



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

DESENVOLVIMENTO DE ROTINAS COMPUTACIONAIS PARA O PROCESSAMENTO DE DADOS ESPECTRAIS DA RADIAÇÃO SOLAR

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
(PIBIC/INPE/CNPq)**

Breno César Baiardi Oliveira (Fatec-SJC, Bolsista PIBIC/CNPq,
brenocbo@gmail.com)

Dr. Waldeir Amaral Vilela (COCTE/LABAS/INPE, Orientador,
waldeir.vilela@inpe.br)

COLABORADORES

Guilherme Marques Neves (COCTE/ LABAS/INPE)

Dalmo Geraldo Pasim (COCTE/ LABAS/INPE)

INPE-SJC

Julho de 2017



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

DESENVOLVIMENTO DE ROTINAS COMPUTACIONAIS PARA O PROCESSAMENTO DE DADOS ESPECTRAIS DA RADIAÇÃO SOLAR

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
(PIBIC/INPE/CNPq)**

Breno César Baiardi Oliveira (Fatec-SJC, Bolsista PIBIC/CNPq,
brenocbo@gmail.com)

Dr. Waldeir Amaral Vilela (COCTE/LABAS/INPE, Orientador,
waldeir.vilela@inpe.br)

COLABORADORES

Guilherme Marques Neves (COCTE/ LABAS/INPE)

Dalmo Geraldo Pasim (COCTE/ LABAS/INPE)

INPE-SJC

Julho de 2017

RESUMO

Este trabalho de Iniciação Científica teve seu início em janeiro de 2017, e tem como principal objetivo a elaboração de um programa que realizará a união de dois espectros da radiação solar coletados com dois espectrorradiômetros diferentes. O espectrorradiômetro é um dispositivo que mede a intensidade da radiação solar em vários comprimentos de onda. O Grupo de Dispositivos Fotovoltaicos (GDF) da Laboratórios Associados de Sensores e Materiais (LABAS/INPE) desenvolve uma pesquisa que visa analisar o efeito da variabilidade espectral da radiação solar em dispositivos fotovoltaicos. Para realização dessa pesquisa, foi desenvolvido um experimento no campus do INPE em Cachoeira Paulista com o objetivo de coletar espectros da radiação solar para várias condições ambientais. Para esta pesquisa, é necessário examinar as regiões do ultravioleta (UV), do visível (VIS) e do infravermelho próximo (NIR) do espectro solar e para isso foram utilizados dois espectrorradiômetros. Um dos espectrorradiômetros coleta o espectro correspondente às faixas de 200 nm a 1100 nm, e o outro de 900 nm a 1700 nm. Para facilitar a análise dos espectros coletados, é necessário que os dados gerados pelos dois instrumentos sejam unificados, gerando uma única curva espectral de 200nm a 1700nm. Para que a união dos espectros seja consistente, é necessário que os espectrorradiômetros sejam calibrados e a região definida entre 900 nm e 950 nm, que é a faixa de intersecção entre a leitura dos dois sensores, seja devidamente tratada. Essa região, que inicialmente possui dados sobrepostos, é tratada através do cálculo da média aritmética entre a intensidade das duas curvas. Como a quantidade de pontos e o intervalo de medição dos espectrorradiômetros são diferentes, também foi necessário aplicar o método de interpolação linear dos dados para gerar novos pontos que coincidam em ambas as curvas. Para realização do tratamento dos dados e a geração do espectro final, foi desenvolvido um programa que utiliza a linguagem de programação python. Este programa realiza leituras de dados gerados pelos dois espectrorradiômetros que estão em formato “txt”. Com o processamento do programa, um arquivo contendo dados unificados é gerado e salvo no computador. Atualmente o programa encontra-se em fase de testes para detectar a existência de falhas como: a exclusão de valores, caminhos inexistentes, cálculos matemáticos incorretos, e formato



dos dados gerados. Para tanto, diferentes tipos de medidas vem sendo realizadas com os espectrorradiômetros em campo de modo a garantir a integridade dos resultados finais. Dessa forma, possíveis falhas no programa poderão ser previstas e evitadas. As próximas atividades relacionadas a este projeto de Iniciação Científica consistirão na finalização e validação do programa que une os espectros gerados no experimento no INPE em Cachoeira Paulista e na elaboração de um banco de dados deste mesmo experimento. A população do banco de dados será com dados ambientais, de espectros e de parâmetros de funcionamento de painéis solares fotovoltaicos. Este banco de dados deverá contemplar os espectros na faixa de 200 nm a 1700 nm e será uma grande contribuição a projeto de pesquisa do GDF/LABAS.



LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

x	Irradiância espectral
λ	Comprimento de onda
α	Coefficiente angular
β	Coefficiente linear
GDF	Grupo de Dispositivos Fotovoltaicos
CLI	Command Line Interface
GUI	Graphical User Interface
IV	Infravermelho
IVD	Região do espectro que, de acordo com a norma ISO, situa-se entre 50000 e 1000000 nm
IVP	Região do espectro que, de acordo com a norma ISO, situa-se entre 780 e 3000 nm
LABREN	Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia
VIS	Visível
UV	Ultravioleta



LISTA DE FIGURAS

	n° pg
Fig. 1 - Espectro da radiação solar	3
Fig. 2 - Espectro da radiação solar no topo da atmosfera e na superfície terrestre.	4
Fig. 3 - Resposta Espectral de várias tecnologias fotovoltaicas.	5
Fig. 4 - Imagem de um espectroradiômetro.	6
Fig. 5 - Esquema do Sistema de Aquisição de Dados.	8
Fig. 6 - Padrão de nomenclatura dos arquivos das medições	11
Fig. 7 - Padrão de nomenclatura do arquivo contendo os resultados	13
Fig. 8 Diferença nos intervalos de comprimento de onda	14
Fig. 9 - Demonstração de interpolação	15
Fig. 10 Diretório contendo arquivos de leituras	16
Fig. 11 Diretório contendo arquivos de leituras e resultados após execução do programa	17
Fig. 12 Espectro gerado a partir dos originais	18
Fig. 13 Ampliação na região de interesse	19



SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	1
2.	OBJETIVO.....	2
3.	REVISÃO DA LITERATURA.....	3
3.1.	Radiação eletromagnética.....	3
3.2.	Espectro da radiação solar e as suas variações.....	4
3.3.	Espectroradiômetros.....	5
4.	METODOLOGIA.....	6
4.1.	Espectroradiômetros.....	6
4.2.	Tecnologias Computacionais Utilizadas.....	8
4.2.1.	PYTHON:.....	9
4.2.2.	TKINTER:.....	10
4.2.3.	PANDAS:.....	10
4.3.	Manipulação Dos Dados.....	11
4.3.1.	Interpretação Do Arquivo De Leitura.....	11
4.3.2.	Unificação De Curvas Espectrais.....	13
4.3.3.	INTERPOLAÇÃO DE VALORES.....	14
5.	RESULTADOS.....	16
6.	CONCLUSÃO.....	20
7.	TRABALHOS FUTUROS.....	22
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	23

1. INTRODUÇÃO

O Sol emite radiação eletromagnética em vários comprimentos de onda. Didaticamente sua emissão vai desde a região do Ultravioleta (UV), passando pelo Visível (VIS) e o Infravermelho Próximo (IVP) e Distante (IVD). Toda esta energia que é emitida em diversos valores de comprimento de onda é utilizada por vários processos terrestres naturais e artificiais, como a fotossíntese das plantas e a geração de energia solar.

Para que o espectro de radiação eletromagnética emitida pelo Sol possa ser medida e analisada, dispositivos chamados espectroradiômetros são utilizados. Tais dispositivos recebem a radiação em sua entrada óptica e através de uma grade de difração decompõem o feixe em vários comprimentos de onda, que em seguida incidem em um detector. O detector é responsável por realizar a medida e quantificar a radiação ao longo do espectro, gerando assim, curvas correspondentes ao espectro da radiação solar.

O Grupo de Dispositivos Fotovoltaicos (GDF), em conjunto com o Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia (LABREN), ambos grupos de pesquisa do INPE, vem desenvolvendo um projeto que estuda as variações do espectro solar na região do Sudeste brasileiro. Atualmente este projeto possui um único espectroradiômetro instalado em um Sistema de Aquisição de Dados montado no Laboratório de Instrumentação Meteorológica (LIM) no campus do INPE em Cachoeira Paulista - SP. Este dispositivo mede o espectro entre 300 nm e 1100 nm, porém, para uma análise mais completa, é necessário examinar espectros em até 1700 nm, o que ainda não é possível. Assim existe a necessidade da instalação de um segundo espectroradiômetro que meça um intervalo maior do IVP, em até 1700 nm.

Com a utilização de dois espectroradiômetros (o espectroradiômetro UV/VIS/IVP que mede entre 300 nm e 1100 nm e o espectroradiômetro IVP que mede entre 900 nm e 1700 nm) faz-se necessário a unificação dos dados espectrais medidos para facilitar suas análises. Desta forma um estudo mais completo das condições da radiação solar na região em Cachoeira Paulista pode ser realizado de maneira mais organizada.



2. OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo principal o desenvolvimento de um programa que trate e unifique os dados espectrais da radiação solar coletados em dois espectrômetros diferentes que gera espectros em intervalos de comprimento de onda diferentes entre si. O programa a ser desenvolvido tem como finalidade facilitar a análise dos dados espectrais através de uma única curva com dados consistentes.

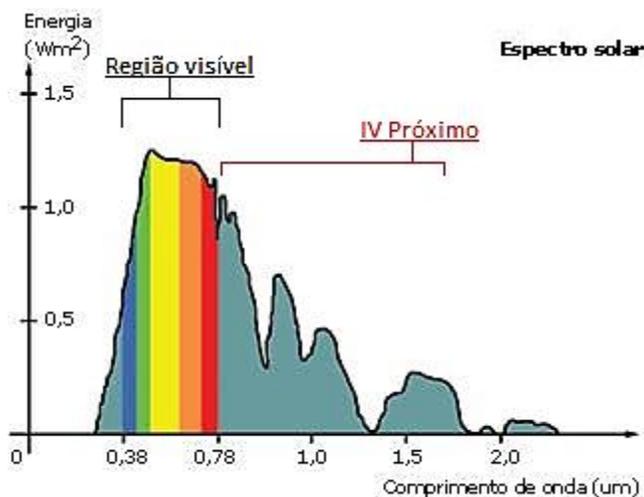
3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1. Radiação eletromagnética

A radiação eletromagnética é o processo pelo qual a energia é transferida de um corpo para outro através de ondas eletromagnéticas sem a necessidade de um meio para se propagar. Elas podem se comportar como partículas ou ondas (devido à dualidade onda-partícula) e variam de acordo com sua frequência ν ou comprimento de onda λ . O conjunto das radiações com variados valores de frequência ou de comprimento de onda é chamado de espectro eletromagnético (YOUNG; FREEDMAN, 2009).

Os espectros eletromagnéticos são gerados por todos os corpos que se encontram acima do Zero Absoluto (-273°C) como consequência da agitação dos átomos que os compõe. O Sol, que possui a superfície em uma temperatura de aproximadamente 6000 K, emite um espectro eletromagnético como o mostrado na Fig. 1. Como pode ser observado, as maiores intensidades da radiação emitida por ele se encontra na região do espectro chamada de Visível, que é a que interage com as células presentes na retina dos olhos humanos.

Fig. 1 Espectro da radiação solar.

