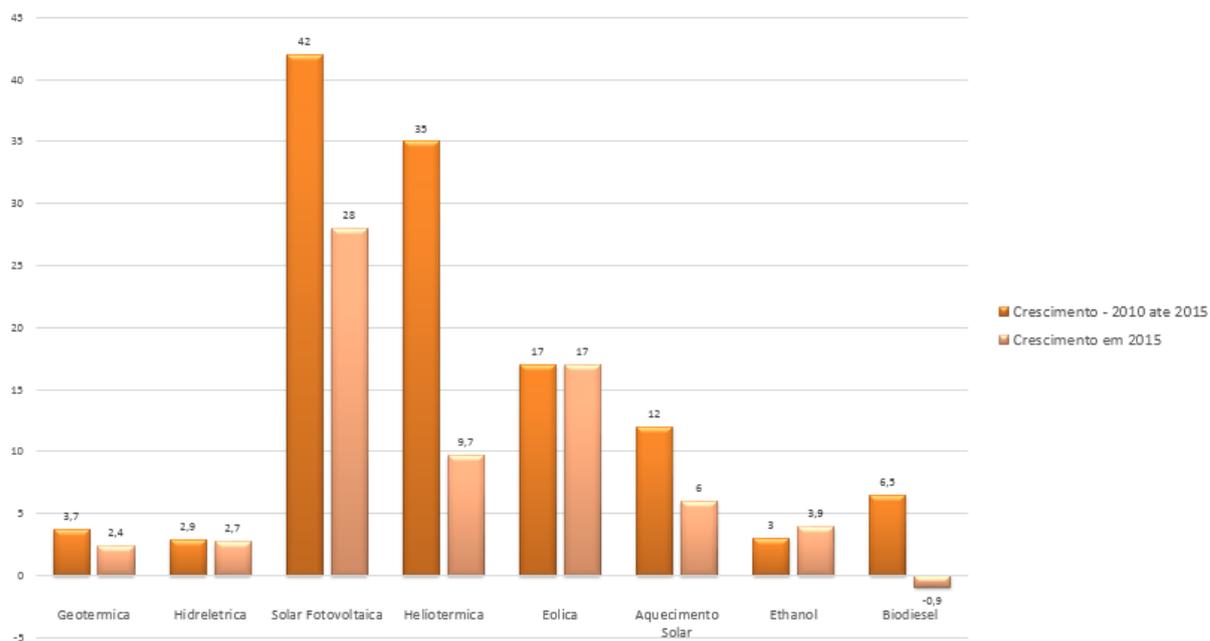
2 A Energia Solar

Energias Renováveis são definidas como formas de obtenção de energia provenientes de recursos naturais que são rapidamente restabelecidos e agridem o meio ambiente de forma menos severa comparada com outras formas. Para a produção de energia elétrica, é possível notar um crescimento mundial aliado a demanda cada vez maior de consumo energético do setor de modo que, aos poucos tomam o lugar de fontes mais estabelecidas no mercado, tais como combustíveis fósseis. A *U.S Energy Information Administration*, instituto norte-americano responsável pelo estudo energético no país, estipula que, em meados de 2040, a produção de energia renovável para a geração de eletricidade possa superar o consumo de energia nuclear e o uso de carvão mineral (EIA, 2016).

Dentre as fontes de energias renováveis, as de principal destaque são a Eólica, Biomassa, Hidrelétrica e Solar como as formas que mais ganham mercado. Apesar disso, essas formas de obtenção de energia, em 2015, foram responsáveis apenas por 23,7% do que foi consumido no mundo, porém no ano de 2014 representava 19,2% do consumo, o que demonstra o gradativo aumento anual desse setor. Diversos países já traçaram metas para o aumento constante do consumo desse tipo de energia, a Dinamarca, por exemplo, tem como meta que seu consumo energético seja 100% proveniente de fontes renováveis até 2050, enquanto que a Alemanha estipula uma meta de 80%(REN21,2016). Em termos de mercado de trabalho, estipula-se que cerca de 8,1 milhões de empregos foram gerados diretamente na área em 2014, as formas de obtenção de energia diretamente proveniente do setor solar foram o destaque nesse quesito, totalizando mais de 3,6 milhões de empregos diretos na produção, instalação e manutenção dessa forma de tecnologia (REN21,2016).

Na Figura 2 é possível observar a taxa de crescimento anual de capacidade energética entre o ano de 2010 a 2015 e somente em 2015. Observa-se que a Solar Fotovoltaica e a Heliotérmica, ambas formas de conversão de radiação solar em eletricidade, ganharam destaque nesses períodos.

Figura 2 – Taxa de crescimento das energias renováveis



Fonte: (REN21, Modificado, 2016)

A energia solar ainda se destaca como a forma de energia mais abundante e com maior potencial energético. A Tabela 1 mostra um comparativo do potencial energético máximo disponível com relação a outras fontes de energia renováveis e seu percentual em comparação a potência máxima solar.

Tabela 1 – Comparação do potencial solar com outras fontes energéticas

Fonte Energética	Potencia Máxima	Quantidade em Relação a Energia Solar(%)
Solar	85.000 TW	100
Térmica oceânica	100 TW	0,12
Eólica	72 TW	0,08
Geotérmica	32 TW	0,38
Hidrelétricas	7 TW	0,008
Biomassa	6 TW	0,008
Marés	3 TW	0,003
Ondas Costeiras	3 TW	0,003

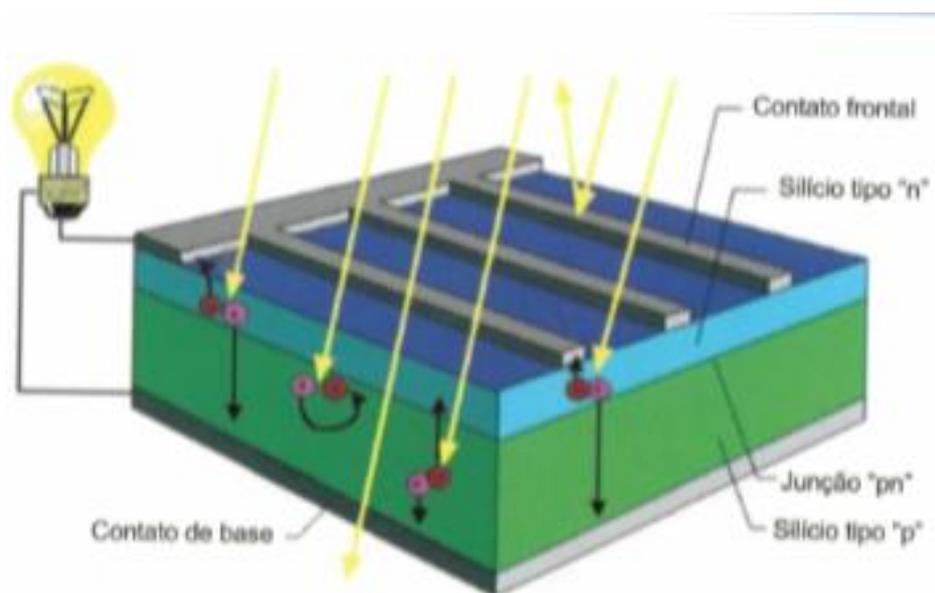
Fonte: (ABBOTT, D., 2010, Modificado).

A radiação solar pode ser utilizada diretamente como fonte de energia térmica, para aquecimento de fluidos e ambientes e geração de energia elétrica ou mecânica, podendo ainda ser convertida diretamente em energia elétrica, por meio de efeitos sobre determinados materiais, destacando-se o termoelétrico e o fotovoltaico (LOPEZ, 2012).

2.1 Energia Solar Fotovoltaica

Energia Solar fotovoltaica é a conversão direta da energia luminosa em energia elétrica. O seu componente principal é a célula fotovoltaica, constituída por um semicondutor, normalmente o Silício (Si). Naturalmente o Silício é um isolante elétrico, somente após o processo de dopagem, no qual se adiciona impurezas ao Silício de modo que ele passe a receber ou doar elétrons, criando semicondutores tipo-P ou tipo-N, respectivamente. Ao ligar um semicondutor tipo-N com um semicondutor tipo-P, é criada uma junção PN que quando um fóton de luz incide sobre ele excita um elétron da camada de valência do silício e como resultado ocorre a liberação desse elétron formando uma nova lacuna. Os elétrons liberados são acelerados, devido ao campo elétrico, o que forma uma diferença de potencial denominada efeito fotovoltaico (TOGAWA, 2014). A Figura 3 mostra a ilustração de um corte transversal de uma célula fotovoltaica que recebe fótons de luz.

