

# Software for automated reading of sunshine duration by Digital Image Processing

M. R. Raniero, M. V. C. Calca, D. M. Z. Fernando, O. C. P. de Almeida and A. Dal Pai

**Abstract**—The present study aims to demonstrate the benefits and results obtained from software for filtering, processing and managing sunshine duration monitored by heliographs, in meteorological stations. The source code of the software was developed using the Java EE 7 (Java Enterprise Edition) programming language, based on internet applications. Information storage and management was performed by the MySQL 5.7 Database Management System (DBMS). Digital image processing techniques, incorporated in the software, allowed to count sunshine duration in an automated and standardized way, eliminating errors due to the complexity and subjectivity in the measurement observation, performed manually. Processing routines were implemented to apply filters in the spatial domain, enhancing digital images of sunshine data, to better identify parts of interest and ensure quality in the accounting process. For software validation, a set of September 2015 sunshine data, provided by the Lageado Meteorological Station of the School of Agricultural Sciences (UNESP) of Botucatu - SP, was used. In which, comparisons between readings performed by the computer program and readings performed manually showed MBE values of 0.130 hours (rMBE = 1.908%), RMSE of 0.259 hours (rRMSE = 3.791%) and R of 0.998. Indicating that the software can be used to read sunshine data, as it ensures automation, standardization and speed in the process.

**Index Terms**—Digital Image Processing, Sunshine Hours Count, Solar Radiation.

## I. INTRODUCTION

A radiação solar é uma forma energética limpa e gratuita, constituindo a principal fonte de energia para processos físicos, biológicos e químicos, tais como a fotossíntese vegetal, evapotranspiração e o crescimento de culturas [1]. Alterações nos níveis de radiação solar podem causar mudanças

M. R. Raniero, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, São Paulo, Brasil (e-mail: matheus.raniero@hotmail.com).

M. V. C. Calca, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, São Paulo, Brasil (e-mail: mcontes@outlook.com).

D. M. Z. Fernando, Universidade Pedagógica de Moçambique, Faculdade de Ciências Naturais e Matemática, Chimoio, Manica, Moçambique (e-mail: dmzeca@gmail.com).

O. C. P. de Almeida, Faculdade de Tecnologia de Botucatu, Botucatu, São Paulo, Brasil (e-mail: osvaldo.almeida@fatec.sp.gov.br)

A. Dal Pai, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, São Paulo, Brasil (e-mail: dal.pai@unesp.br).

climáticas drásticas, alterando significativamente as propriedades óticas da atmosfera e sua distribuição de nuvens [2]. O correto conhecimento dos níveis de radiação solar incidente em uma determinada região guarda especial importância em setores estratégicos como economia, política e meio ambiente.

A melhor forma de se saber o perfil de radiação incidente em uma localidade é por meio do estudo de valores medidos em superfície. Entretanto, a grande problemática que envolve a coleta de dados de radiação solar é o elevado custo da instrumentação radiométrica [3]. Além disso, exigem o uso programas de aquisição de dados (*dataloggers*) e de pessoal especializado para calibração e manutenção da instrumentação, elevando o custo de aquisição dessas informações.

Estações meteorológicas ou solarimétricas de baixa densidade, com menor concepção tecnológica, tendem a desenvolver diferentes modelos empíricos para se estimar a radiação solar utilizando outros parâmetros meteorológicos prontamente disponíveis, como temperatura do ar, umidade relativa, horas de brilho solar, nebulosidade e precipitação [4][5][6].

Modelos empíricos baseados em horas de brilho solar são amplamente aceitos e geralmente fornecem melhores resultados ao se estimar a radiação solar global [7][4]. Horas de brilho solar são registradas em várias estações ao redor do mundo [8][9][10]. A problemática que abrange a coleta de dados de brilho solar é o fato de ser realizada de maneira manual, por um observador meteorológico, e em escala diária [5].

No método de coleta manual, um observador faz a interpretação visual de um cartão em formato de papel para contabilizar o total diário de horas de brilho solar [5].

Interpretações subjetivas, devido à carência de treinamento ou coletas de dados de brilho solar realizadas por observadores distintos, podem afetar a integridade e confiabilidade de uma base de dados. Além disso, apenas o total diário de brilho solar é armazenado, perdendo informações sobre sua variação ao longo das horas.

A digitalização de dados de brilho solar, juntamente com um software de interpretação de imagens, garante a automatização e padronização do processo de coleta da medida. Minimizando erros de leitura e otimizando o tempo de contagem despendido. Sendo assim, informações de brilho solar de anos e até décadas passadas poderão ser recuperadas, armazenadas em banco de dados digital e compartilhadas de forma eficiente pelas instituições de pesquisa, servindo de parâmetro de entrada em diversos estudos de modelagem.

Consequentemente este estudo tem como objetivo demonstrar os benefícios de um software para automatização e padronização do processo de contagem das horas de brilho solar. Correlacionando resultados obtidos a partir do processamento do software com informações geradas por meio da coleta manual de dados de brilho solar.