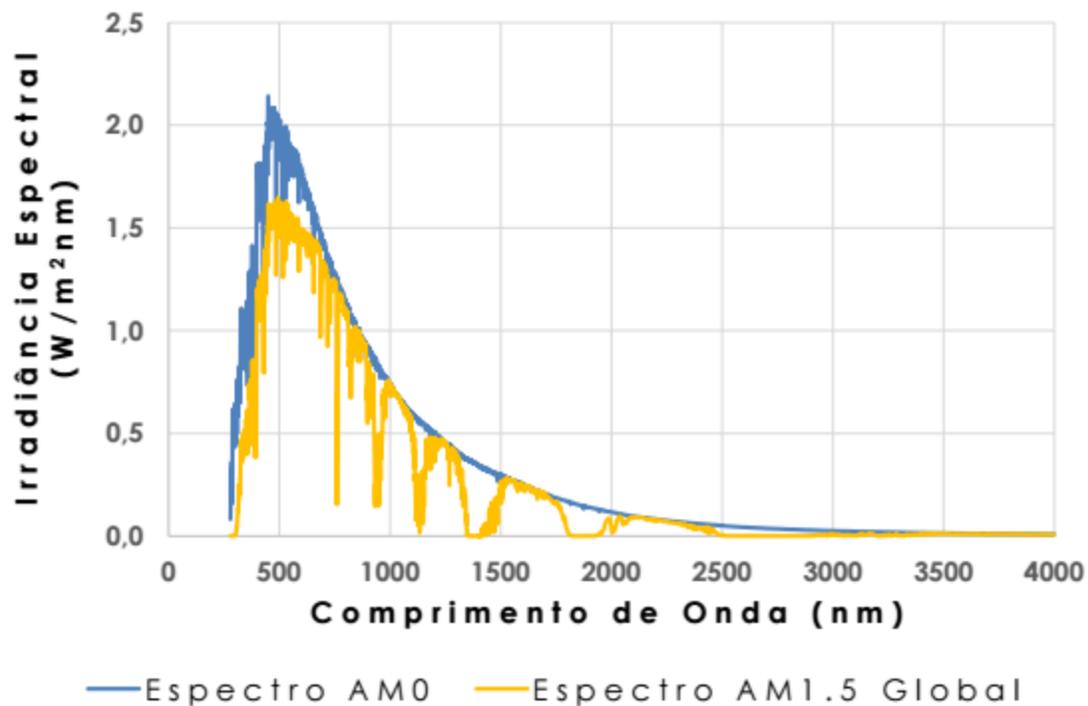


Por conveniência, o espectro da radiação é classificado em várias regiões de acordo com o tipo de interação física que a radiação possui com a matéria. O espectro solar, por exemplo, é classificado em Ultravioleta que está entre 200 nm e 400 nm, Visível que está situado entre 400 nm e 700 nm e o Infravermelho Próximo e Distante que vão desde 700 nm a 1000000 nm (Iqbal, 1989).

3.2. Espectro da radiação solar e as suas variações

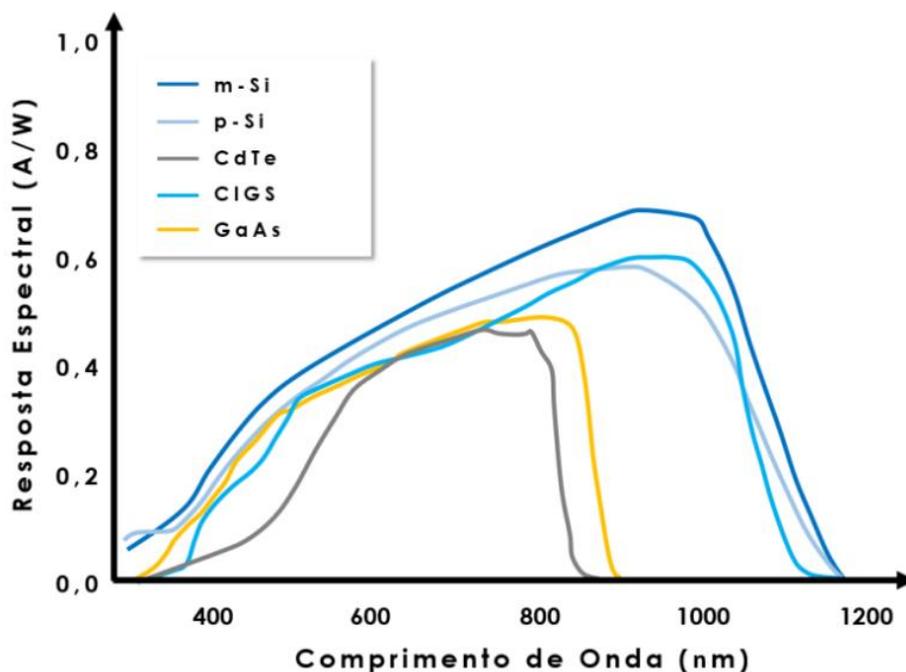
O Sol emite radiação eletromagnética que demora cerca de 8 minutos para chegar ao planeta Terra. Ao atravessar a atmosfera terrestre, a radiação sofre uma série de interações com gases e particulados que modificam o seu espectro conforme ilustrado pela Fig.2. Como a atmosfera é um sistema que varia no tempo e no espaço, os espectros solares que chegam à superfície terrestre também irão variar ao longo do dia, do ano e de uma região para outra.

Fig. 2 - Espectro da radiação solar no topo da atmosfera (curva azul) e na superfície terrestre (curva amarela).



Todas as variações apresentadas pelos espectros solares irão afetar, em maior ou menor grau, os sistemas que dependem deles para seu funcionamento, como os dispositivos fotovoltaicos. Tais dispositivos são espectralmente seletivos, e por isso, somente uma parte do espectro poderá ser aproveitada de modo a ser transformada em energia elétrica. Por isso, conhecer os espectros e como eles variam é muito importante para a comunidade fotovoltaica. Na Fig. 3 é possível observar uma propriedade dos dispositivos fotovoltaicos que se chama Resposta Espectral. A Resposta Espectral irá informar quais os comprimentos de onda que a radiação deve ter para que a energia elétrica possa ser gerada.

Fig. 3 - Resposta Espectral de várias tecnologias fotovoltaicas.



3.3. Espectroradiômetros

Os espectroradiômetros são sistemas ópticos que medem a intensidade da radiação eletromagnética para cada valor de comprimento de onda ou frequência, que possuem elemento sensor interno e que foram calibrados para medir grandezas radiométricas como a Irradiância, por exemplo. Na Fig. 4 é possível ver uma foto de um destes dispositivos.

Fig. 4 - Imagem de um espectrorradiômetro.



Os espectrorradiômetros podem ser classificados de acordo com a região do espectro eletromagnético no qual eles são destinados a medir. De acordo com a região, seus elementos interiores irão mudar para que as medições possam apresentar baixas incertezas na medida. Nesses dispositivos, após a realização das medições, as informações geradas são armazenadas em arquivos de texto que contém pares ordenados dos valores de Irradiância espectral (que é uma medida da intensidade da radiação) e do comprimento de onda.

4. METODOLOGIA

O desenvolvimento da rotina de processamento dos dados da radiação solar teve início na criação de um programa capaz de realizar a leitura e o processamento dos arquivos de texto gerados pelo software de ambos os espectrorradiômetros a serem utilizados na medição da radiação solar em campo. A rotina computacional para o processamento e união dos dados foi desenvolvida utilizando a linguagem de programação Python em conjunto com duas de suas bibliotecas: o Tkinter e Pandas. Informações sobre os sensores, linguagens de programação e tecnologias de desenvolvimento de software são dadas nas subseções seguintes informações.

