



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

**ESTUDO E ELABORAÇÃO DE ANO METEOROLÓGICO TÍPICO  
PARA REGIÕES METROPOLITANAS BASEADO EM SÉRIES  
TEMPORAIS DE IRRADIÂNCIA SOLAR OBTIDAS A PARTIR DE  
DADOS SATELITAIS**

Pedro H. M. Firmiano

Relatório final de atividades de Iniciação Científica do Programa PIBIC, orientado pelo Dr. Rodrigo Santos Costa e Dr. Fernando Ramos Martins.

INPE  
São José dos Campos  
2021



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

**ESTUDO E ELABORAÇÃO DE ANO METEOROLÓGICO TÍPICO  
PARA REGIÕES METROPOLITANAS BASEADO EM SÉRIES  
TEMPORAIS DE IRRADIÂNCIA SOLAR OBTIDAS A PARTIR DE  
DADOS SATELITAIS**

Pedro H. M. Firmiano

Relatório final de atividades de Iniciação Científica do Programa PIBIC, orientado pelo Dr. Rodrigo Santos Costa e Dr. Fernando Ramos Martins.

INPE  
São José dos Campos  
2021

## **INTRODUÇÃO**

O Ano Meteorológico Típico – AMT, ou ainda TMY, do inglês *Typical Meteorological Year* – é uma base de dados bastante aplicada no setor de energia solar, principalmente no dimensionamento de plantas de geração fotovoltaica. Apenas algumas localidades no Brasil já possuem os dados processados, portanto o desenvolvimento de um pacote computacional que processe e disponibilize os dados de TMY para qualquer região do Brasil gera uma contribuição importante para o setor energético do país.

O primeiro ano de pesquisa foi iniciado em agosto de 2020 e finalizado em agosto de 2021, obtendo resultados bastante satisfatórios com a capacitação do estudante e a elaboração de rotinas computacionais que permitiram a geração de TMY's a partir dos dados meteorológicos disponíveis para uma determinada localidade. Foram realizados estudos para um total de 54 cidades no território brasileiro e isso motivou a continuidade das pesquisas em um segundo ano de projeto, com a proposta de intercomparações entre diferentes bases de dados de irradiação e avaliação de desempenho de sistemas.

Este relatório visa a apresentação das atividades de pesquisa realizadas entre os meses de setembro e outubro de 2021, visto que o aluno solicitou o seu desligamento do programa em novembro de 2021 em função da aquisição de vínculo empregatício.

## **MOTIVAÇÃO**

O conhecimento das características climatológicas de uma região é de suma importância para o desenvolvimento de projetos para exploração de fontes de energia renovável. Como as variáveis meteorológicas apresentam grandes variações no decorrer dos anos, se faz necessário à geração de um Ano Meteorológico Típico – AMT, ou ainda TMY, do inglês *Typical Meteorological Year* – para representar um longo período de dados. O Ano Meteorológico Típico permite aplicar o conhecimento da climatologia local nos procedimentos para avaliação, projeto, planejamento e operação de plantas de geração a partir de fontes renováveis. Devido a crescente emissão dos Gases de Efeito Estufa (GEE) no mundo, tem sido estudadas alternativas de obtenção de energia de modo que não emita ou emita menos GEE, como por exemplo a energia solar que começa a ganhar destaque no mercado. Segundo Pereira et al. (2017), para que essas energias cheguem de maneira mais consistente para a população, é necessário o uso de informações mais confiáveis

sobre dados solares que são utilizados em projetos de implantação fotovoltaica. O TMY (*Typical Meteorological Year*) é aplicado em apenas algumas localidades no Brasil, que já possuem os dados processados, portanto é importante a obtenção, um software que interprete os dados já observados e os transforme em um TMY para qualquer região do Brasil, fornecendo assim informações relevantes e que agregaram ainda mais ao mercado solar no país.

## **CRONOGRAMA PROPOSTO**

Neste segundo ano de pesquisa, o plano de trabalho estava orientado na proposição das seguintes atividades, dentro com o cronograma disposto abaixo:

1. Levantamento bibliográfico sobre análise de desempenho de sistemas fotovoltaicos, sobre influência das condições atmosféricas no desempenho;
2. Estudo dos parâmetros de desempenho utilizados na literatura científica e técnica;
3. Extração de séries temporais produzidas pelo modelo de transferência radiativa para as regiões metropolitanas do estudo;
4. Determinação do TMY para as regiões metropolitanas do estudo;
5. Desenvolvimento de script para o cálculo dos parâmetros de desempenho utilizando dados de campo, dados de TMY e dados de modelagem radiativa na atmosfera;
6. Aplicação do script desenvolvido no item 5 para as duas localidades;
7. Análise estatística e intercomparação dos resultados obtidos com as 3 bases de dados diferentes
8. Redação de relatórios científicos e monografia de Trabalho de Conclusão de Curso.