Na seção II são apresentados os materiais e métodos utilizados para a realização do estudo (instrumentação, software e técnicas de processamento digital de imagens). Na seção III são apresentados os resultados, discorrendo da automatização do processo de coleta e leitura das horas de brilho solar até a validação do software implementado. Por fim, na seção IV é apresentada a conclusão acerca das descobertas e dos resultados apresentados pelo estudo.

## II. MATERIAL E MÉTODOS

### A. Instrumentação de Coleta de Dados

Cartões em formato de papel (heliogramas) contendo dados de brilho solar de setembro de 2015, utilizados para realizar ajustes nas técnicas de processamento digital de imagens e validação do software, foram cedidos pela Estação Meteorológica Lageado da Faculdade de Ciências Agrônomicas da Unesp de Botucatu, localizada nas coordenadas geográficas: Latitude  $22^{\circ} 50' 48,14''$  Sul ( $-22,846694^{\circ}$ ); Longitude  $48^{\circ} 25' 53,52''$  Oeste ( $-48,431528^{\circ}$ ); Altitude 786 m acima do nível do mar.

Na Fig. 1 pode-se observar o heliógrafo de Campbell-Stokes, utilizado para registrar horas de brilho solar. Composto por uma esfera de vidro transparente, sobreposta em um eixo inclinado, cujo suporte possui uma calha posicionada transversalmente, onde o heliograma é posicionado para ficar no foco dos raios solares convergidos pela esfera [5]. Em dias de céu aberto, os raios solares queimam o papel e em dias de céu nublado o papel não é queimado devido à sombra provocada pelas nuvens. A parte queimada do papel representa o decorrer das horas do dia em que os raios solares não foram obstruídos.



Fig. 1. Heliógrafo responsável pela queima do papel.

A Fig. 2 ilustra os três tipos de heliogramas utilizados em estações meteorológicas, para diferentes estações do ano. No inverno usa-se um heliograma curvilíneo mais curto com concavidade voltada para baixo, devido ao menor fotoperíodo.

No outono/primavera usa-se o heliograma retilíneo e no verão o heliograma curvilíneo mais longo com concavidade voltada para cima devido ao maior fotoperíodo. Os heliogramas são diferenciados devido a variação da declinação solar (ângulo formado entre a linha do equador e a linha imaginária que contém o plano do sol) e do fotoperíodo (duração do dia em horas) entre as diferentes estações do ano.

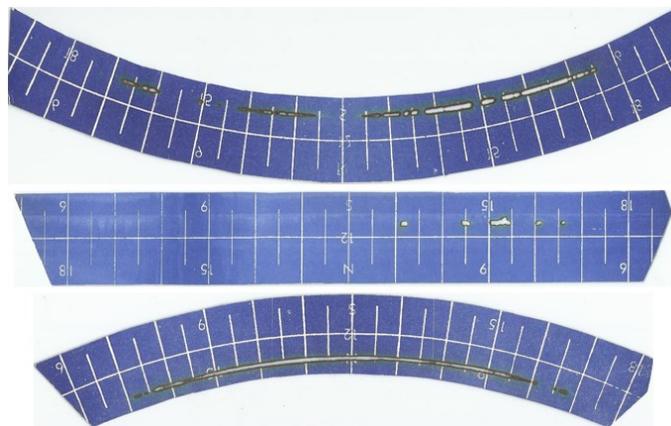


Fig. 2. Heliogramas utilizados no heliógrafo para diferentes estações do ano.

### B. Software Implementado

O software foi desenvolvido na Faculdade de Ciências Agrônomicas da Unesp de Botucatu, para ser utilizado no Laboratório de Radiometria Solar (Departamento de Bioprocessos e Biotecnologia) e no Arquivo Meteorológico (Departamento de Engenharia Rural). Neste estudo, as codificações desenvolvidas, deverão atuar apenas na contabilização automatizada de heliogramas retilíneos, utilizados no outono e na primavera.

Na implementação do software, utilizou-se o Ambiente Integrado de Desenvolvimento Apache NetBeans 11 [11]. O código-fonte foi elaborado utilizando a linguagem de programação Java EE 7 (Java Enterprise Edition), baseada em aplicações para internet [12]. O armazenamento e gerenciamento das informações pertinentes ao software foi realizado pelo Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados (SGBD) MySQL 5.7 [13]. As interfaces gráficas foram implementadas com auxílio do framework Bootstrap 4.3 [14].

O software permite o gerenciamento (cadastro, exibição, edição e exclusão) de usuários, estações, efemérides e heliogramas. Possuindo duas categorias de usuário, comum e administrador. Usuários categoria comum podem manipular grande parte das funcionalidades do software, exceto gerir outros usuários cadastrados, que é de responsabilidade do usuário administrador. Para estações, informações de coordenadas geográficas (latitude, longitude e altitude) são armazenadas e utilizadas como parâmetro em cálculos referentes à radiação solar. Efemérides solares são geradas com base em localizações geográficas e podem ser utilizadas na

estimativa e controle de qualidade de radiação solar.