4.1. Espectrorradiômetros

Os espectrorradiômetros que serão utilizados no Sistema de Aquisição de Dados em Cachoeira Paulista e terão seus dados unificados são o Espectrorradiômetro UV/VIS/IVP

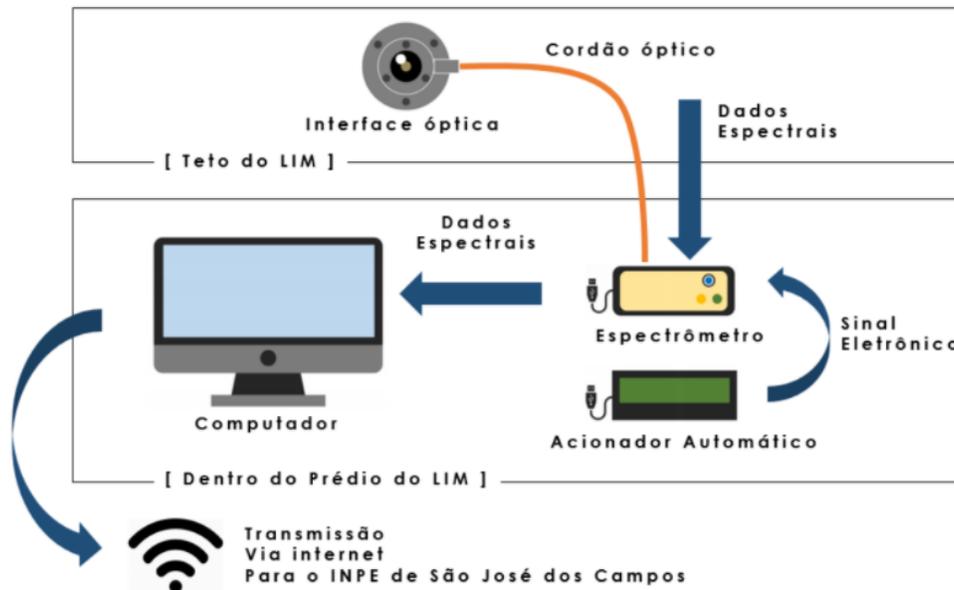
que mede desde o Ultravioleta até o Infravermelho Próximo (num intervalo de medição entre 300 nm e 1100 nm) e o Espectroradiômetro IVP que mede uma parte do Infravermelho Próximo (num intervalo de medição entre 900 nm e 1700 nm). Ambos dispositivos são do mesmo fabricante, a GetAMO e suas especificações seguem na Tab. 1 abaixo.

Tab. 1 - Especificações dos Espectroradiômetros utilizados.

	Espectroradiômetro UV/VIS/IVP	Espectroradiômetro IVP
Modelo	GetSpec 2048	GetSpec NIR-128L-1.7 T.E cooled USB
Detetor / Pixels	CCD / 2048	CCD / 128
Fenda de Entrada	50 μm	50 μm
Faixa Espectral	200 nm a 1100 nm	900 nm a 1700 nm
Resolução	2,4 nm (FWHM)	12,5 nm (FWHM)
Formato dado gerado	.tit	.dat

O espectroradiômetro UV/VIS/IVP já se encontra instalado no Laboratório de Instrumentação Meteorológica (LIM) no campus do INPE de Cachoeira Paulista no Sistema de Aquisição de Dados que coleta espectros solares, diferentemente do espectroradiômetro IVP, que ainda não foi instalado. Na Fig. 5 é possível observar um desenho que ilustra o Sistema de Aquisição de Dados com todos os seus componentes.

Fig. 5 - Esquema do Sistema de Aquisição de Dados.



Como pode ser observado na Fig. 5, a radiação solar é coletada pela interface óptica e através do cabo óptico é enviada para o espectrômetro que realiza a medição. Os dados são enviados para o computador, aonde um programa específico processa as informações e gera as curvas, armazenando-as em um banco de dados e enviadas para o INPE de São José dos Campos via Internet. É neste sistema que o espectroradiômetro IVP será utilizado em conjunto com o programa de unificação desenvolvido neste projeto.

4.2. Tecnologias Computacionais Utilizadas

Ao longo do desenvolvimento deste trabalho, houve a necessidade da aplicação de tecnologias de tratamento de dados, de persistência, busca e manipulação de texto. Foram utilizadas linguagens de programação e suas ferramentas, nativas ou não, com capacidade de atuação em ciência de dados. Nas subseções abaixo seguem as descrições das tecnologias integradas no sistema.

4.2.1. PYTHON:

Python é uma linguagem de programação estruturada que promove a legibilidade e a produtividade, além de ser baseada em C e C++, o que permite que se tenha alto nível de compatibilidade com os sistemas operacionais mais comuns. É uma ferramenta potente para interpretação de strings e possui grande variedade de extensões e bibliotecas para programação lógica. Tendo em vista que a maioria dos sistemas operacionais possui como padrão interpretadores a linguagem C ou C++, a linguagem python se torna uma ferramenta com múltiplas áreas de aplicação.

A linguagem Python é de uso livre e gratuita e possui várias alternativas de aplicação, principalmente com os frameworks e os interpretadores que permitem que outras linguagens sejam utilizadas. Como exemplo, pode ser citado o Jython, que utiliza Java para programação com Python.

Por ser multiplataforma e multiparadigma, Python pode ser utilizado no desenvolvimento de sistemas e programas para qualquer tipo de ambiente, incluindo desktop, web ou móvel. A variedade dos frameworks existentes promove que o uso da linguagem seja difundida em amplas situações e com propósitos variados. A legibilidade e a sintaxe são simplificadas, de forma que caracteres complexos são evitados e a organização de blocos fazem com que o compartilhamento e compreensão de códigos sejam facilitados, e consequentemente a manutenção.

Neste trabalho foi utilizado a versão 3.6.1 do Python, com auxílio do ambiente de desenvolvimento PyCharm 2016.3.2. O desenvolvimento do projeto teve a linguagem como base para todas as atividades, desde a interpretação dos arquivos à gravação do resultado final. Os comandos de configuração dos outros recursos serão realizados com utilização de Python, assim como o tratamento matemático e a compreensão dos frameworks de uso específico.

4.2.2. TKINTER:

Tkinter é uma biblioteca de Python que permite o desenvolvimento de interfaces gráficas simples que seguem o design das janelas do sistema operacional no qual é utilizado. A extensão acompanha a instalação padrão de Python 3.6, se encontra na versão Tkinter 8.6 e será utilizada para que a experiência do usuário seja simples e intuitiva. Dentre as possibilidades de utilização de tkinter, podemos destacar a utilização de interface para seleção, criação e edição de arquivos.