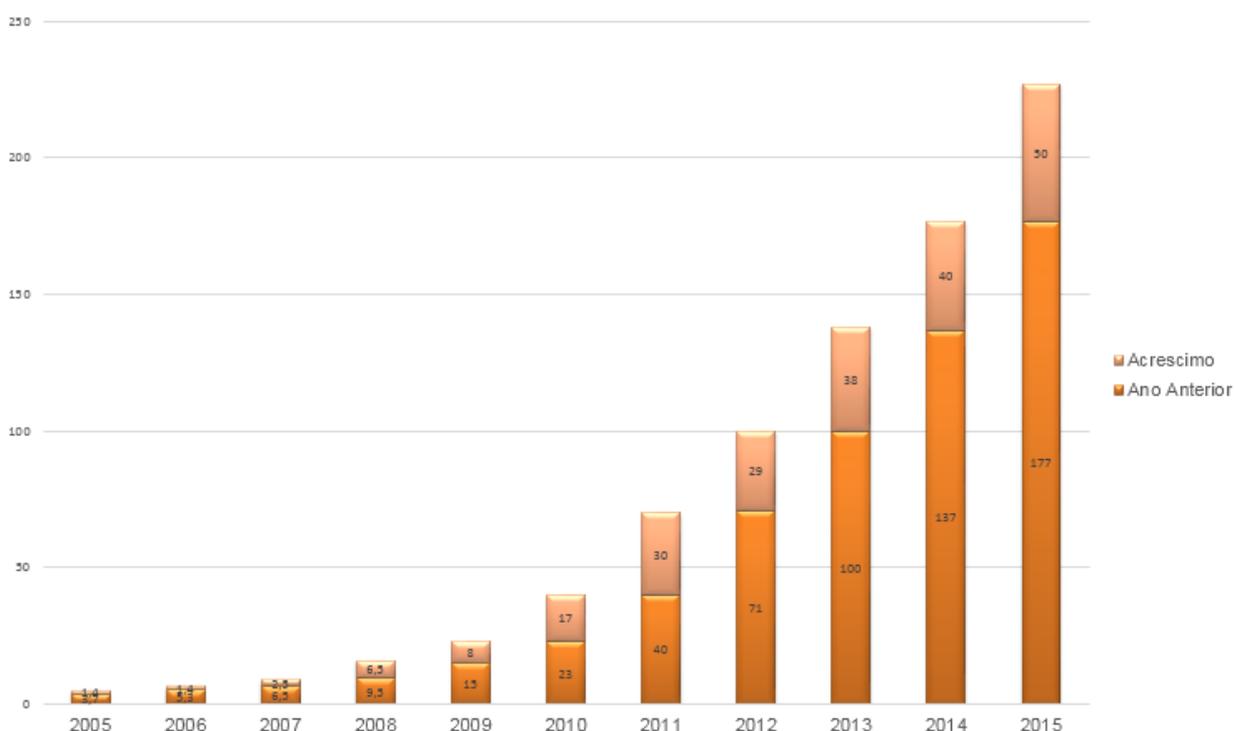
Figura 3 – Corte Transversal de uma Célula Fotovoltaica



Fonte: (LOPEZ, 2012)

Essa forma de obtenção se destaca pelo maior crescimento com relação a outras, esse motivo ocorre devido a constante diminuição do custo dessa tecnologia, aliada a uma maior eficiência e também ao fato de poder ser aplicada em residências domiciliares, além de grandes empreendimentos, com intuito de diminuir as despesas com o consumo tradicional advindo da rede elétrica. A Figura 4 representam o crescimento dessa tecnologia do ano de 2005 até 2015.

Figura 4 – Taxa de crescimento entre 2005 - 2015



Fonte: (REN21, Modificado, 2016)

Um painel solar é criado através da junção de várias células fotovoltaicas e são vendidos conforme a potência gerada, variando de tamanho, preço e eficiência energética. Outra forma de trabalhar com células fotovoltaicas é com o uso de concentradores solares que, antes da conversão da energia, concentram os raios solares para atingirem a célula fotovoltaica com mais intensidade, o que diminui a quantidade de células a serem utilizadas, mas necessitam de equipamentos de rastreamento do Sol para uma maior eficiência do mesmo. As figuras 5 e 6 ilustram as formas comuns de painéis solares fotovoltaicos e painéis concentradores fotovoltaicos.

Figura 5 – Painel Solar Fotovoltaico



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

Figura 6 – Painel Concentrador Fotovoltaico



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

2.2 Energia Solar Heliotérmica

As tecnologias heliotérmicas concentram os raios solares por meio de refletores ou lentes que rastreiam o sol, focalizando os raios solares sobre um receptor, onde a energia solar é convertida na forma de calor que é utilizado em usinas termelétricas para a produção de eletricidade. Para um melhor aproveitamento desse tipo de tecnologia, é necessário um local com alta incidência de radiação solar direta, que implica em pouca intensidade de nuvens e baixos índices pluviométricos, como ocorre no semiárido brasileiro e regiões desérticas.

A usina de IVANPAH, ilustrada na Figura 7, representa em 2016 o maior empreendimento no setor solar do mundo, possuindo uma capacidade de produção de 392 megawatts de energia, sendo capaz de fornecer energia para mais de 140.000 casas e construída em 3.500 acres de terra no deserto localizado em Ivanpah Dry Lake, na Califórnia, Estados Unidos.

Figura 7 – Visão aérea da Usina de IVANPAH



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

3 Campanha de Medição Solar

Apesar do alto potencial energético solar existente, a quantidade de energia incidente sobre uma superfície, no período de um dia, é em média $0,2 \text{ kWh/m}^2$ (LOPEZ, 2012), sendo afetado por fatores climáticos e pela incidência de nuvens no local. Com isso o setor solar necessita de estudos de potencial energéticos bem elaborados para aperfeiçoar a obtenção energética, potencializando ao máximo o uso de coletores espalhados por uma grande área para que seu rendimento seja satisfatório.

A radiação solar global (Global SW ou GHI) é toda a radiação que chega à superfície terrestre e se divide em radiação solar direta (Dir SW ou DNI) e radiação solar difusa (Dif SW ou DHI) (ESCOBEDO, 2008). A radiação direta é aquela que não sofreu nenhuma espécie de mudança de trajetória até incidir em um corpo, enquanto que a componente difusa da radiação global sofre ações de reflexão, sendo principalmente afetado pela ação de nuvens e partículas presentes no ar.

Desde 2016, toda empresa que deseja participar de um leilão de energia para se conectar à rede elétrica através da geração de energia solar, necessita realizar uma campanha de medição na região que deseja empreender, esse estudo é importante para garantir que o empreendimento possua os dados necessários para estimar com precisão o potencial energético no local. A EPE tem por finalidade prestar serviços na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético. Com isso é responsável por realizar Instruções para solicitação de cadastramento e habilitação técnica com vistas à participação nos leilões de energia elétrica. Para empreendimentos do setor solar, tanto empreendimentos fotovoltaicos quanto heliotérmicos precisam atender alguns requisitos referentes a campanha de medição a ser aplicada, tais como:

1. As medições deverão ser realizadas, com pelo menos uma estação solarimétrica, dentro de um raio máximo de até 10 km do local do empreendimento;
2. Frequência de medição deve ser a cada segundo e os dados integralizados a cada dez minutos;
3. Campanhas de medição com período mínimo de 12 meses consecutivos e a partir de 2018 empreendimentos heliotérmicos deverão atender a um período mínimo de 36 meses de medição;
4. Perda de dados inferior a 10% do total de medições e o período contínuo de ausência de medições não poderá superar 15 dias;
5. Para empreendimentos fotovoltaicos, as grandezas mínimas medidas deverão ser a de irradiação global horizontal (medida por dois Piranômetros), a temperatura do ambiente, umidade relativa do ar e velocidade do vento. Para empreendimentos heliotérmicos, além das grandezas citadas anteriormente, são necessárias leituras de irradiação difusa horizontal e irradiação direta normal.

A não conformidade com qualquer desses requisitos pode comprometer toda a campanha de medição, podendo inviabilizar o empreendimento, implicando um alto gasto tanto financeiro quanto de tempo. Com isso, enfatiza-se a necessidade que haja um método eficiente capaz de verificar se a estação solarimétrica que realiza a medição está funcionando de forma correta para que, caso haja algum defeito no

equipamento, seja possível realizar uma manutenção da forma mais rápida possível, minimizando a perda de informação.

3.1 Estações de Referência

Nas estações tomadas como base nesse trabalho, foram instalados todos os equipamentos necessários para uma campanha de medição exigida pela EPE tanto para empreendimentos fotovoltaicos quanto heliotérmicos. A seguir segue uma breve explicação sobre os componentes instalados na estação localizada no piso superior do CTGAS-ER.

O Piranômetro é o instrumento utilizado tanto para a leitura da radiação global quanto da radiação difusa sendo que no segundo caso se acopla um instrumento chamado de anel de sombreamento para que seja possível remover a influência da radiação direta no equipamento. Normalmente esses equipamentos de medida utilizam sensores de radiação a termopilha, constituídos por pares termoelétricos que produzem tensão elétrica conforme o aumento de temperatura, que é relacionado ao valor de irradiância solar obtido. O modelo utilizado na estação é *CPM22* da *Kipp & Zonen*, mostrado na figura 8, que fornece em a leitura em Watts por metro quadrado (W/m^2) enquanto que a Figura 9 mostra o equipamento de sombreamento para bloquear o recebimento da radiação direta.