Heliogramas são processados de maneira automatizada e padronizada, formando uma base de dados horária (hora 5 a hora 18) e uma base de dados diária de dados de brilho solar.

Na Fig. 3 pode-se visualizar o fluxo proposto para se realizar o processamento de dados de brilho solar utilizando o software implementado.

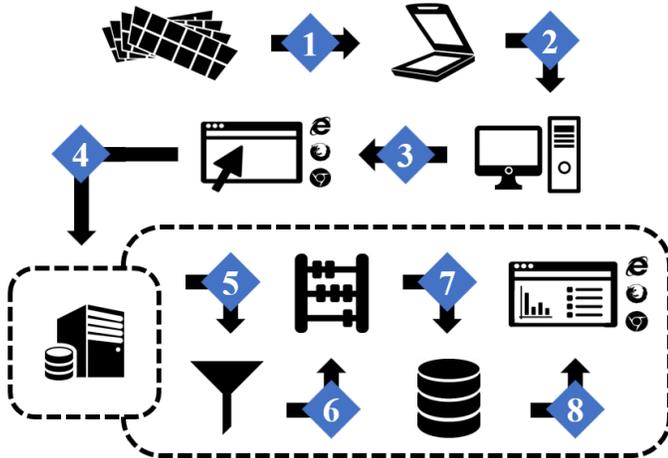


Fig. 3. Fluxo proposto para o processamento de dados de brilho solar por meio do software implementado.

O fluxo de processamento dados de brilho solar possui 8 passos, conforme ilustrado na Fig. 3. Passo 1: os heliogramas em formato de papel são digitalizados. Passo 2: as imagens digitalizadas dos heliogramas são armazenadas na máquina local (computador) do usuário. Passo 3: o usuário acessa o software por meio de um navegador de internet e se autentica, fornecendo seu nome de e-mail e senha. Passo 4: o usuário faz o *upload* da imagem digitalizada e requisita o processamento ao servidor. Passo 5: no âmbito do servidor, inicia-se o processamento da imagem digitalizada por meio do módulo de filtragem, onde as imagens digitais passam por filtros de ajustes para facilitar sua representação e contagem de *pixels*. Passo 6: no Módulo de contagem são realizadas as contabilizações dos *pixels* pertinentes à queima do papel para determinar a quantidade de horas de brilho solar. Passo 7: no Módulo de banco de dados são armazenados todos dados e informações obtidos no processamento de heliogramas, utilizando a tecnologia MySQL. Passo 8: O servidor responde a requisição do usuário, exibindo o resultado do processamento por meio de páginas de internet.

### C. Processamento Digital de Imagens

Técnicas de PDI - Processamento Digital de Imagens foram incorporadas ao software, para realizar o realce, a segmentação e a contagem dos dados digitalizados de brilho solar, permitindo coletas automatizadas e padronizadas. O PDI consiste em um conjunto de técnicas para capturar, representar e transformar imagens com o auxílio computacional.

Possibilitando que máquinas identifiquem e extraiam informações de imagens digitais, concedendo a automatização de tarefas tradicionalmente executadas por seres humanos [15].

Os filtros de realce, etapa também conhecida como filtragem,

visam melhorar a qualidade das imagens por meio da aplicação de técnicas para atenuação de ruídos e suavização de determinadas propriedades da imagem. A segmentação realiza a extração e identificação de áreas de interesse contidas na imagem, normalmente se baseando na detecção de discontinuidades ou similaridades (regiões). O processo de interpretação atribui significado ao conjunto de objetos reconhecidos, neste caso, o reconhecimento e contagem das horas de brilho solar [15].

Neste estudo considera-se áreas de interesse, ou objetos desejados, a queima do papel causada pelo heliógrafo. Pode-se observar na Fig. 4, um heliograma retilíneo com dados de brilho solar.

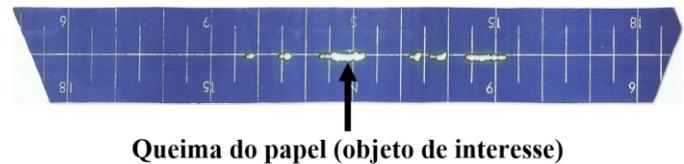


Fig. 4. Heliograma retilíneo com dados de insolação (brilho solar).

## III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### A. Automatização do Processo de Coleta e Contagem

Os heliogramas retilíneos foram digitalizados utilizando um *scanner* com resolução de 300 DPI (pontos por polegadas ou “*Dots Per Inch*” em inglês), garantindo considerável qualidade para as imagens digitalizadas. Adotou-se a extensão de arquivo *jpg* do padrão de compactação JPEG (sem perdas por compactação) para as imagens, por assegurar qualidade e armazenamento com baixo uso de memória. Além de ser um padrão popular e abrangente, fato que contribui para a facilidade do compartilhamento dos arquivos [16]. As imagens digitais originadas a partir da digitalização possuem, aproximadamente, as seguintes dimensões: 430 *pixels* de altura e 2940 *pixels* de largura, conforme aponta a Fig. 5.