### **Cronograma de Atividades**

<b>Etapas</b>	<b>Bimestre 1</b>	<b>Bimestre 2</b>	<b>Bimestre 3</b>	<b>Bimestre 4</b>	<b>Bimestre 5</b>	<b>Bimestre 6</b>
Etapa 1						
Etapa 2						
Etapa 3						
Etapa 4						
Etapa 5						
Etapa 6						
Etapa 7						

## **LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO**

A baixa disponibilidade ou a extensão da série temporal de dados observados é fonte de incertezas relacionadas à variabilidade das condições atmosféricas, principalmente em centros urbanos onde aparece o principal nicho de aplicação de sistemas fotovoltaicos para a geração distribuída. O desenvolvimento de estudos que possibilitem a disponibilização de séries temporais geradas por modelagem numérica pode ser uma fonte de informações importante para contribuir no avanço da compreensão do desempenho de sistemas de geração fotovoltaica em ambientes urbanos ou sujeitos a concentrações elevadas de aerossóis.

Desenvolver uma metodologia para simulação de desempenho de sistemas fotovoltaicos e intercomparar os resultados obtidos em estudos de caso para duas plantas que apresentam os dados processados é importante para se avaliar a qualidade dos dados utilizados como referência para as avaliações iniciais. O estudo se faz necessário, pois a baixa disponibilidade ou extensão da série temporal de dados observados é fonte de incertezas relacionadas à variabilidade das condições atmosféricas, principalmente em centros urbanos onde aparece o principal nicho de aplicação de sistemas fotovoltaicos para a geração distribuída. Logo, a proposta do Trabalho reside em identificar qual a base de dados pode produzir simulações de desempenho dos sistemas fotovoltaicos para as condições atmosféricas típicas de duas regiões metropolitanas do estado de São Paulo.

Já o TMY é um procedimento bastante adotado no mundo todo e utilizado por diversos países, que “consiste na determinação estatística dos meses individuais de dados meteorológicos que melhor representam as condições meteorológicas tomando como base a climatologia de um período de 30 anos” (Luiz et al., 2012). No exemplo abaixo, segue uma ilustração que exemplifica a determinação de um TMY baseado em 17 anos de dados de irradiação.

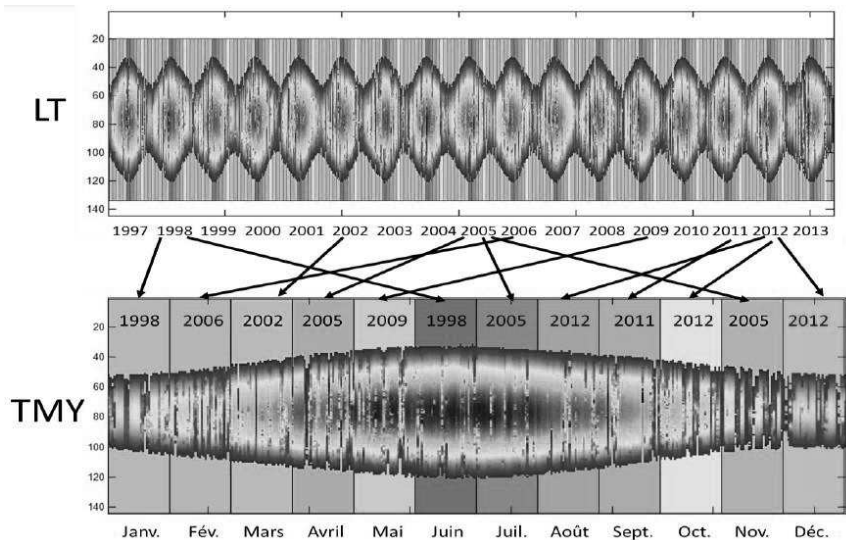


Figura 1- LT (Long-term 17 anos) construindo um ano meteorológico tipo. (fonte: Realpe et al., 2015)

Com esse conjunto de dados determinam-se os dados em questão de um ano que possa representar as condições mais frequentemente observadas ao longo de um ano para uma região específica. No Brasil, existe o TMY para algumas localidades, principalmente as capitais, entretanto a maior parte do território brasileiro não possui dados sobre outras localidades, e isso pode comprometer e aumentar o contraste entre o rendimento esperado e o real.