Figura 8 – Piranômetro para leitura de radiação global



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

Figura 9 – Piranômetro com sombreamento para a leitura de radiação difusa



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

O Pireliômetro é responsável pela leitura da radiação direta e emprega o mesmo princípio de medição do Piranômetro com a diferença de utilizar um “colimador”. O colimador tem um campo de visão padrão internacional de 5° de ângulo sólido. Para realizar a leitura, é necessário que esteja sempre apontado para o sol, por esse motivo, o sensor precisa estar acoplado a um rastreador solar, com movimento em dois eixos capaz de localizar e manter esse alinhamento. Existem alguns rastreadores com diversos sensores, sendo responsável pelo suporte ao equipamento de sombreamento do Piranômetro para a leitura da radiação difusa. O modelo utilizado na leitura da radiação direta foi o CHP1 da *Kipp & Zone*, mostrado na Figura 10, que possui uma janela de quartzo para proteger o sensor e atuar como filtro de radiação e fornecer a leitura em Watts por metro quadrado (W/m^2). Já o rastreador solar utilizado foi o modelo *Solys* da *Kipp & Zonen*, mostrado na Figura 11.

Figura 10 – Pireliômetro para leitura da radiação direta



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

Figura 11 – Rastreador Solar que acompanha o movimento do Sol



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

O Pirgeômetro (Figura 12) é responsável pela leitura de radiação de onda longa em W/m^2 , essa radiação surge devido a ação do aquecimento do solo proveniente da radiação global incidida em um ambiente. A radiação de onda longa é medida principalmente porque existe uma forte correlação entre sua intensidade e a presença de nuvens convectivas profundas. Esses sensores não são necessários em campanhas de medição voltadas para empreendimentos fotovoltaicos e heliotérmicos. O modelo utilizado foi o CRG4 da Kipp & Zonen, que como os outros sensores radiométricos mostrados, fornece os dados em Watts por metro quadrado (W/m^2).

Figura 12 – Pirgeômetro para leitura de radiação de onda longa



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

O termohigrômetro (figura 13) permite a leitura da umidade relativa (%) e da temperatura, em graus Celsius(C°), para isso é instalado em um abrigo que permite a proteção contra o meio externo que possam ocasionar erros de leitura nos sensores. O modelo 41382, utilizado na estação, ainda possui um sistema de ventilação para garantir que a temperatura interna no abrigo do sensor seja igual a externa.

Figura 13 – Termohigrômetro



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

O Anemômetro ultrassônico (Figura 14) é capaz de obter a velocidade do vento juntamente com a direção do mesmo, dispensando o uso de equipamentos separados, como, por exemplo, anemômetro de copo e biruta. O modelo utilizado, o windsonic1-L, por não possuir componentes mecânicos em sua estrutura, tendem a não necessitar de reparos constantemente. Entretanto, foi constatado que quando o sensor não obtinha a leitura da velocidade do vento, o valor da direção também era impactado, caracterizando uma desvantagem comparada ao modelo menos robusto com sensores de velocidade e direção do vento separados. As leituras de velocidade de vento para esse sensor são em metros por segundo (m/s) e em graus para a direção do vento.

Figura 14 – Anemômetro Ultrassônico



Fonte: <https://www.campbellsci.com>

O barômetro é responsável pela leitura da pressão atmosférica, o modelo utilizado foi o PTB110, mostrado na Figura 15, que possui um range de leitura entre de 500 a 1100 Mbar. O pluviômetro, calcula a precipitação pluviométrica através de um funil responsável pela captação da água da chuva e conduz para um mecanismo que após receber uma determinada quantia de água, gera um pulso para um valor de volume fixo. O Modelo do pluviômetro foi da *Campbell Scientific* Modelo TB4 e é ilustrado na Figura 16.

Figura 15 – Barômetro



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

Figura 16 – Pluviômetro



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

4 Metodologia

Esse capítulo trata da forma como foi desenvolvido o algoritmo, partindo do método de validação dos dados juntamente as formulas utilizadas no algoritmo até as estratégias para controle para facilitar a avaliação dos dados do usuário. Por último, é detalhada a estratégia de validação da informação.

4.1 Validação dos Dados

Para conseguir compreender completamente o estudo de validação dos dados, é necessário conhecer as variáveis que precisam ser calculadas para realizar os testes da BSRN. As informações sobre a posição geográfica onde foi instalada a estação são a base para conhecer o comportamento do posicionamento solar na região. As coordenadas do sistema geográfico são a latitude (ϕ) e a longitude (λ) e são utilizadas para localizar pontos na superfície terrestre, a latitude é computada a partir da linha do equador e varia de -90° e 90° , sendo positivo no hemisfério norte, enquanto a longitude varia de -180° e 180° e é computada a partir do Meridiano de Greenwich, sendo negativa a oeste de Greenwich e positiva a leste.

Em seguida, é feita a estimativa da taxa de energia solar incidente sobre uma superfície horizontal unitária situada no topo da atmosfera terrestre (S_a), utilizou-se a expressão definida em função da constante solar ($i_{sc} = 1367 \text{ w/m}^2$) e o fator de correção da excentricidade da órbita terrestre (E_o), mostrado na equação 1.

$$S_a = i_{sc} E_o \quad (1)$$

Onde:

$$E_o = 1,000110 + 0,0034221 \cos(\Gamma) + 0,001280 \text{sen}(\Gamma) + 0,000719 \cos(2\Gamma) + 0,000077 \text{sen}(2\Gamma) \quad (2)$$

Na equação 2, Γ é dado em radianos e é chamado de dia angular, sendo representado em função do dia do ano em juliano (d_n) e é ilustrada na equação 3.

$$\Gamma = 2\pi(d_n - 1)/365 \quad (3)$$

A elevação é computada a partir do horizonte até o astro, sobre o semi-plano vertical que contém o astro e varia de 0° a 90° , para astros “visíveis” acima do horizonte. O ângulo zenital (AZS) é o complementar à elevação solar e constitui um referencial importante para os testes. O valor μ_0 equivale ao cosseno do ângulo zenital e é medido em função da latitude do local (ϕ), da declinação solar (δ) e do ângulo horário (ω), sendo representado pela expressão 4.

$$\mu_0 = \cos AZS = \cos \phi \cos \delta \cos \omega + \text{sen } \phi \text{ sen } \delta \quad (4)$$

Nos critérios da BSRN, se $AZS > 90^\circ$, μ_0 é considerado nulo.

A declinação solar (δ) depende do valor do ano em juliano (d_n). Tem variação entre $-23^\circ 27'$ no solstício de verão e $+23^\circ 27'$ no solstício de inverno e é dado pela equação 5.

$$\delta = 23,45 \text{sen} \left\{ \frac{360}{365} (d_n + 284) \right\} \quad (5)$$

O ângulo horário solar (ω) corresponde ao deslocamento angular do movimento aparente do sol devido a rotação da terra e varia entre -180° e $+180^\circ$. Cada hora corresponde a 15° de variação do ângulo solar. Por convenção, nas manhãs são negativos, nas tardes positivos e ao meio dia vale zero. Pode ser calculado conhecendo-se a hora local:

$$\omega = \{(12 - TST) \times 15\} \quad (6)$$

TST é a hora solar verdadeira e depende da hora local aparente (LAT) e é ilustrada na equação (7).

$$TST = LAT + (4 \times (longderef - \lambda) + \epsilon_t)/60$$

(7)

A longitude de referência (*longderef*) é em relação ao meridiano de Greenwich com a longitude local.

A diferença entre a hora solar média e a hora solar verdadeira é definida como sendo Equação do Tempo. A equação do tempo decorre do fato de que a velocidade da Terra em torno do Sol não é constante (translação numa órbita elíptica). A equação do tempo varia com o dia do ano:

$$\epsilon_t(\Gamma) = 1440/2\pi (0,000075 + 0,001868 \cos(\Gamma) - 0,032077 \text{ sen}(\Gamma) - 0,014615 \cos(2\Gamma) - 0,04089 \text{ sen}(2\Gamma))$$

(8)

Por fim, σ é constante de Stephan-Boltzman e equivale a $5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ e temperatura (T_a) é a temperatura do ar em graus Kelvin e deve estar no intervalo entre $170\text{K} < T_a < 350\text{K}$.

Como dito anteriormente, os métodos de validação dos dados seguem como referência as estratégias de controle da BSRN. Os testes são chamados de *Fisicamente Possível*, *Extremamente Raro* e de *Comparação de Sensores*. Os intervalos destes testes são definidos pela Tabela 2. Como mostrado na Figura 1, caso a leitura do sensor passe em todos os testes, o sinal é tido como correto e inserido como leitura válida.