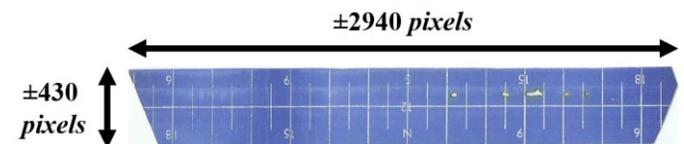


Fig. 5. Dimensões aproximadas das imagens digitalizadas.

Estas três técnicas de PDI, filtragem média, limiarização e operador morfológico, foram propostas para realçar imagens digitalizadas de heliogramas. Minimizando, problemas com digitalizações que não produzem o efeito esperado e apresentam algum tipo de deficiência na captura da imagem. Garantindo que *pixels* pertinentes à queima do papel sejam melhor evidenciados para contabilizações posteriores.

A filtragem média foi utilizada para suavizar a imagem, eliminando as alterações abruptas nos *pixels*, que geralmente são causadas por ruídos. A aplicação deste filtro consiste em substituir o valor de cada pixel da imagem pelo valor médio de seus vizinhos [15]. Uma máscara 3x3 foi utilizada para multiplicar os *pixels* vizinhos e o *pixel* em questão (central),

atribuindo a média das multiplicações ao *pixel* central. Na Fig. 6 pode-se observar um exemplo de aplicação da máscara 3x3. Nota-se que o *pixel* central receberá um novo valor, conforme a média obtida por meio de seus vizinhos.

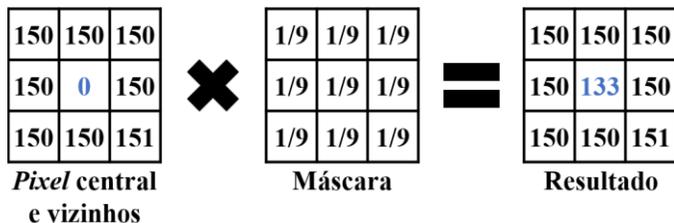


Fig. 6. Exemplo de filtragem média utilizando uma máscara 3x3.

Após a aplicação da filtragem média empregou-se a técnica de limiarização, responsável por extrair os objetos desejados da imagem. A técnica de limiarização consiste, em classificar os *pixels* de uma imagem de acordo com a especificação de um ou mais limiares. Deste modo, qualquer ponto (x, y) de uma imagem no qual o valor de intensidade for menor ou igual a um limiar T denomina-se um ponto do objeto desejado, caso

contrário, é denominado um ponto do fundo da imagem [15][17]. A Fig. 7 apresenta o resultado da limiarização em um heliograma retilíneo. O limiar T foi definido empiricamente com o valor de 120, após vários testes, a fim de garantir que o objeto desejado seja isolado da melhor forma possível do restante da imagem.

Posteriormente, aplicou-se a operação morfológica de abertura para segurar que a imagem a ser processada esteja sem ruídos persistentes. A abertura consiste em aplicar a operação de erosão seguida da operação de dilatação. A erosão remove pontos aleatórios e isolados (normalmente representados por ruídos), porém diminui os objetos na imagem. Para restaurá-los, aplica-se a dilatação, que diferentemente da erosão aumenta objetos em uma imagem [16]. O elemento estruturante utilizado foi similar para as operações de erosão e dilatação, qual consiste em um ponto central (x, y), dois vizinhos horizontais (x - 1, y) e (x + 1, y) e dois verticais (x, y - 1) e (x, y + 1), semelhante a vizinha-4. Na Fig. 8 pode-se observar um exemplo de remoção de ruídos persistentes de uma imagem limiarizada por meio da operação morfológica de abertura.

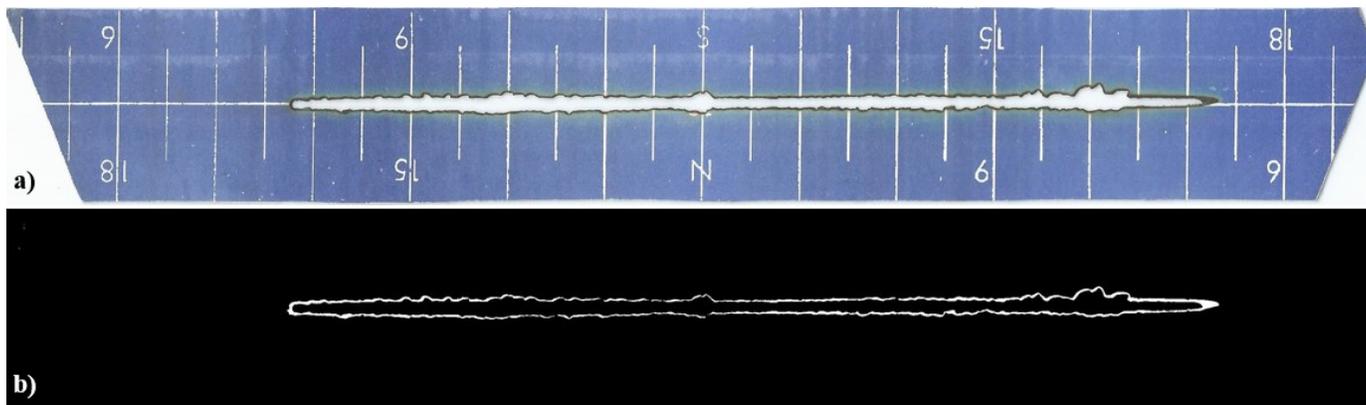


Fig. 7. Resultado da limiarização na imagem digitalizada do heliograma retilíneo.