Para que a interação com o programa desenvolvido não parta somente de comunicação por parte do terminal de comando do sistema operacional ou do interpretador padrão, haverá aplicação de interface gráfica mínima. A exibição de uma tela de seleção, e outras necessidades de demonstração de dados será aplicada com utilização de Tkinter.

4.2.3 PANDAS:

Pandas é um biblioteca de alto desempenho que fornece suporte para várias tecnologias de análise de dados científicos. Pandas possui ferramentas desenvolvidas especificamente para dados coletados nas áreas de pesquisa e desenvolvimento e é otimizada para que as tarefas de busca e relação sejam realizadas de forma eficiente e abrangente. Ao ser usada em conjunto a outras bibliotecas nativas ou não, é possível manipular os valores com utilização de modelagens distintas, fornecendo possibilidades mais maleáveis. Com a biblioteca nativa Numpy, por exemplo, os valores podem ser formatados para melhor organização e validação, além de permitir formatação numérica mais específica, visando a inserção em bancos de dados.

O complemento Pandas 0.20.2, instalado com o pacote Anaconda 4.4.0 foi utilizado para organização dos dados numéricos e para formatação padrão, visando organizar os valores para inserção em bancos de dados, e para facilitar a conversão matemática que será

realizada com os operadores de outras biblioteca incluídas em sua base de funcionamento. Exemplos dessas bibliotecas são Numpy, matplotlib e csv.

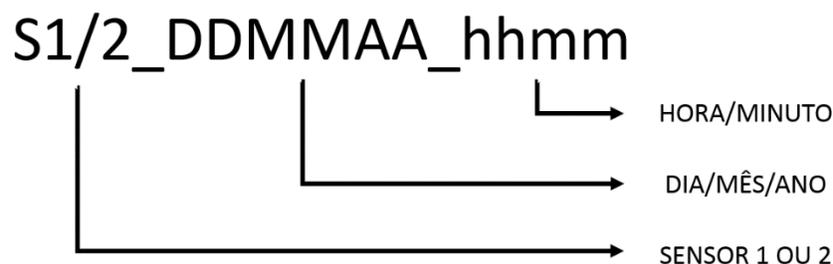
4.3. Manipulação Dos Dados

O programa desenvolvido neste trabalho lê as informações de comprimento de onda e Irradiância Espectral contido nos arquivos provenientes Espectroradiômetro UV/VIS/IVP e outro do Espectroradiômetro IVP e os unifica em um único arquivo. As informações que estão entre os intervalos de comprimento de onda onde não ocorre sobreposição de leitura dos sensores, ou seja, entre 300 nm e 900 nm e 950 nm e 1700 nm são utilizados sem nenhuma manipulação. Já os valores que se encontram na região de sobreposição de leitura dos sensores são tratados matematicamente através de Interpolação e Média Aritmética dos valores de Irradiância Espectral como será discutido nas seções seguintes.

4.3.1. Interpretação Do Arquivo De Leitura

Os dados provenientes dos espectroradiômetros estão contidos em arquivos com extensão .tit e .dat e são nomeados segundo o padrão mostrado na Fig.6 abaixo. Neste padrão, o nome do arquivo começa com o valor de 1 caso seja um dado do Espectroradiômetro UV/VIS/IVP ou 2 caso seja proveniente do Espectroradiômetro IVP. Na sequência é informado o dia, mês e ano seguidos da hora no qual as informações foram medidas.

Fig. 6 - Padrão de nomenclatura dos arquivos das medições



O programa desenvolvido neste projeto foi programado para reconhecer tal padrão automaticamente, sem necessitar de indicar a ele quais arquivos de entrada devem ser

utilizados. Utilizando a manipulação de Strings em Python, os dados contidos nos nomes dos arquivos são segmentados e utilizados como informação para encontrar o diretório correto onde estão contidos os dados ou onde os arquivos de saída deverão ser gravados.

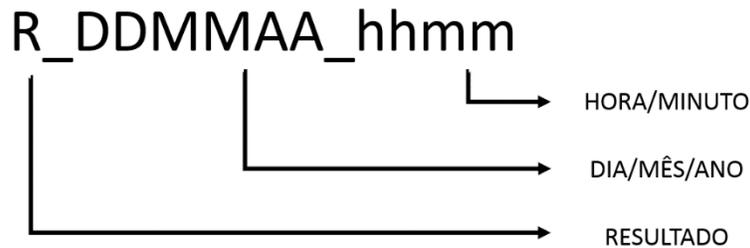
Nos arquivos provenientes dos dois espectroradiômetros, as informações de comprimento de onda e de irradiância espectral contidas estão dispostas em colunas separadas por meio de separadores e delimitadores. Para que tais informações possam ser lidas e trabalhadas, elas precisam ser preparadas. Essa preparação consiste na leitura dos dados e na filtragem das informações a serem utilizadas por meio de métodos criados denominados “match” e “slice”. Métodos são estruturas encapsuladas de códigos com funcionalidade específicas, e são utilizados com o intuito de serem executadas repetidas vezes aplicando os mesmos tratamentos em parâmetros diferentes. O método “slice” tem como parâmetros as duas listas, que correspondem aos dados originados dos dois espectroradiômetros e retorna as listas por meio de atribuição múltipla, mas somente com os dados compreendidos na região onde existe sobreposição. O método “match” tem como parâmetros as mesmas duas listas e com auxílio do método “slice” realiza a junção dos dados dos dois arquivos e retorna uma única lista contendo o resultado do processamento.

Durante esse processo o programa utiliza conceitos de organização para atribuir todos os valores de dois arquivos de texto em listas estruturadas, que são formatadas para tratamento matemático e posteriormente manipulação com a biblioteca Pandas. Com isso um novo arquivo de extensão .txt com as informações de comprimento de onda entre 300 nm e 1700 nm e seus respectivos valores de irradiância espectral é criado e salvo em diretórios com a data e hora que ocorreu a coleta dos dados espectrais.

Para facilitar a identificação dos arquivos gerados pelo programa desenvolvido, um padrão de nomenclatura para eles também foi desenvolvido. Tal padrão é semelhante à dos arquivos de entrada do programa e é mostrado na Fig. 7. Nela pode ser visto que os nomes começam com a letra R de resultado, diferenciando tais arquivos dos que são provenientes

dos espectralradiômetros e servem de entrada para o programa (que, como já mostrado na Fig. 6, começam com a letra S).