Tabela 2 – Critérios da BSRN para dados Radiométricos

Variáveis	Fisicamente Possível	Extremamente Raro	Comparação de Sensores
Radiação Global – GHI	Desvio padrão $\neq 0$ Min: -4 Max: $Sa \times 1,5 \times \mu_0^{1,2} + 100$	Min: -2 W/m ² Max: $Sa \times 1,2 \times \mu_0^{1,2} + 50$	(GHI) / (DNI + $\mu_0 DHI$) deve estar entre $\pm 10\%$ de 1,0 para AZS < 75°, Sum > 50 (Global) / (DNI + $\mu_0 DHI$) deve estar entre $\pm 15\%$ de 1,0 para 93° > AZS > 75°, Sum > 50
Radiação Difusa – DHI	Desvio padrão $\neq 0$ Min: -4 Max: $Sa \times 0,95 \times \mu_0^{1,2} + 50$	Min: -2 Max: $Sa \times 0,75 \times \mu_0^{1,2} + 30$	(DHI) / (Global) < 1,05 para AZS < 75°, Global > 50 (DHI) / (Global) < 1,10 para 93° > AZS > 75°, Global > 50
Radiação Direta Normal - DNI	Desvio padrão $\neq 0$ Min: -2 Max: $Sa \times 0,95 \times \mu_0^{0,2} + 10$	Min: -2 Max: $Sa \times 0,95 \times \mu_0^{0,95} + 10$	Direta $\times \mu_0 - 50 \leq$ Direta horizontal (Global - Difusa) \leq Direta $\times \mu_0 + 50$
Radiação de Onda Longa - LWdn	Min: 40 Max: 700	Min: 60 Max: 500	$0,4 \times \sigma Ta4 < LWdn < \sigma Ta4 + 25$

Fonte: (<http://sonda.ccst.inpe.br/>)

4.2 Linguagem Python

A linguagem Python foi criada no começo de 1990 por Guido van Rossum, no Instituto Nacional de Pesquisa para Matemática e Ciência da Computação da Holanda (CWI) como sucessora de uma linguagem chamada de ABC. O primeiro intuito da linguagem era com usuários da área de exatas, como engenheiros e físicos.

Dentre todas as linguagens, Python é uma das que mais se destaca em possuir uma sintaxe clara e concisa, tornando a programação mais intuitiva, fazendo com o que o programador foque mais no que tem interesse em fazer, ao invés de se preocupar em como fazê-lo.

A linguagem ainda está atualizada com os paradigmas de programação mais atuais, tais como Programação Orientada a Objetos (POO), programação modular e paralela. Atualmente essa linguagem está bem aceita no mercado, como empresas como Google, Yahoo e a Disney utilizando-a.

O programa foi dividido em 4 módulos, com propósitos distintos que permitiam o trabalho paralelo entre elas. Esses módulos eram salvos no formato padrão do Python e foram nomeados como:

- *Interface.py*: responsável por toda a codificação referente a interface gráfica do programa. Essa interface foi toda feita utilizando a biblioteca Tkinter, padrão pra programação de interface em Python.
- *APC.py*: responsável por ler o arquivo fornecido pelo usuário e fazer as operações de testes referentes aos critérios da BSRN.
- *SQLite.py*: responsável por toda a comunicação com o banco de dados através da linguagem.
- *Planilha.py*: criação do layout do relatório, esse modulo utilizou como base a biblioteca *Openpyxl*, padrão para a criação de planilhas.
- *Grafico.py*: componente que compilou todas as ferramentas de criação de gráficos a serem jogados no relatório final.

4.3 Banco de Dados SQLite3

O *SQLite* é uma pequena biblioteca C que implementa um banco de dados completo e foi escolhido para realizar o armazenamento e a administração dos dados da estação por diversos motivos, dentre os quais destacam-se:

- Código fonte em domínio público, livre para qualquer tipo de uso.
- Fácil configuração e comunicação com a linguagem Python através da biblioteca *sqlite3*
- Dispensa o uso de criação de servidores locais para a realização de testes, permitindo que se trabalhe de modo *off-line*
- Através de complementos e extensões de navegadores, como o *SQLite Manager*, por exemplo, é possível gerenciar o banco de dados de forma prática

Apesar desses pontos positivos, o *SQLite* ainda encontra dificuldades em lidar com múltiplos usuários e uma alta quantidade de dados, mas de acordo com os parâmetros desse trabalho, onde apenas um usuário teria acesso ao banco por vez, o *SQLite* atendia a todos os requisitos exigidos.

4.4 Funcionamento do Algoritmo

Para o usuário que vai trabalhar diretamente com o algoritmo, é possível dividi-lo em três áreas principais: A realização do cadastramento da estação; a inserção dos dados e a geração do relatório final.

4.4.1 Cadastramento

Primeiramente, o usuário necessita cadastrar a estação, fornecendo um nome e as coordenadas geográficas de latitude, longitude e longitude de referência em graus, tal como é mostrada na figura 17. Após fornecer todas as informações pertinentes ao posicionamento, basta clicar no botão 'Salvar' para que esses valores sejam salvos no banco de dados. O botão 'Zerar Registro' serve como forma de apagar alguma estação que por erro do usuário, foi cadastrada de forma incorreta, bastando apenas que o usuário preencha o nome da estação com erro e clique no referido botão.

Figura 17 – Cadastramento de estação

Estação =	<input type="text" value="Exemplo_Estacao"/>
Latitude =	<input type="text" value="-30"/>
Longitude =	<input type="text" value="-60"/>
Longref =	<input type="text" value="-45"/>
	<input type="button" value="Salvar"/>
	<input type="button" value="Zerar Registro"/>

Fonte: Própria do Autor

4.4.2 Inserção de Dados

Para inserir os dados, basta selecionar a estação cadastrada previamente e procurar pelo respectivo arquivo. A inserção de dados é o processo que demanda mais tempo, visto que programa realiza a leitura a cada linha do arquivo, faz as operações matemáticas para em seguida inserir no banco de dados do *SQLite*. A figura 18 mostra o esquemático da aba de inserção de dados.

Figura 18 – Inserção de Dados

The image shows a software interface for data insertion. It consists of the following elements:

- A label "Inserir Dados" followed by a dropdown menu containing the text "Example_Station".
- A label "Arquivo =" followed by a text input field containing "Example.dat" and a small button with three dots (file selection).
- A button labeled "Inserir Dados" positioned below the input fields.

Fonte: Própria do Autor

4.4.3 Extração do Relatório

A Extração de arquivos dispõe da mesma caixa de seleção da Aba de Inserção de dados, mas agora com propósito de seleção de estação para a criação do relatório. Em seguida, são mostrados logo abaixo, intervalos de início e fim do período que se deseja obter. Além disso, caixas de seleção são dispostas ao lado direito da interface de modo que o usuário selecione quais tipos de informação necessita no momento nesse determinado intervalo. O relatório é fornecido em formato “.xlsx”, logo, cada caixa de seleção marcada representa uma nova planilha no mesmo arquivo. Caso não seja marcado nenhuma caixa de seleção, o relatório será gerado apenas um uma planilha contendo os dados brutos. A Figura 19 ilustra a interface destinada a extração de dados

Figura 19 - Extração de Arquivos

Estação			<input type="checkbox"/> Dados Complementares
Example_Station			<input type="checkbox"/> Dados Suspeitos de Radiação Global
Início	Final		
Data 2016-01-15	Data 2016-01-15	<input type="checkbox"/> Dados Suspeitos de Radiação Difusa	
Hora 00:00:00	Hora 23:59:00	<input type="checkbox"/> Dados Suspeitos de Radiação Direta	
<input type="button" value="Extrair"/>		<input type="checkbox"/> Dados Suspeitos de Radiação de Onda Longa	
		<input type="checkbox"/> Resumo dos Dados Radiométricos	
		<input type="checkbox"/> Dados Meteorológicos Suspeitos	
		<input type="checkbox"/> Resumo dos Dados Meteorológicos	
		<input type="checkbox"/> Erros no Tempo	
		<input type="checkbox"/> Potencial Energetico Ano = _____	

Fonte: Própria do Autor

4.5 Formatos do Relatório Final

Como já foi visto, através da biblioteca Openpyxl, é possível criar arquivos em no formato .xlsx usando a linguagem Python. Essa biblioteca possui domínio público e está disponível para sofrer atualizações constantes, melhorando seu código-fonte. Porém, atualmente é possível realizar grande parte de comandos que seriam feitos manualmente em softwares de planilha de texto, tais como colorir células, alterar formato da letra, inserir negritos ou itálicos, etc.

Como dito anteriormente, o número de planilhas no relatório depende do usuário. A seguir são agrupados os tipos de relatório que são criados:

- **Dados Brutos:** planilha padrão do relatório, contendo todas as leituras que foram inseridas originalmente na estação. Com o intuito de melhorar detecção de erros, células que não passaram no critério da BSRN são coloridas de forma a garantir uma rápida detecção da célula a olho nu.
- **Dados Complementares:** informações contendo os valores necessários referentes ao ângulo zenital, juntamente com valores referente dos testes da BSRN, como a divisão da radiação global sobre a soma da radiação difusa e direta.
- **Dados Suspeitos:** conjunto de leituras consideradas suspeitas e marcadas de forma a permitir que o usuário analise e julgue se o dado

for considerado perdido. Como o foco do trabalho é na análise que envolve a radiação solar, foram criadas 4 planilhas com detalhamento dos sensores de radiação distintos.

- **Resumo dos Dados:** mostra uma contagem total de todas as ocorrências suspeitas no período determinado pelo usuário
- **Erros no Tempo:** verifica se a leitura anterior possui um minuto de diferença, pois caso contrário, deve ser frisado que houve uma possível falha na leitura da estação.
- **Potencial Energético:** essa planilha calcula a média horaria dos dados de irradiância global e temperatura de hora em hora conforme exigido pela EPE para empreendimentos fotovoltaicos.

