

# AUTOMATIZAÇÃO DO PROCESSO DE CONTAGEM DAS HORAS DE BRILHO SOLAR

**Matheus Rodrigues Raniero** – matheus.raniero@hotmail.com

**Marcus Vinícius Contes Calça** – mcontes@outlook.com

**Alexandre Dal Pai** – adalpai@fca.unesp.br

Faculdade de Ciências Agrônômicas (UNESP/Botucatu)

**Resumo.** *O presente estudo tem como objetivo demonstrar os benefícios e resultados obtidos por meio de um programa computacional de gerenciamento, filtragem e processamento de horas de brilho solar, monitoradas por heliógrafos em estações meteorológicas. Técnicas de processamento digital de imagens permitiram que as horas de brilho solar, registradas em heliogramas, fossem contabilizadas de forma automatizada e padronizada, eliminando erros devido à complexidade e subjetividade na observação da medida, realizada manualmente. O programa computacional foi desenvolvido na linguagem de programação Java EE, integrado ao programa de gerenciamento de banco de dados relacional MySQL, que foi adotado para realizar o armazenamento das informações obtidas. Foram implementadas rotinas de processamento, responsáveis pela aplicação de filtros no domínio espacial, para realce das imagens digitalizadas, possibilitando melhores identificações das partes de interesse, originando um produto aplicado no processo de contagem dos pixels, que no caso do heliograma, são marcas pertencentes à queima do papel. Para validação do programa computacional utilizou-se uma base de dados de heliogramas de setembro de 2015, onde seus resultados foram comparados aos resultados obtidos no programa computacional. A base de dados utilizada na validação foi obtida por meio do método de coleta manual. Após a aplicação e a validação das técnicas de processamento digital de imagens, o processo computadorizado de contagem das horas de brilho solar apresentou resultados satisfatórios, padronizando o processo de leitura e agilizando o tempo de contagem e armazenamento das horas de brilho solar.*

**Palavras-chave:** *Contagem das horas de brilho solar, Processamento digital de imagens, Radiação solar.*

## 1. INTRODUÇÃO

A radiação solar é uma forma de energia limpa e barata, constituindo a principal fonte de energia para processos físicos, biológicos e químicos, tais como fotossíntese vegetal, evapotranspiração, crescimento de culturas, dentre outros (Borges et al., 2010). 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. Entretanto, a grande problemática que envolve a coleta de dados de irradiância é o elevado custo da instrumentação radiométrica (Souza et al., 2011). Além disto, exigem o uso programas de aquisição de dados (*dataloggers*) e de pessoal especializado para calibragem e manutenção da instrumentação, elevando o custo dessas informações.

Neste sentido, estações radiométricas de baixa densidade com menor concepção tecnológica, tendem a utilizar modelos de estimativas para recuperar valores perdidos ou ausentes de irradiância solar (Varejão-Silva, 2006). Com dados de brilho solar estima-se a radiação solar global, que devidamente armazenada, serve de parâmetro para elaboração de mapas e/ou cartas solares.

O brilho solar é uma medida indireta da radiação solar global e uma das mais antigas. Na literatura há evidências de registros de dados de brilho solar de mais de 80 anos, exemplo os modelos de Angström (1924), que utilizam a insolação para estimar a radiação solar global incidente.

Com a introdução de aparelhos modernos de medidas, o monitoramento ambiental (aquisição e armazenamento) tornou-se automático e digital. Porém a coleta de dados de brilho solar não acompanhou esta evolução e continua sendo efetuada de forma manual, onde um observador habilitado conta o número de horas de brilho solar. Na qual, interpretações subjetivas, devido à falta de treinamento ou rotinas de coletas diferentes por observadores distintos, podem induzir a uma sistemática de erros, afetando diretamente a formação de uma base de dados de qualidade.

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

Conseqüentemente este estudo apresenta como objetivo, demonstrar os benefícios de um programa computacional para automatização e padronização do processo de contagem das horas de brilho solar. Correlacionando resultados

obtidos a partir do processamento do programa computacional com informações geradas por meio da coleta manual de dados de brilho solar.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Instrumentação

Os dados de brilho solar (heliogramas) de setembro de 2015 utilizados neste estudo, sobre o qual foi realizada a calibração e a validação do programa computacional, foram cedidos pela Faculdade de Ciências Agrônomicas (FCA) - UNESP de Botucatu, a qual mantém um banco de dados de heliogramas registrado em formato de papel desde 1971. A estação meteorológica da FCA está localizada nas seguintes coordenadas geográficas 22,85°S de latitude, 48,45°W de longitude e 786m de altitude.