Fig. 7 Padrão de nomenclatura do arquivo contendo os resultados

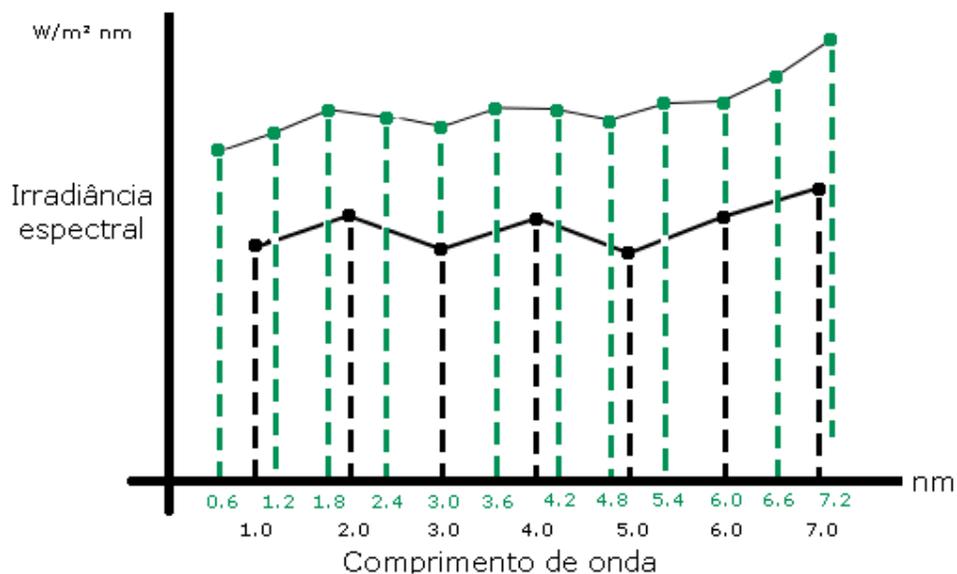


4.3.2. Unificação De Curvas Espectrais

No processo de unificação de curvas espectrais, o programa cria uma terceira lista para receber os novos pontos. Para que o processamento do programa corra de forma a promover a legibilidade e minimizar o uso dos recursos, os dados a serem inseridos são divididos em três segmentos. O primeiro segmento é de origem exclusivamente do espectralradiômetro referente à região UV/VIS/IVP, excluindo os dados cujo comprimento de onda seja maior que 900 nm. O segundo segmento corresponde à região de 900 a 950 nm e, por ser uma região onde há dados provenientes dos dois sensores, terá seus valores de Irradiância Espectral calculados a partir da média aritmética dos valores dos dois arquivos de origem, considerando os valores estimados a partir da interpolação de dados.

A interpolação de dados se fez necessária pois a precisão dos dois sensores é diferente, e por isso as escalas de comprimento de onda não são coincidentes, como ilustrado pela Fig. 8. Deste modo, a média dos valores de Irradiância Espectral somente seria possível entre estes valores medidos para um mesmo valor de comprimento de onda.

Fig. 8 Diferença nos intervalos de comprimento de onda

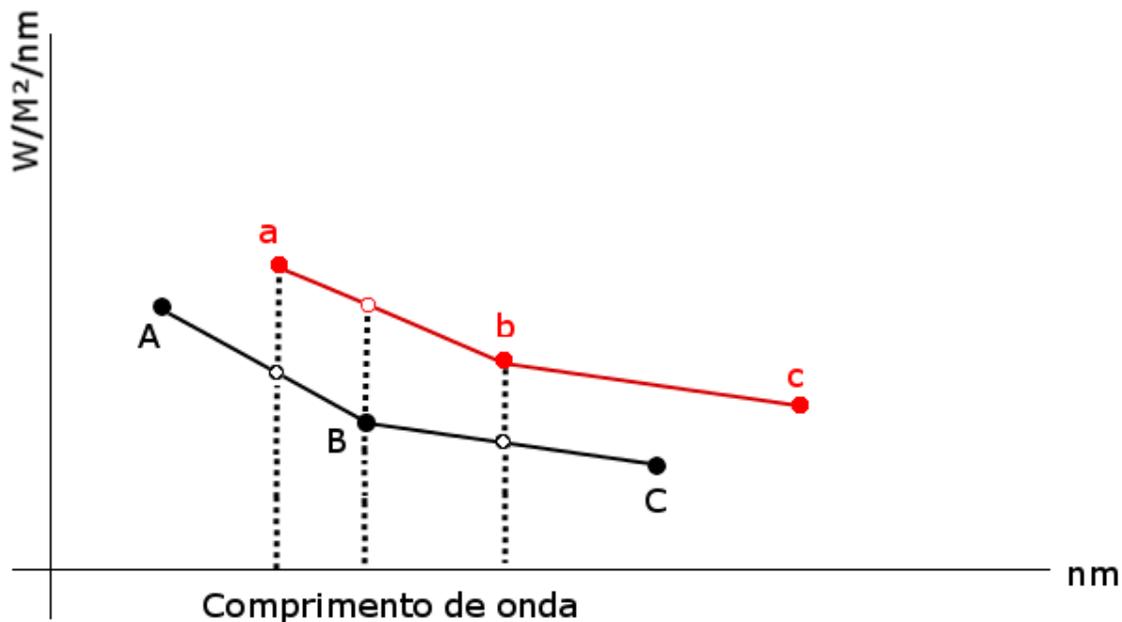


O terceiro segmento provém exclusivamente do espectrorradiômetro referente à região IVP, mas exclui os valores encontrados abaixo de 950 nm. Após a unificação dos dados em um único arquivo e o ajuste dos pontos na região de transição, o resultado será um arquivo que compreenderá o comprimento de onda de 300 nm a 1700 nm.

4.3.3. INTERPOLAÇÃO DE VALORES

Como mencionado anteriormente, os dispositivos utilizados na pesquisa geram arquivos de dados que possuem intervalos de medição com diferentes resoluções. Por isso, na região de sobreposição dos dados (entre 900 nm e 950 nm) foi necessário estimar os valores de Irradiância Espectral de ambas as medições nas duas curvas espectrais com base nos comprimentos de onda correspondentes, de forma que os valores de comprimento de onda coincidam. Tal processo é necessário para que a média aritmética destes valores possa ser realizada. Tal estimativa foi realizada através de Interpolação Linear como ilustrado na Fig. 9 abaixo.