4.6 Método de Validação

Para verificar se todas as etapas foram executadas adequadamente, optou-se por inserir diretamente o arquivo contendo as leituras da estação no documento de planilhas e executar comandos de cálculos e contagens diretamente nas células de modo a observar se os valores fornecidos pelo programa coincidem com leituras validas feitas manualmente.

Para valores que envolvem contagem, tais como observar desvio padrão igual a zero e quantia de dados faltantes, os dois métodos deveriam obter valores iguais, ou seja, a diferença entre eles deve ser nula. Para valores que envolvem cálculos, é necessário enfatizar que a linguagem Python trabalha com uma precisão maior, por isso não foi exigido a exatidão dos cálculos, mas uma diferença que não divergisse de forma inesperada.

5 Resultados e Discussões

Esse capítulo tem como objetivo mostrar os resultados obtidos dos gráficos extraídos no programa comparados com os modelos do C.N.Long (2006), juntamente com uma comparação ao método anterior utilizado. Os gráficos e a comparação serão apresentados compilando um total de um mês dados de uma estação referentes ao mês de Abril. Logo, o intuito desse capítulo busca validar os resultados obtidos pelo algoritmo.

5.1 Gráficos

Os gráficos a seguir serão divididos conforme as variáveis de acordo com a variável de radiação solar obtidas pelas estações solarimétricas. É necessário enfatizar que os limites trabalhados de Fisicamente Possível (FP) e Extremamente Raro (ER) possuem limites de máximos e mínimos, ou seja, leituras acima de um determinado valor ou abaixo de outro podem ter a mesma classificação quanto ao critério utilizado. Todos os gráficos obtidos foram criados pelo PyES

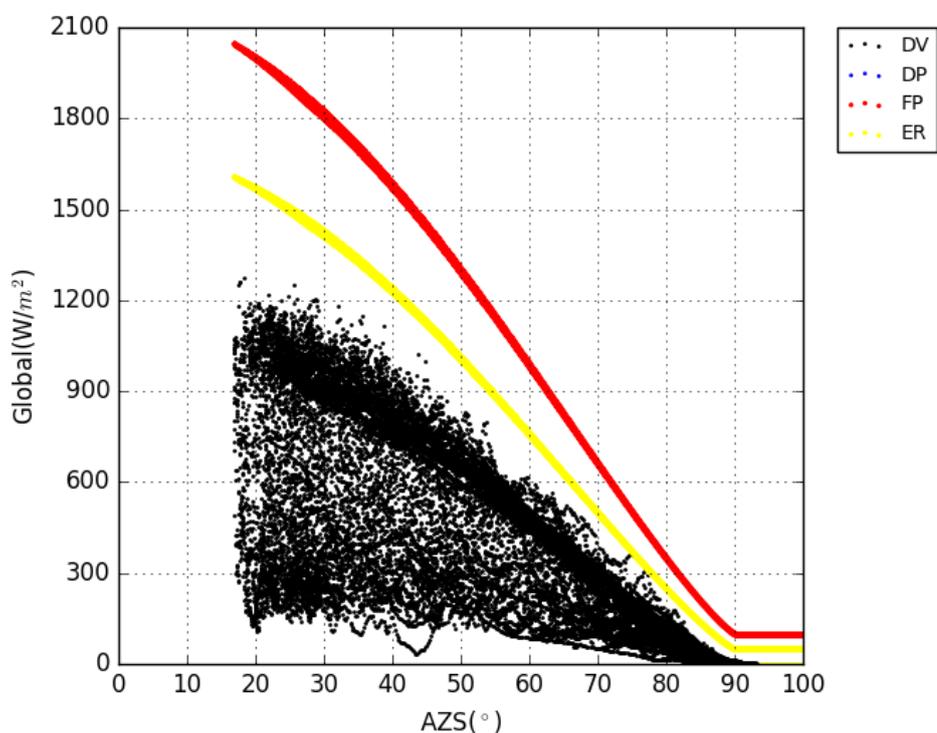
5.1.1 Radiação Global

Para facilitar a visualização de dados, foram criados dois gráficos da relação entre a radiação global e o ângulo zenital, essa estratégia se deu devido ao fato de tornar mais viável a observação de leitura para valores negativos em um gráfico separado.

Na figura 20, foram plotados os dados juntamente com os limites de fisicamente possível (curva vermelha) e extremamente raro (curva amarela) de forma que pontos que passassem desses limites seriam detectados facilmente. Contudo, conforme mostrado na imagem, é possível observar que nesse mês de estudo, não houve ocorrências que passassem de nenhum limite para esses valores de ângulo zenital.

Figura 20 – Gráfico de dispersão da radiação global em função do Ângulo Zenital entre 0° a 100°, com dados validos (DV) em preto, limite extremamente raro (ER) em amarelo, limite

fisicamente possível (FP) em vermelho e onde o desvio Padrão foi igual a zero (DP) em Azul.

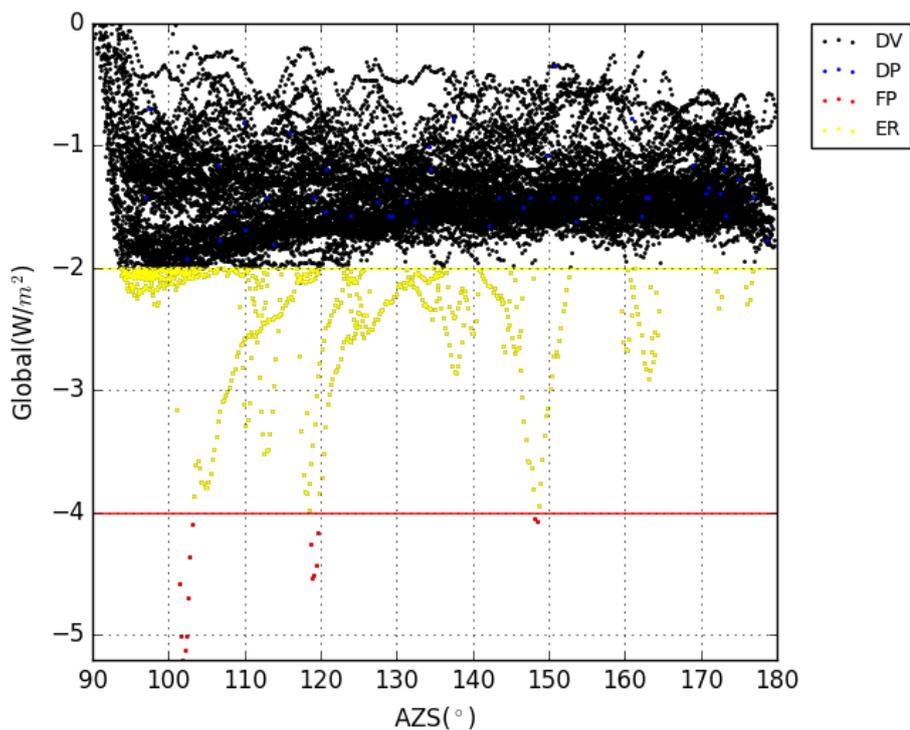


Fonte: Elaborada pelo Autor

Na figura 21, entretanto, é possível visualizar a olho nu uma alta incidência de valores que ultrapassaram os limites, tornando a leitura suspeita, porém, devido o ângulo zenital indicar uma leitura noturna de dados, essas informações que possa ser perdida não inviabilizam o estudo de potencial energético nesse intervalo.

Figura 21 – Gráfico de dispersão da radiação global em função do ângulo zenital entre 90° a 180° com dados validos (DV), em preto, limite extremamente raro (ER) em amarelo, limite

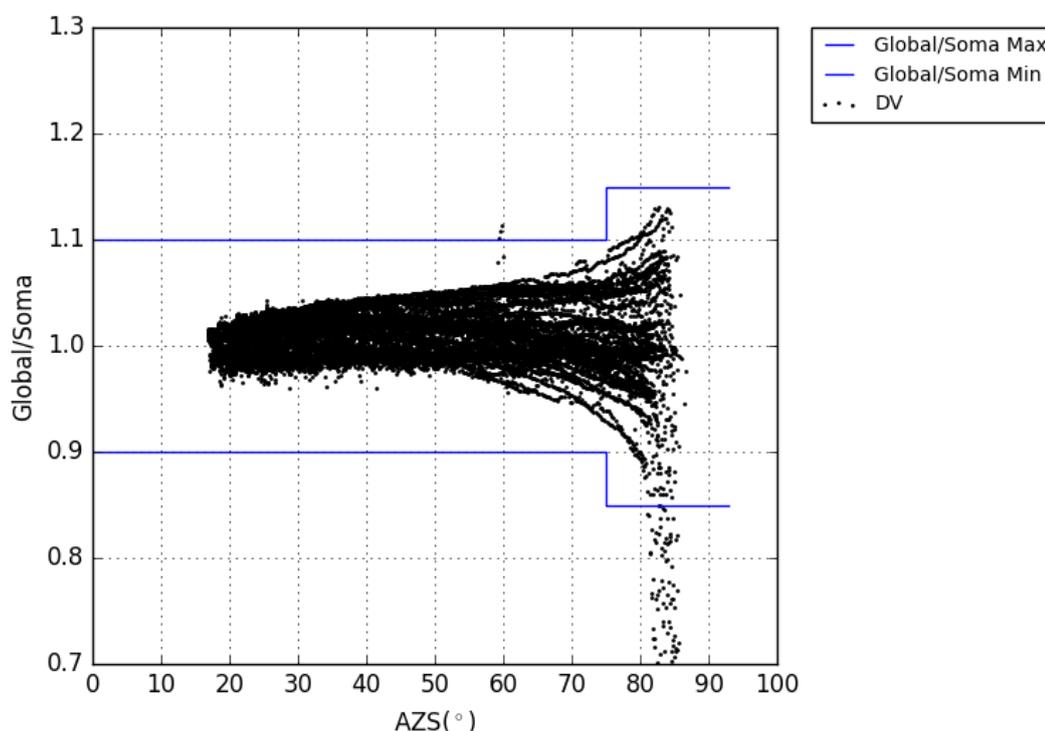
fisicamente possível (FP) em vermelho, e onde o desvio Padrão foi igual a zero (DP) em Azul.