Ao analisar as metodologias existentes na literatura científica, vemos algumas que são de uso mais restrito de algumas localidades ou apresentam um grau de complexidade maior, necessitando de uma série histórica longa de dados observados em superfície (Skeiker, 2006). Atualmente, o método mais utilizado é o Sandia National Laboratories, já utilizado na pesquisa anteriormente e será o utilizado novamente na continuidade deste trabalho. O método Sandia envolve a escolha de um mês característico da climatologia local, para cada um dos 12 meses do ano entre os anos de dados coletados. Isso é feito utilizando lógica de programação aplicando a Função de Distribuição Acumulada (FDA) de quatro variáveis meteorológicas para o mês de cada ano. Essas variáveis são de temperatura de bulbo seco, temperatura de ponto de orvalho, radiação global total diária e a velocidade do vento (Luiz et al., 2012).

## PARÂMETROS DE DESEMPENHO

Os parâmetros de desempenho de sistemas fotovoltaicos aqui citados foram propostos

pela International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programm (IEA-PVPS). Trata-se de uma normativa internacional, também utilizada no Brasil, conforme descrito em Lima et al., (2017) e padronizam o monitoramento de sistemas fotovoltaicos. Pode-se determinar e entender as perdas dos sistemas FV que não podem ser caracterizadas por uma avaliação direta do equipamento (Gonzalez, 2021). A IEA-PVPS descreve os parâmetros de desempenho utilizados. Pode-se destacar os seguintes:

Tabela 1: parâmetros de desempenho de sistemas fotovoltaicos.

<b>Parâmetro</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Unidade</b>
Energia Produzida	$E_{AC}$	$kWh$
Produtividade de Referência	$Y_r$	$kWh/kW_p$
Produtividade do Arranjo FV	$Y_A$	$kWh/kW_p$
Produtividade Final	$Y_f$	$kWh/kW_p$
Perdas de Captura de Arranjo	$L_C$	$kWh/kW_p$
Perdas de Sistema	$L_S$	$kWh/kW_p$
Eficiência do Módulo FV	$\eta_{PV}$	%
Eficiência do Sistema FV	$\eta_{SYS}$	%
Eficiência do Inversor	$\eta_{INV}$	%
Razão de Desempenho	$PR$	%
Fator de Capacidade	$CF$	%
Irradiação no Plano Inclinado	$G_I$	$W/m^2$
Temperatura Ambiente	$T_{amb}$	$^{\circ}C$
Temperatura do Módulo FV	$T_{mod}$	$^{\circ}C$
Velocidade do Vento	$S_W$	$m/s$
Área ocupada pelos módulos FV	$A_m$	$m^2$
Tensão de Saída do Arranjo FV em CC	$V_{DC}$	$V$
Corrente de Saída do Arranjo FV em CC	$I_{DC}$	$A$
Potência de Saída do Arranjo FV em CC	$P_{DC}$	$kW$
Tensão de Saída do Inversor em CA	$V_{AC}$	$V$
Corrente de Saída do Inversor em CA	$I_{AC}$	$A$
Potência de Saída do Inversor em CA	$P_{AC}$	$kW$

Fonte – Adaptado de IEA-PVPS (2014).

## CONCLUSÕES

Foram iniciadas as atividades previstas no cronograma da pesquisa de Iniciação Científica, estando elas adequadas com o período de dedicação do aluno. Este agradece ao CNPq por ter feito parte do seu seleto rol de bolsistas, tendo a certeza que esta

experiência foi extremamente relevante para a sua formação.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

International Electrotechnical Commission et al. Photovoltaic system performance monitoring-guidelines for measurement, data exchange and analysis. IEC 61724, 1998b.

GONZALEZ, JÚLIA DE OLIVEIRA. Estudo de performance elétrica e financeira de sistemas fotovoltaicos operando em área costeira: estudo de caso na Baixada Santista. Dissertação de Mestrado – PPG-ICTmar – UNIFESP. Santos, SP, novembro/2021-163p.

LIMA, L. C. de; FERREIRA, L. de A.; MORAIS, F. H. B. de L. Performance analysis of a grid connected photovoltaic system in northeastern Brazil. *Energy for Sustainable Development*, Elsevier, v. 37, p. 79–85, 2017.

LUIZ, Eduardo Weide et al. Determinação de um Ano Meteorológico Típico para Florianópolis–SC. In: **IV Congresso Brasileiro de Energia Solar e V Conferência Latino-Americana da ISES**. 2012.

PEREIRA E.B.; MARTINS F.R.; GONÇALVES A.R.; COSTA R.S.; DE LIMA F.J.L.; RÜTHER R.; ABREU S.L.; TIEPOLO G.M.; PEREIRA S.V.; SOUZA J.G. **Atlas Brasileiro de energia solar. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**. São José dos Campos, SP, 2017.

REALPE A. M. et al. Proposing Enhanced Typical Meteorological Year for Concentrated-PV Systems Using Long-Term Datasets. *Solais Expert Photovoltaique*, 2015.

SKEIKER, K., 2006. Comparison of Methodologies for TMY Generation Using 10 Years Data for Damascus, Syria. Damascus, Syria: Department of Scientific Services.