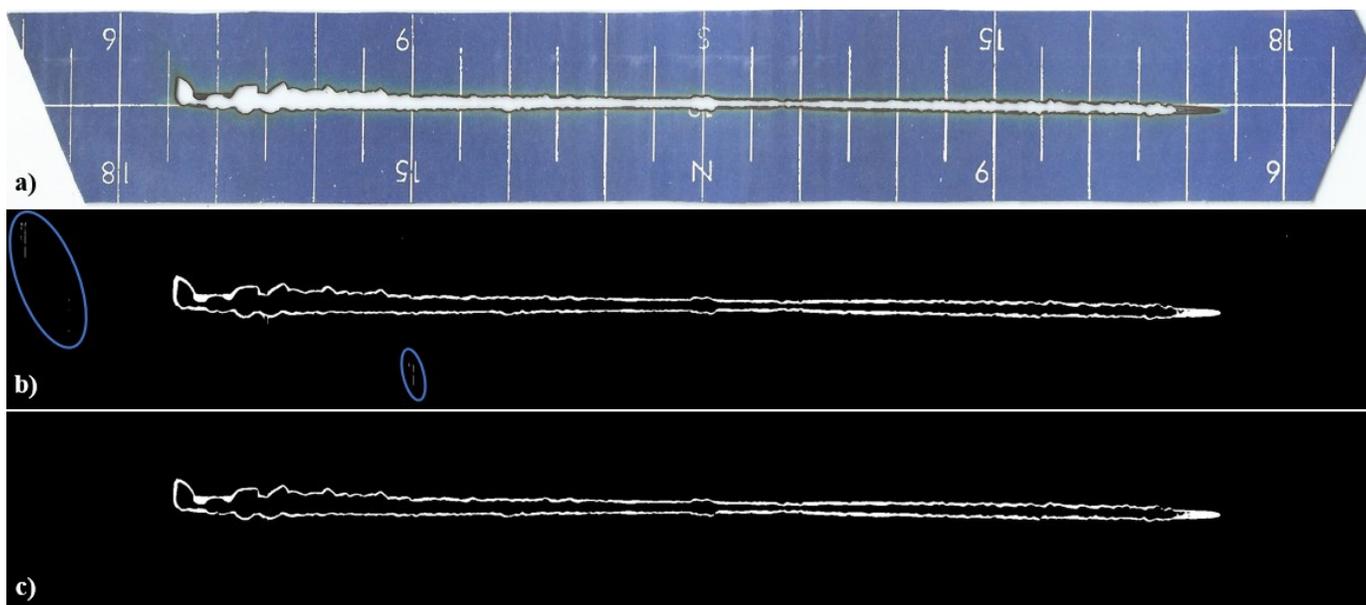


Fig. 8. Operação de Abertura: (a) imagem original, (b) imagem após a técnica de limiarização e (c) imagem após a operação de abertura.

A partir do uso das três técnicas descritas, a imagem do heliograma pôde ser processada com maior eficácia, pois grande parte das anormalidades foram eliminadas, deixando em evidência os *pixels* pertinentes à queima do papel.

Desenvolveu-se um processo para contabilizar os *pixels* “queimados” da imagem. Para isso, a imagem foi dividida em regiões, onde cada região representa uma hora do dia. A contabilização de *pixels* de uma região determina quanto tempo o sol brilhou para aquela hora. Após a contabilização de todas as horas, soma-se os valores obtidos para determinar quanto tempo o sol brilhou durante o dia.

A rotina desenvolvida para realizar as contabilizações efetua pesquisas para encontrar evidências positivas de *pixels* queimados em colunas verticais. Para otimizar o processo de contagem, a busca nas colunas pode ser interrompida em duas situações: quando se atinge o topo da coluna sem encontrar evidências positivas; ou quando um *pixel* queimado é encontrado. Na Fig. 9 pode-se observar um exemplo de contabilização realizada em um heliograma retilíneo, na hora 12 especificamente.

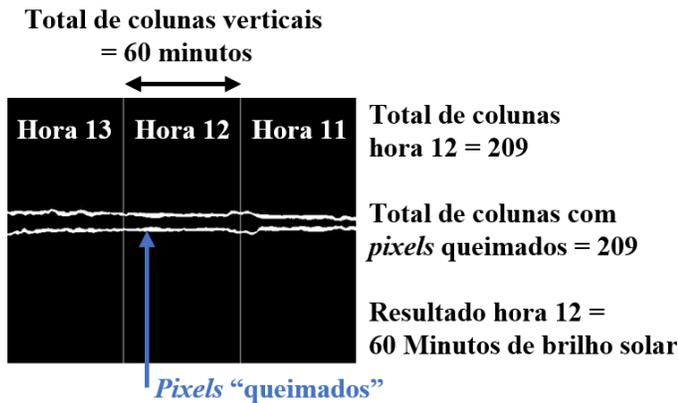


Fig. 9. Exemplo de contabilização em imagens de heliogramas.