Fonte: Elaborada pelo Autor

Para o teste de comparação do sensor, é possível observar na figura 22 poucas ocorrências desse problema, os valores fora do range aceitável são coloridos da cor vermelha caso tenham passado por esse teste em específico, ou seja, caso estejam fora do range, mas mantenham a mesma cor é sinal que a leitura já foi inviabilizada por outro teste executado anteriormente.

Figura 22 – Gráfico de dispersão da radiação global sobre a soma das radiações em função do ângulo zenital com dados validos em preto e limites máximos aceitáveis em azul.



Fonte: Elaborada pelo Autor

5.1.2 Radiação Difusa

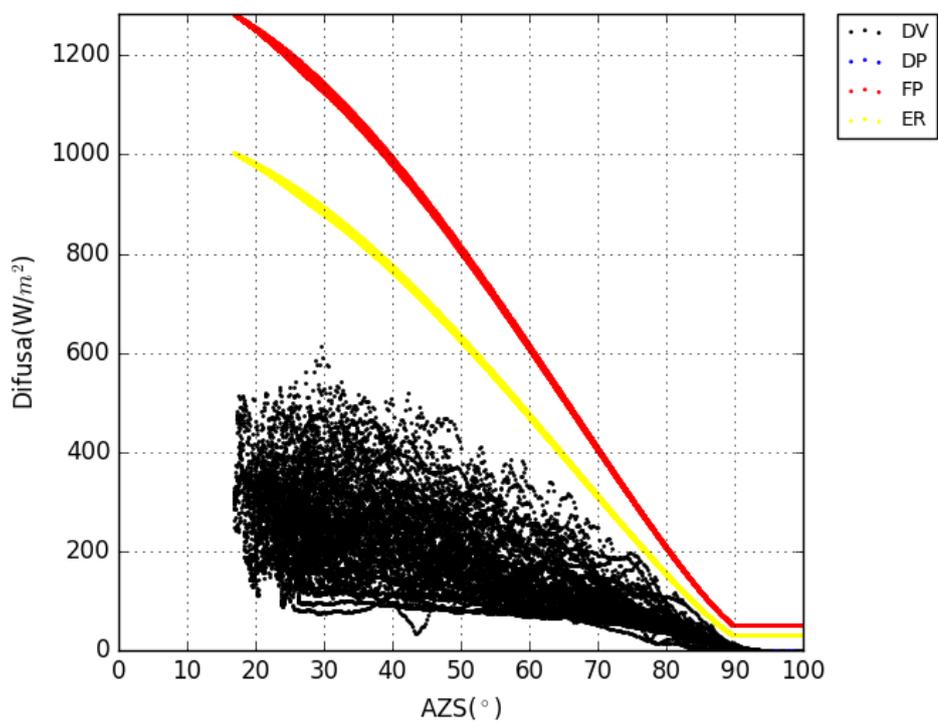
Os dados de radiação seguiram o mesmo princípio dos utilizados na radiação global, com dois gráficos da relação entre a radiação difusa com o ângulo zenital e um de comparação de sensor.

Na figura 23, como esperado, os valores são no geral menores comparados ao da radiação global e, novamente não houve ocorrência de dados fora dos limites determinados, indicando um bom funcionamento no mês analisado. Na figura 24 mantem-se a ocorrência de valores com desvio padrão igual a zero e valores abaixo do extremamente raro, porem valores de limite inferior da faixa de fisicamente possível não foram registrados.

Na figura 25, para realizar a comparação do sensor, não se pode traçar um limite inferior para a relação entre a radiação global e difusa. Com isso, pode-se determinar

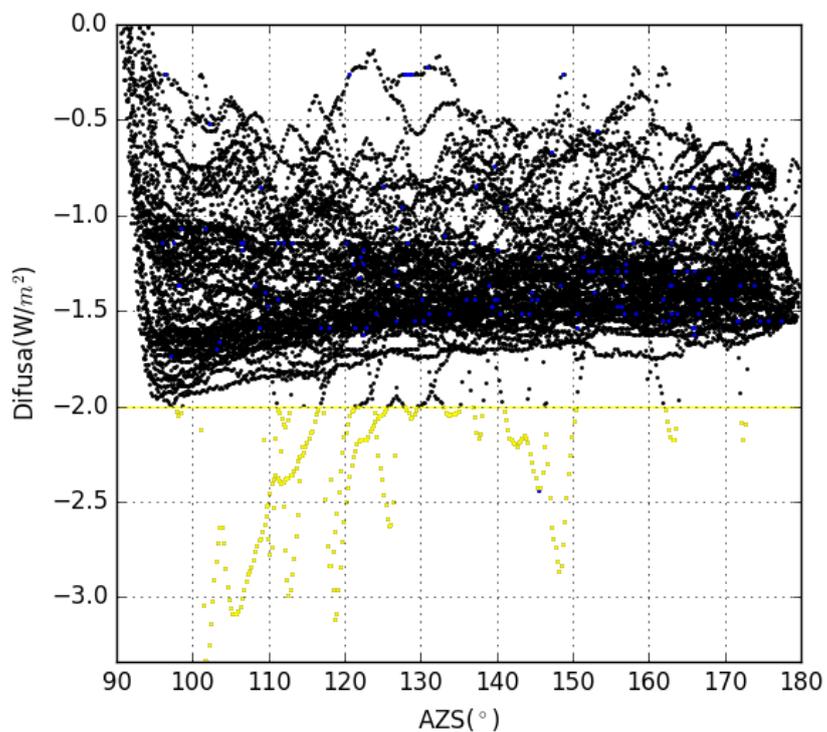
apenas um limite superior, o que na imagem tratada demonstra novamente um bom comportamento do sensor.

Figura 23 – Gráfico de dispersão da radiação difusa em função do ângulo zenital entre 0° a 100° com dados validos (DV) em preto, limite extremamente raro (ER) em amarelo, limite fisicamente possível (FP) em vermelho e onde o desvio Padrão foi igual a zero (DP) em azul.



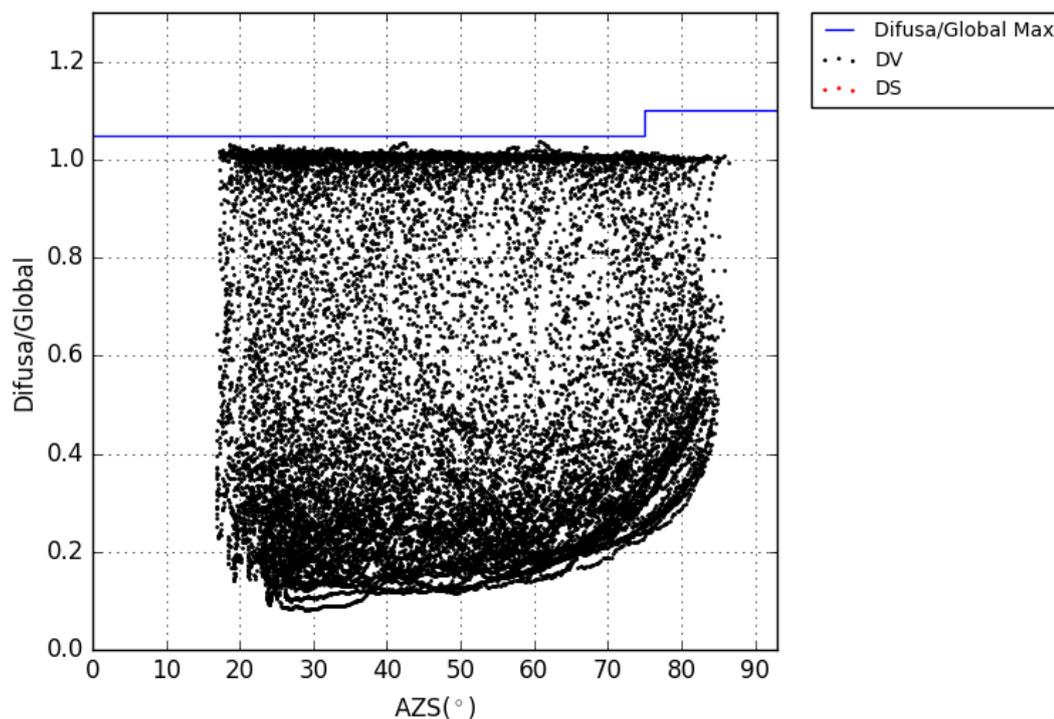
Fonte: Elaborada pelo Autor

Figura 24 – Gráfico de nuvens da radiação difusa em função do ângulo zenital entre 90° a 180° com dados validos (DV) em preto, limite extremamente raro (ER) em amarelo, limite fisicamente possível (FP) em vermelho e onde o desvio padrão foi igual a zero (DP) em azul.