Fig. 9 Demonstração da interpolação linear realizada



Como pode ser observado na Fig. 9, os pontos são estimados com a utilização da equação da reta, onde $x(\lambda) = \alpha\lambda + \beta$ (sendo x o valor da Irradiância Espectral, λ o valor do comprimento de onda, α o coeficiente angular e β o linear da reta). Considerando, por exemplo, um valor de comprimento de onda a , os valores de α e β são calculados através dos pontos A e B utilizando seus valores de x e λ nestes pontos. Uma vez que a equação da reta neste intervalo entre os pontos A e B é obtida, o valor de x para o ponto a é estimado. Este procedimento é repetido para todos os intervalos entre dois pontos de medição, garantindo assim que na região de interesse (900 nm a 950 nm) exista a mesma quantidade de pontos em ambas as listas e que tenham o mesmo comprimento de onda.

5. RESULTADOS

Ao fim do desenvolvimento do projeto, o programa se mostrou capaz de encontrar os arquivos correspondentes à mesma data e hora de ambos os espectroradiômetros e interpretar suas informações. As informações em seu estado original possuem características que dificultam sua união, portanto são convertidas pelo programa para uma forma na qual possam ser unidas. Para que essa conversão ocorra, os arquivos são buscados e interpretados baseando-se em sua nomenclatura.

Ao iniciar o programa, é exibida em um terminal CLI (Command Line Interface) que é encarregada de receber informações do usuário, este que deve inserir a data desejada, e especificar o processo utilizado. Uma vez que o programa possui estas informações, ele se encarrega de encontrar o diretório com os arquivos de medição armazenados e padronizados. No estado atual, o programa não possui interface gráfica ou GUI (Graphical User Interface) capaz de demonstrar os resultados, esta que será desenvolvida quando os testes estiverem concluídos. Na Fig. 10, encontra-se a organização dos arquivos antes da execução de qualquer rotina, ou seja, sem nenhuma interação por parte do software desenvolvido. Com a execução do processo de interpretação dos arquivos e de leitura das informações a respeito da data das medições, o programa encontra o diretório correto onde se deseja iniciar a leitura dos dados.

Fig. 10 Diretório contendo arquivos de leituras

Nome	Data de modificaç...	Tipo	Tamanho
 S1_210617_1300.tit	15/05/2017 15:50	Arquivo TIT	2 KB
 S1_210617_1400.tit	15/05/2017 15:50	Arquivo TIT	2 KB
 S1_210617_1500.tit	15/05/2017 15:50	Arquivo TIT	2 KB
 S2_210617_1300.dat	15/05/2017 15:46	Arquivo DAT	12 KB
 S2_210617_1400 .dat	15/05/2017 15:46	Arquivo DAT	12 KB
 S2_210617_1500.dat	15/05/2017 15:46	Arquivo DAT	12 KB

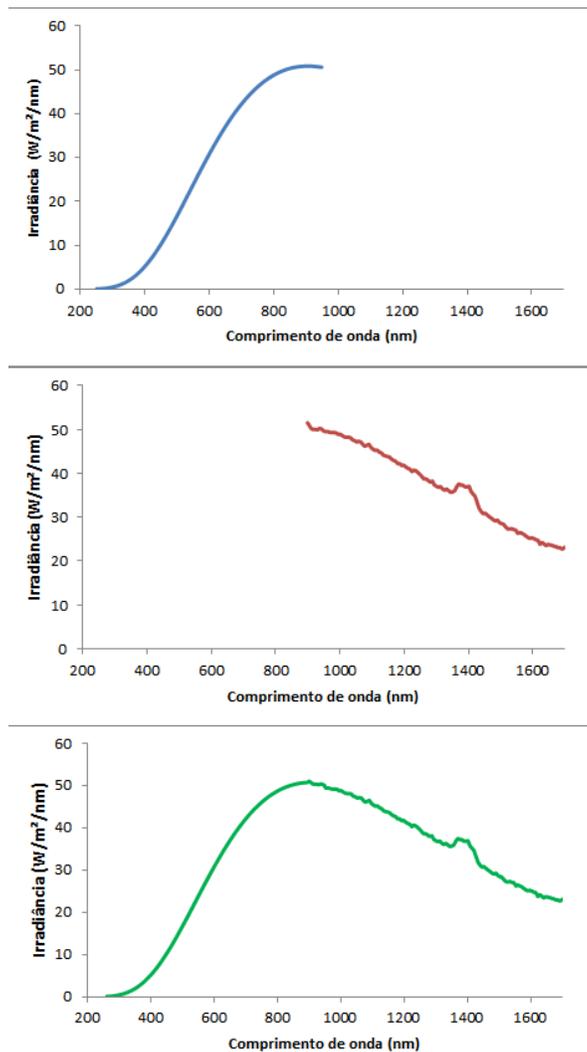
Com a realização da junção dos dados, o processo finaliza o ciclo com a criação de novos arquivos, desta vez com resultados, para o par de leituras com mesmas data e hora que as das medições originais. Os arquivos resultantes são armazenados no mesmo diretório e com nomenclatura diferente. Com isso o programa inicia outro ciclo, procurando outros arquivos na mesma pasta que necessitem de união. Na Fig. 11 podemos observar a organização dos arquivos na pasta onde ocorreu a execução de um ciclo completo do programa.

Fig. 11 - Diretório contendo arquivos de leituras e resultados após execução do programa

Nome	Data de modificaç...	Tipo	Tamanho
 R_210617_1300.txt	21/06/2017 11:08	Documento de Te...	16 KB
 R_210617_1400.txt	21/06/2017 11:08	Documento de Te...	16 KB
 R_210617_1500.txt	21/06/2017 11:08	Documento de Te...	16 KB
 S1_210617_1300.tit	15/05/2017 15:50	Arquivo TIT	2 KB
 S1_210617_1400.tit	15/05/2017 15:50	Arquivo TIT	2 KB
 S1_210617_1500.tit	15/05/2017 15:50	Arquivo TIT	2 KB
 S2_210617_1300.dat	15/05/2017 15:46	Arquivo DAT	12 KB
 S2_210617_1400 .dat	15/05/2017 15:46	Arquivo DAT	12 KB
 S2_210617_1500.dat	15/05/2017 15:46	Arquivo DAT	12 KB

Como resultado da execução do processo de união, as curvas espectrais provenientes do espectrorradiômetro UV/VIS/IVP e do espectrorradiômetro IVP foram unificadas formando uma única curva espectral no intervalo de comprimento de onda entre 300 nm e 1700 nm. Para ilustrar tal processo de unificação, na Fig. 12 há uma curva espectral medida pelo espectrorradiômetro UV/VIS/IVP, uma curva espectral gerada pelo espectrorradiômetro IVP e a curva resultante da união de ambas, que foi gerada pelo programa desenvolvido neste projeto.