Após o processamento, os resultados são disponibilizados em páginas de internet, conforme pode-se observar na Fig. 10, apresentando o resultado do processamento horário e diário para um heliograma retilíneo. Onde os valores horários (hora 5 a hora 18) são apresentados em minuto e décimo de minuto. Caso o usuário julgue necessário, o software permite a alteração dos resultados obtidos, para ajustes em processamentos que apresentem resultados indesejáveis, como heliogramas (cartões em formato de papel) danificados pela chuva, que impossibilitam leituras automatizadas eficazes.

Por meio das leituras automatizadas, o usuário tem acesso rápido e eficiente aos dados de brilho solar, em partições de tempo diária e, principalmente, horária. O que representa uma novidade, já que uma base horária é dificilmente utilizada pela dificuldade do processo de contagem manual. Uma base horária possibilita recuperar informações da distribuição de brilho solar ao decorrer do dia. Contribuindo de maneira significativa para caracterização do potencial solar, distribuição de nuvens (nebulosidade), aerossóis e poluentes de uma localidade.

Podendo ser importantes parâmetros para estudos de modelagem.



Fig. 10. Resultado do processamento de um heliograma retilíneo.

### B. Validação do Software

Dados de brilho solar obtidos manualmente e pelo software foram comparados por meio de gráficos e indicativos estatísticos. Os dados de brilho solar utilizados nesta validação correspondem ao período de setembro de 2015. A Fig. 11 ilustra a evolução temporal de horas de brilho solar coletadas pelo método manual (MM) e software, denominado método automatizado (MA). Observa-se que os métodos produzem leituras próximas, indicando que o software produz resultados na mesma ordem de grandeza do método manual.

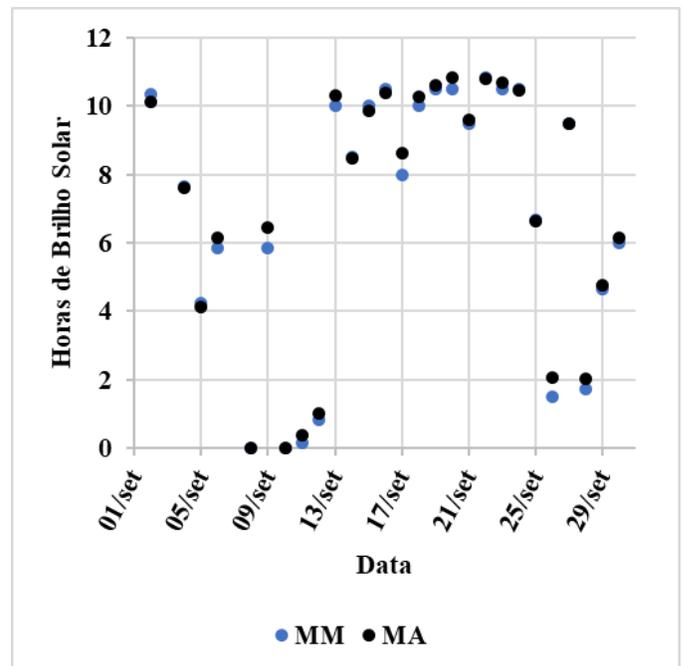


Fig. 11. Evolução temporal de horas de brilho solar obtidas por MM e MA.

A Fig. 12 ilustra a correlação de horas de brilho solar coletadas MM e MA. A correlação entre os métodos apresenta linearidade positiva, demonstrando que as técnicas de PDI agregadas ao software se ajustam adequadamente na interpretação de heliogramas.

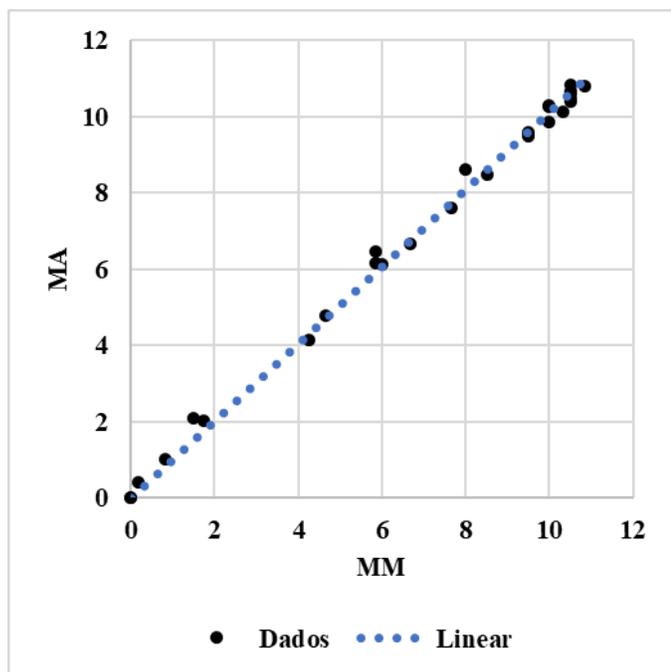


Fig. 12. Correlação entre horas de brilho solar obtidas por MM e MA.