Fonte: Elaborada pelo Autor

Figura 25 – Gráfico de dispersão da radiação difusa sobre a radiação global em função do ângulo zenital; com dados validos (DV), em preto, dados suspeitos (DS) em vermelho e limite máximo aceitável em Azul.



Fonte: Elaborada pelo Autor

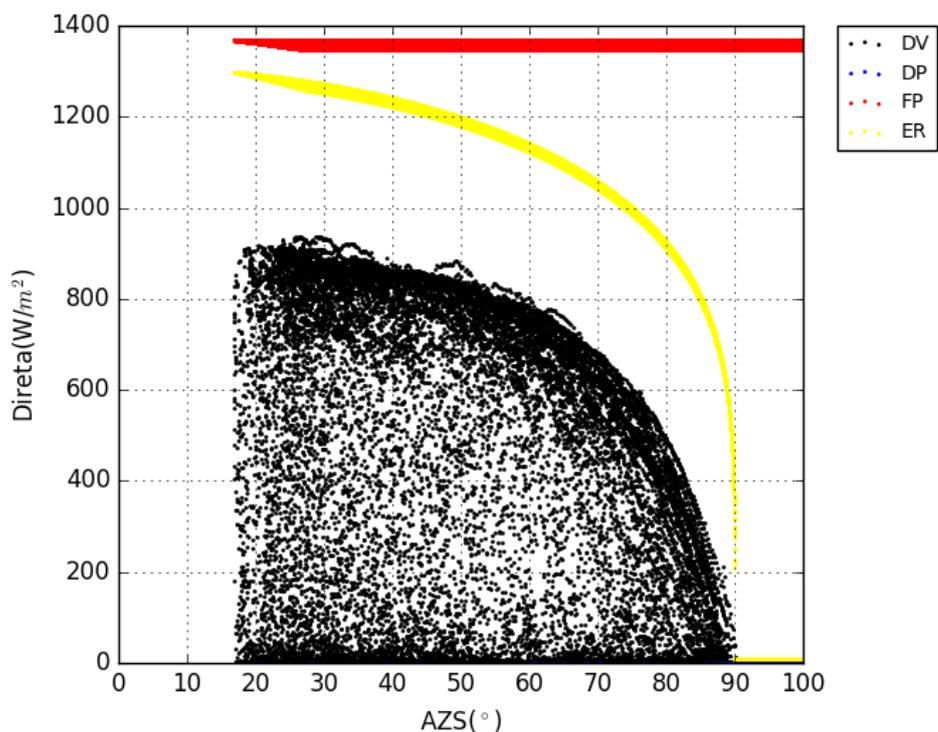
5.1.3 Radiação Direta

No caso da radiação direta, foi considerado importante para o trabalho apenas que se criasse os gráficos em função do ângulo zenital, visto que o gráfico de comparação de sensores não foi criado no material tido como referência.

Na figura 26, é notável que o limite de Fisicamente possível apresenta uma curva limite muito alta, enquanto que o limite de extremamente raro possui a mesma curva característica em comparação aos outros modelos, mas conforme seguiu as leituras de radiação global e difusa.

Na figura 27, é notado uma incidência maior de ocorrências de desvio padrão igual a zero, entretanto nenhuma leitura chegou a ultrapassar o limite do extremamente raro.

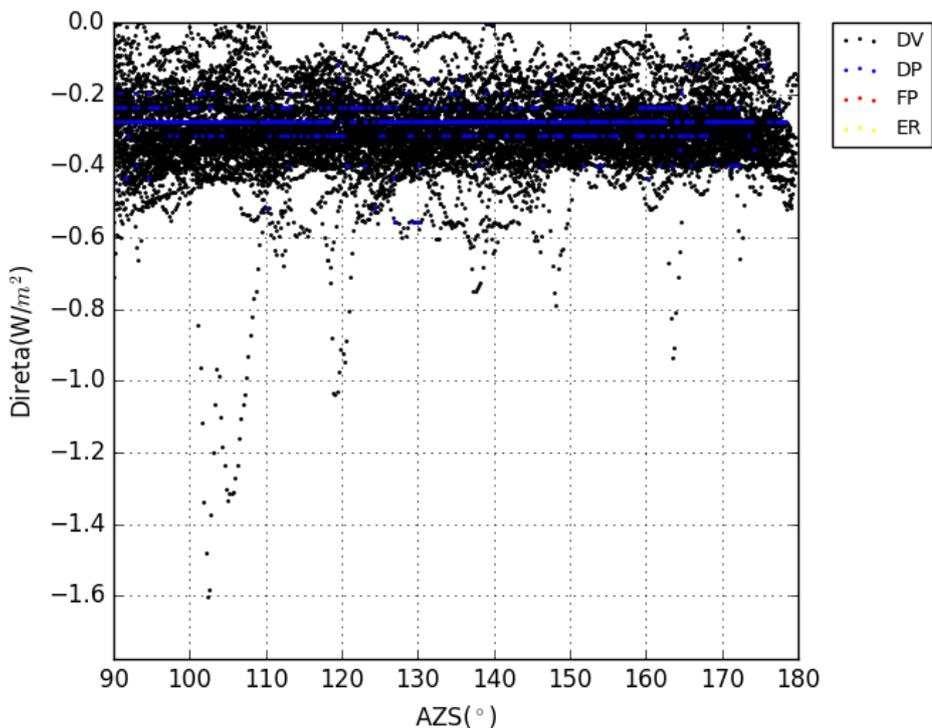
Figura 26 – Gráfico de dispersão da radiação direta sobre a radiação global em função do ângulo zenital entre 0° a 100° com dados validos (DV) em preto, limite extremamente raro (ER) em amarelo, limite fisicamente possível (FP) em vermelho e onde o desvio padrão foi igual a zero (DP) em Azul.



Fonte: Elaborada pelo Autor

Figura 27 – Gráfico de dispersão da radiação direta sobre a radiação global em função do ângulo zenital entre 90° a 180° com dados validos (DV) em preto, limite extremamente raro

(ER) em amarelo, limite fisicamente possível (FP) em vermelho e onde o desvio padrão foi igual a zero (DP) em Azul.



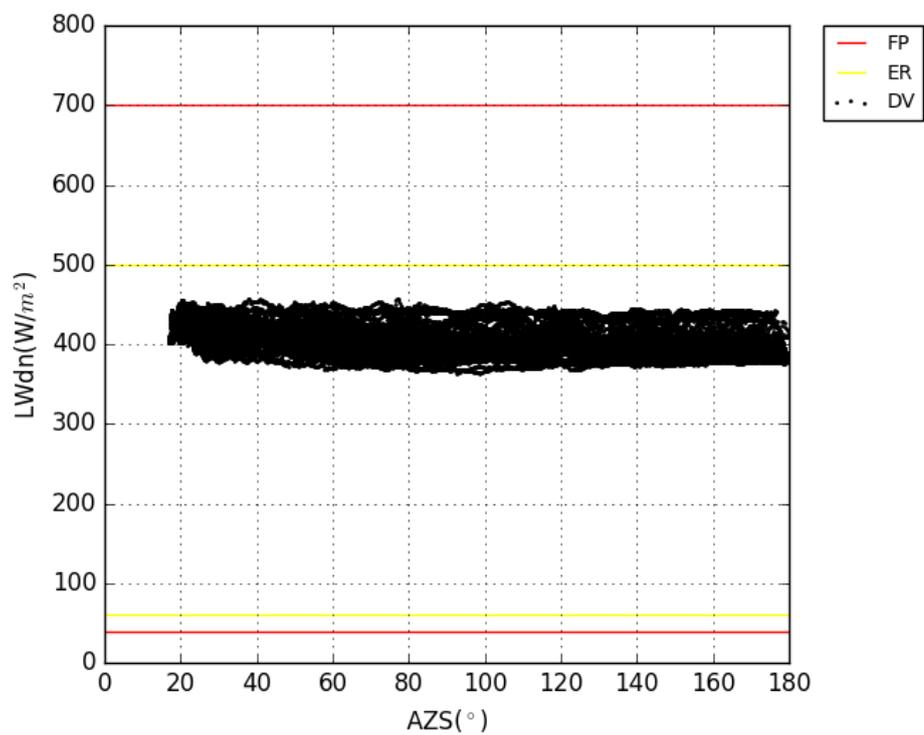
Fonte: Elaborada pelo Autor

5.1.4 Radiação de Onda Longa

O diferencial dessa variável está no fato de não admitir leitura abaixo de zero e de sua relação de dependência em função da temperatura. Tendo em vista essas características, foi criado apenas um gráfico da relação da radiação com o ângulo zenital juntamente com o gráfico relacionando os dados do sensor com a temperatura.