Fig. 12 Espectro gerado a partir dos originais

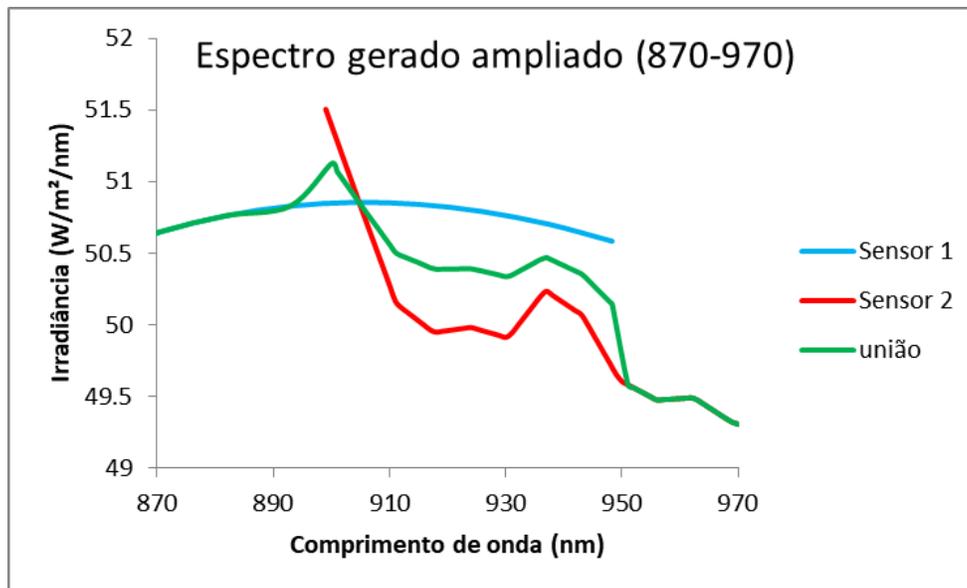


Como pôde ser observado na Fig. 12, o programa desenvolvido gera um espectro unificado coerente, sem grandes diferenças de valores de Irradiância e com maior cobertura de comprimento de onda do que nas medidas originais. As mudanças significativas ocorrem na região específica entre 900 e 950 nm.

Na Fig. 13, pode-se observar detalhadamente o resultado da união realizada na região definida como zona de transição entre as medidas dos espectrorradiômetros, o

processo de unificação definiu novos pontos que se encontram na média dos pontos dos espectros das curvas originais. O ponto mínimo entre 900 nm e 950 nm é unido ao espectro original da medida que contém os dados da abaixo da zona de transição e o ponto máximo é unido ao espectro original da medida que contém os pontos acima

Fig. 13 Ampliação na região de interesse



As informações contidas no arquivo resultante são referentes à uma curva de Irradiância espectral com cobertura ampla, que inclui todas as regiões de interesse nos estudos da incidência da radiação solar em módulos fotovoltaicos realizada no pelo GDF. Ao obter uma única fonte com informações das duas fontes será possível por exemplo, realizar cálculos a respeito de características do espectro medido sem a limitar os resultados à somente uma região de incidência.



6. CONCLUSÃO

O trabalho desenvolvido durante o período de iniciação científica teve como principal objetivo criar um programa capaz de interpretar, processar e unificar as medidas espectrais resultantes de dois espectroradiômetros distintos de uma maneira consistente e fiel às medidas reais. Através da execução do programa, novos arquivos de dados podem ser criados e armazenados no mesmo diretório dos arquivos de origem, com a nomenclatura correta determinada pelo projeto. Tais arquivos apresentam as informações do espectro da radiação solar em um intervalo de comprimento de onda que vai de 300 nm a 1700 nm, sendo que entre 300 nm e 900 nm a leitura é do espectroradiômetro do UV/VIS/IVP e acima de 950 nm, do espectroradiômetro IVP. Os valores de radiação entre 900 nm e 950 nm são calculados através da média aritmética entre os dados obtidos com os dois sensores.

Com base nos testes aplicados, o programa cumpre suas funções, unificando as curvas e realizando a substituição por pontos médios na região de interesse, ajustando assim, a região onde as curvas se unem. Região esta que é de difícil manipulação devido à grande quantidade de ruído presente nos dados do espectroradiômetro do UV/VIS/IVP. Com relação ao processamento, este ocorreu sem apresentar sobrecarga ou comprometer o funcionamento do computador, além de que o hardware e o sistema não demonstraram limitações, desde que as bibliotecas e recursos auxiliares mínimos estivessem instalados.

Após a execução e a criação de um novo arquivo, a curva espectral pode ser examinada ao todo, incluindo todas as regiões de interesse nos estudos da incidência da radiação solar em módulos fotovoltaicos. Ao obter um único arquivo com o espectro completo do Sol, será possível, por exemplo, inseri-los em uma base de dados e realizar buscas relacionando os dados de forma a obter resultados mais específicos



Assim, pode-se afirmar que o programa, que se encontra em fase de testes de consistência e de execução, é capaz de interpretar, organizar, tratar os dados e de gerar um novo arquivo de texto com os resultados da unificação.



7. TRABALHOS FUTUROS

Os seguintes trabalhos são previstos para dar continuidade ao projeto:

- Incluir os espectros medidos em um banco de dados com mais informações a respeito da pesquisa
- Formatar outras informações sobre os módulos fotovoltaicos e da atmosfera e inserir no banco de dados.
- Criar um programa capaz de realizar buscas relacionais no banco de dados.



8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GREEN, M. A; EMERY, K.; HISHIKAWA, Y.; WARTA, W.; DUNLOP, E. D. Solar cell efficiency tables (Version 45). Progress in Photovoltaics: Research and Applications, v. 23, n. 1, p. 1-9, 2015.

IQBAL, M. Introduction to solar radiation. Toronto: Academic, 1983.

LIU, K. N. Introduction to atmospheric radiation. 2.ed. San Diego: Academic press, 2002.

MCCLUNEY, William Ross. **Introduction to radiometry and photometry**. Artech House, 2014.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. Física IV: óptica e física moderna. São Paulo: Pearson, 2009.