Os indicadores estatísticos da comparação entre MM e MA são apresentados na Tabela I, por meio do *Mean Bias Error* (MBE), *Relative Mean Bias Error* (rMBE), *Root Mean Square Error* (RMSE), *Relative Root Mean Square Error* (rRMSE) e Coeficiente de Correlação (R), descritos por [18].

MBE (horas)	rMBE (%)	RMSE (horas)	rRMSE (%)	R
0,130	1,908	0,259	3,791	0,998

O valor positivo de MBE indica que MA superestimou MM em 0,130 horas (rMBE = 1,908 %), o que representa 7,8 minutos. Já o RMSE apresenta um espalhamento de 0,259 horas (rRMSE = 3,791 %), cerca de 15,84 minutos. O valor elevado de R (0,998) mostra forte correlação entre os métodos comparados.

Na Tabela II pode-se observar a comparação realizada entre MM e MA, referente ao tempo despendido (em segundos) na coleta de dados de brilho solar. Nota-se que a vantagem do MA está na velocidade de processamento, na automatização do processo e no armazenamento digital das informações, além de não depender do estado físico e psicológico do observador meteorológico, eliminando a subjetividade do MM.

TABELA II  
COMPARAÇÃO DE TEMPO DESPENDIDO NA CONTABILIZAÇÃO DE DADOS DE BRILHO SOLAR

DATA	MA	MM	DATA	MA	MM
02/set	2s	10s	18/set	2s	9s
04/set	2s	13s	19/set	2s	8s
05/set	2s	16s	20/set	2s	7s
06/set	2s	17s	21/set	2s	13s
08/set	2s	9s	22/set	2s	14s
09/set	2s	20s	23/set	2s	10s
10/set	2s	25s	24/set	2s	10s
11/set	2s	11s	25/set	2s	13s
12/set	2s	31s	26/set	2s	9s
13/set	2s	17s	27/set	2s	12s
14/set	2s	10s	28/set	2s	14s
15/set	2s	11s	29/set	2s	17s
16/set	2s	12s	30/set	2s	25s
17/set	2s	13s			

#### IV. CONCLUSÃO

Com base nos indicadores estatísticos, o software mostrou-se ligeiramente melhor que o método manual de interpretação de horas de brilho solar. Em relação à rotina operacional, o software eliminou a subjetividade da medida por não levar em consideração aspectos físicos e psicológicos do observador. O uso do software permitiu a formação de um banco de dados de horas de brilho solar nas partições de tempo diária e, principalmente, horária, a qual carece de informação pela dificuldade inerente do método realizado manualmente. Neste sentido, as técnicas de processamento de digital de imagens se mostraram capazes de trabalhar no processamento e coleta de dados de brilho solar de heliogramas retilíneos. Permitindo realizar coletas de dados de forma padronizada e ágil.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo e à CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pelo apoio financeiro fornecido ao Laboratório de Radiometria Solar e aos pesquisadores para o desenvolvimento deste estudo científico.

#### REFERÊNCIAS

- [1] V. P. Borges *et al.*, "Avaliação de modelos de estimativa da radiação solar incidente em Cruz das Almas, Bahia," *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 14, no. 1, pp. 74-80, 2010.
- [2] C. A. S. Querino *et al.*, "Estudo da radiação solar global e do índice de transmissividade (KT), externo e interno, em uma floresta de mangue em Alagoas - Brasil," *Revista Brasileira de Meteorologia*, vol. 26, no. 2, pp. 204-214, 2011.
- [3] A. P. Souza *et al.*, "Estimativa das componentes da radiação solar incidente em superfícies inclinadas baseadas na radiação solar global horizontal," *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 15, no. 3, pp. 277-288, 2011.
- [4] H. Liu *et al.*, "Global solar radiation estimation with sunshine duration in Tibet, China," *Renewable Energy*, vol. 36, no. 11, pp. 3141-3145, 2011.
- [5] M. A. Varejão-Silva, *Meteorologia e Climatologia: Versão Digital 2*. Recife: Esalq, 2006, pp. 449.
- [6] N. Zhao, X. Zeng and S. Han, "Solar radiation estimation using sunshine hour and air pollution index in China," *Energy Conversion and Management*, vol. 76, pp. 846-851, 2013.