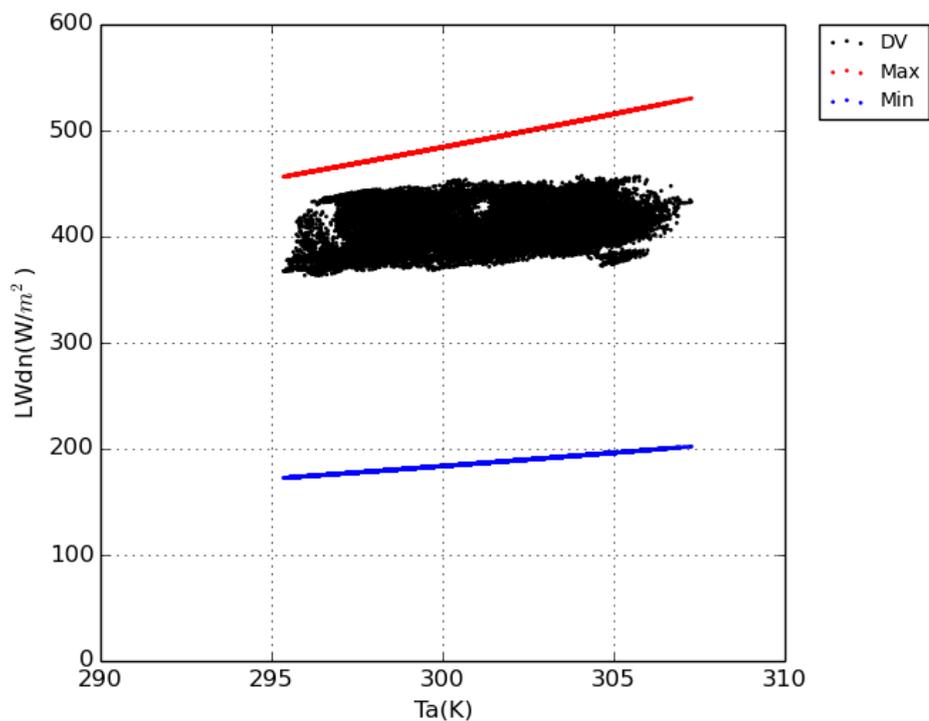
No geral, as leituras oriundas desse sensor foram os únicos a não apresentar nenhuma não conformidade com as normas demonstrando robustez na leitura e garantindo 100% de aproveitamento dos dados. As figuras 28 e 29 ilustram bem esse fato, apresentando a dispersão de pontos estando sempre no range aceitável.

Figura 28 – Gráfico de dispersão da radiação de onda longa em função do ângulo zenital; com dados validos (DV) em preto; limite extremamente raro (ER) em amarelo e limite fisicamente possível (FP) em vermelho.



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 29 – Gráfico de dispersão com dados validos (DV) em preto, limite mínimo em azul e limite máximo em vermelho.



Fonte: Elaborada pelo Autor

5.2 Resumo dos Dados

Para simplificar a análise em longos intervalos de tempo, foram criadas tabelas no relatório que demonstrassem os valores absolutos nos intervalos de tempo para que seja possível ter uma noção geral da incidência de dados, sem o detalhamento feito anteriormente. Um exemplo desses gráficos é mostrado na figura 30, onde é analisado os dados de radiação global durante o mesmo intervalo das figuras 20 e 21, comprovando de outra forma a alta incidência de valores que ultrapassaram os valores extremamente raros.

Figura 30 - Resumo dos Resultados de radiação global

Resultado dos criterios de validação dos dados do Piranometro GHI		
Criterio	Quantidade	
Desvio Padrao	50	
Dados Faltantes	0	
Fisicamente Possivel - Intervalo Invalido	15	
Extremamente Raro - Intervalo invalido	637	
Comparacao entre Sensores	0	

Fonte: Elaborada pelo Autor

5.3 Validação dos Dados

Para comparar os resultados e comprovar que o algoritmo funcionar de forma adequada, utilizou-se uma comparação com o modelo empregado anteriormente sobre o mesmo intervalo de leitura. Como é possível ver na tabela 3, apenas 2 valores apresentaram diferença na averiguação de dados suspeitos, o que muito provavelmente ocorre devido a linguagem Python trabalhar com operações matemáticas de maior precisão. Considerando também que o intervalo analisado possui um período de 30 dias com leituras de minuto a minuto, totalizando mais de 100.000 leituras dos sensores de irradiância, é possível afirmar que as diferenças entre os métodos utilizados são mínimas.

Tabela 3 – Dados de Agosto de uma estação

Sensor	Critério	PyES	Modelo Anterior	Modulo da Diferença
Radiação Global	Desvio Padrão	50	50	0
	Dados Faltantes	0	0	0
	Fisicamente Possível	15	15	0
	Extremamente Raro	637	634	3
	Comparação entre Sensores	0	0	0
Radiação Difusa	Desvio Padrão	131	131	0
	Dados Faltantes	0	0	0
	Fisicamente Possível	0	0	0
	Extremamente Raro	225	225	0
	Comparação entre Sensores	0	0	0
Radiação Direta	Desvio Padrão	978	978	0
	Dados Faltantes	0	0	0
	Fisicamente Possível	0	0	0
	Extremamente Raro	1	3	2
	Comparação entre Sensores	0	0	0
Radiação de Onda Longa	Desvio padrão	0	0	0
	Dados Faltantes	0	0	0
	Fisicamente Possível	0	0	0
	Extremamente Raro	0	0	0
	Comparação entre Sensores	0	0	0

Fonte: Elaborada pelo Autor

6 Conclusões

No ano em que esse trabalho foi executado, é possível constatar que o *PyES* garante o controle de qualidade dos dados solarimétricos de forma rápida e automatizada, garantindo maior velocidade na análise de todas as estações, juntamente com maior precisão e agregando ferramentas gráficas em um conjunto completo. Com isso, surge em um momento oportuno nacionalmente, com o setor de energia solar ganhando cada vez mais mercado e necessitando constantemente de mais análise desses tipos de dados.

Para trabalhos futuros, resta analisar a demanda para transpor tudo o que foi feito para a internet, permitindo o cadastro remoto de estações, o acesso de vários usuários ao mesmo banco de dados e também a análise automática dos dados, ou seja, que tirem o encargo do funcionário de verificar a estação de modo autônomo através de um sistema inteligente que notifica algum possível mal funcionamento do equipamento. Além disso, ainda há a demanda de tratar outros dados da estação que não envolveram esse trabalho, tais como as variáveis meteorológicas de velocidade e direção do vento, temperatura, umidade e assim por diante, permitindo uma análise completa da estação.

Com isso, é possível afirmar que o desenvolvimento do algoritmo *PyES* continuará de forma a se tornar um produto/serviço capaz de atender a demanda nacional, contribuindo para o desenvolvimento da matriz energética na área renovável.

7 Referências

TOGAWA, André Barros. **Previsão de Irradiância solar por rastreamento de nuvens utilizando imagens**. Brasília: 2014. 71 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Mecânica.

ABBOTT, D., 2010. “**Keeping the energy debate clean: How do we supply the world’s energy needs?**” .Proceedings of the IEEE, 42-66.

Long, C.N.; Shi,Y; **The QCRad Value Added Product: Surface Radiation Measurement Quality Control Testing, Including Climatology Configurable Limits**. 2006 Setembro. U.S. Department of Energy, Office of Science, Office of Biological and Environmental Research.

Nº. EPE-DEE-RE-065/2013-r2. **Instrução para Solicitação de Cadastramento e Habilitação Técnica com vistas a participação nos Leilão de Energia Elétrica**. Data: 23 de março de 2016. Disponível em: <www.epe.gov.br>

Lira, A.L.O; Soares, B.L; Santos, S.A; **Estação solarimétrica de referência – Instalação, Operação e Manutenção**. Centro de Tecnologias do Gás e Energias Renováveis. VI Congresso Brasileiro de Energia Solar – Belo Horizonte, 07 de Abril de 2016.

REN21, 2016 “Renewables 2016 Global Status Report” Paris: REN21 Secretariat. Disponível em: <http://www.ren21.net/>. Acesso em: 29/30/2016.

DOE-EIA, 2016. “Annual Energy Outlook 2016 with projections to 2040”. U.S. Energy Information Administration. Disponível em: <<http://www.eia.gov/>>. Acessado dia 30/11/2016.

C.C Oliveira, M. Teles dos Santos e G. A. C Le Roux. **Desenvolvimento de Banco de Dados de Óleos Vegetais para Aplicação em projeto de Produtos**. SC Florianópolis. Congresso Brasileiro de Engenharia Química. 22 de Outubro de 2014.

Lopez, R. A., **Energia Solar para Produção de Eletricidade**. 1 Ed. São Paulo: Artliber Editora, 2012. 229 p.

Borges, Luiz Eduardo. **Python Para Desenvolvedores**. 1 Ed. São Paulo: Novatec Editora Ltda, 2014. 318 p.