- [7] A. Das, J. Park and J. Park, "Estimation of available global solar radiation using sunshine duration over South Korea," *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, vol. 134, pp. 22-29, 2015.
- [8] M. El-Metwally, "Simple new methods to estimate global solar radiation based on meteorological data in Egypt," *Atmospheric Research*, vol. 69, no. 3-4, pp. 217-239, 2004.
- [9] M. Iqbal, *An Introduction to Solar Radiation*. Ontario: Academic Press, 1983, pp. 393.
- [10] M. Paulescu *et al.*, "Ångström-Prescott equation: Physical basis, empirical models and sensitivity analysis," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 62, pp. 495-506, 2016.
- [11] APACHE NETBEANS, "Development Environment, Tooling Platform and Application Framework," 2019. [Online]. Available: <https://netbeans.apache.org/>. Accessed on: Oct 23, 2019.
- [12] ORACLE, "Java™ EE at a Glance," 2019. [Online]. Available: <https://www.oracle.com/java/technologies/java-ee-glance.html>. Accessed on: Oct 23, 2019.
- [13] MYSQL, "Why MySQL," 2019. [Online]. Available: <https://www.mysql.com/why-mysql/>. Accessed on: Oct 23, 2019.
- [14] BOOTSTRAP, "About," 2019. [Online]. Available: <https://getbootstrap.com/docs/4.3/about/overview/>. Accessed on: Oct 23, 2019.
- [15] H. Pedrini, and W. R. Schwartz, *Análise de Imagens Digitais: Princípios, Algoritmos e Aplicações*. São Paulo, SP, Brasil: Thomson Learning, 2008, pp. 508.
- [16] R. C. Gonzalez, R. E. Woods, *Processamento Digital de Imagens*. São Paulo, SP, Brasil: Person Education, 2010, pp. 624.
- [17] C. A. Lujan, F. J. Mora and J. R. Atoche, "Comparative analysis in the implementation of subtraction and thresholding for digital image processing," in *2008 5th International Conference on Electrical Engineering, Computing Science and Automatic Control*, Mexico City, 2008, pp. 465-469.
- [18] C. Voyant *et al.*, "Machine learning methods for solar radiation forecasting: A review," *Renewable Energy*, vol. 105, pp. 569-582, 2017.

## BIOGRAFIAS



**Matheus Rodrigues Raniero** é Graduado em Análise e Desenvolvimento de Sistemas pela Faculdade de Tecnologia de Botucatu (2017). Mestrado (2020) e cursa o Doutorado em Agronomia na área de Energia na Agricultura pela Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP de Botucatu, São Paulo, Brasil. Tem experiência na área de Ciência da Computação (Processamento Digital de Imagens e Engenharia de Software) e de Energia na Agricultura (Análise de Medidas Climáticas, Radiação e Energia Solar e Instrumentação Agrometeorológica).



**Marcus Vinicius Contes Calca** é Técnico em Informática pelo SENAC de Botucatu (2014). Tecnólogo em Análise e Desenvolvimento de Sistemas pela FATEC de Botucatu (2017). Graduando em Engenharia de Computação pela UNIVESP de Botucatu e Mestrando em Energia na Agricultura pela UNESP (FCA) de Botucatu. Atua na área de Ciência da Computação e Energia Solar nos temas: Modelagem de Banco de Dados, Engenharia de Software, Monitoramento, Processamento e Controle de Qualidade de Medidas Solares.



**Domingos Mário Zeca Fernando** tem Graduação em Ensino de Física pela Universidade Pedagógica - Moçambique (2011). Mestrado em Agronomia (Energia na Agricultura) pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Brasil (2018). Docente Assistente Universitário na Universidade Pedagógica - Moçambique, delegação de Manica. Tem experiência na área de Ensino de Física e Física Aplicada a geração de Energias Renováveis e Agronomia, com ênfase em Didática de Física e Agrometeorologia.



**Osvaldo Cesar Pinheiro de Almeida** possui graduação em Bacharelado em Ciências de Computação pela Universidade de São Paulo (2003), mestrado em Ciências da Computação e Matemática Computacional pela Universidade de São Paulo (2006) e doutorado em Agronomia (Energia na Agricultura) pela FCA-Unesp (2014). Atualmente é docente da Faculdade de Tecnologia de Botucatu (Fatec). Tem experiência na área de Ciência da Computação, com ênfase em processamento de imagens e informática aplicada a educação, atuando principalmente nos seguintes temas: processamento de imagens, aprendizado de máquina, extração de características, wavelet e educação a distância. Tem experiência como analista de sistema em desenvolvimento de sistemas web, com ênfase na aplicação de tecnologias JAVA.



**Alexandre Dal Pai** possui graduação em Física pela Universidade de São Paulo (1998), mestrado em Agronomia (Energia na Agricultura) pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (2001) e doutorado em Agronomia (Energia na Agricultura) pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (2005). Atualmente é docente da Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP/Botucatu, onde leciona as disciplinas de física do curso de graduação em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia. Participa também lecionando e orientando na pós-graduação em Agronomia, nos programas Energia na Agricultura e Irrigação e Drenagem. Possui experiência nas áreas de energias renováveis, processos de conversão de energia solar e biomassa, modelos de estimativa da radiação solar e da fotossinteticamente ativa, além de estudos sobre métodos de medidas da radiação solar difusa.