Na Fig. 1(a) pode-se observar o heliógrafo de Campbell-Stokes, utilizado na medida das horas de brilho solar, sendo 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 convergidos pela esfera (Varejão-Silva, 2006). Em dias de céu aberto, os raios 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 descreve uma trajetória retilínea, representando o decorrer das horas do dia.

A Fig. 1(b) 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 um heliograma curvilíneo mais longo com concavidade voltada para cima devido ao maior fotoperíodo. Os heliogramas são diferenciados devido aos valores dissemelhantes de declinação solar e fotoperíodo entre as estações do ano.

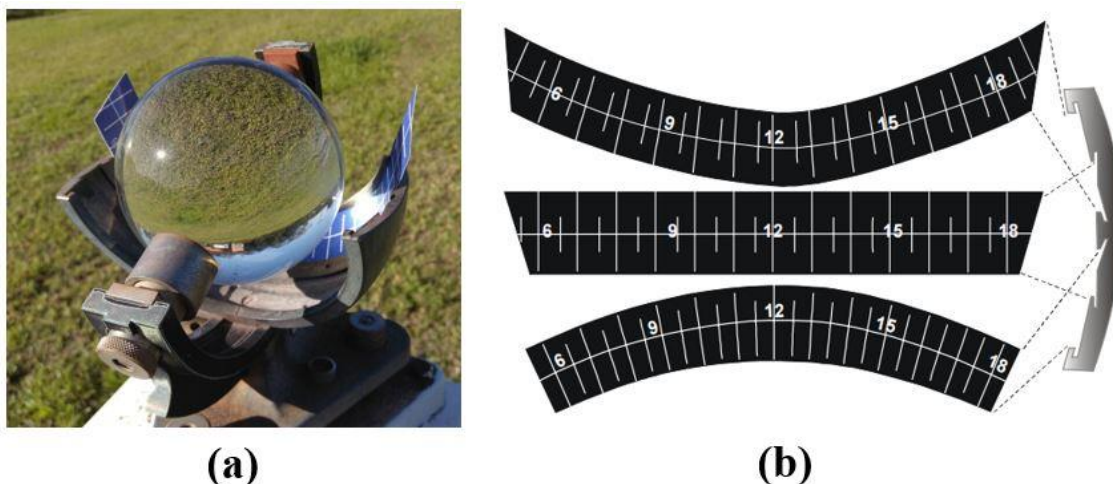


Figura 1 - (a) Heliógrafo responsável pela queima do papel, (b) heliogramas utilizados no heliógrafo para diferentes estações do ano.

### 2.2 Programa computacional

O programa computacional está sendo desenvolvido na Faculdade de Ciências Agrônomicas (FCA) - UNESP de Botucatu, para utilização no laboratório de radiometria solar e no arquivo meteorológico. Neste estudo, demonstra-se os resultados obtidos apenas na contabilização automatizada de heliogramas retilíneos.

Para implementação das rotinas que compuseram o programa computacional, utilizou-se a linguagem de programação *open source* Java EE (baseada na plataforma *web*). Esta linguagem de programação permite o desenvolvimento em uma ampla variedade de ambientes e plataformas, oferecendo uma rica interface de usuário, portabilidade e segurança que as aplicações exigem atualmente (Oracle, 2016).

O Programa de Gerenciamento de Banco de Dados (SGBD) relacional *open source* MySQL foi utilizado para o armazenamento e gerenciamento das informações pertinentes ao programa computacional. Com desempenho e confiabilidade comprovada, este SGBD é amplamente explorado tanto em ambientes comerciais de grande porte quanto em ambientes acadêmicos de gerenciamento de banco de dados (Oracle, 2017).

Na Fig. 2 pode-se visualizar o fluxo proposto para se realizar o processamento de dados de brilho solar utilizando o programa computacional proposto.



Figura 2 - Fluxo do processamento de dados de brilho solar.

O fluxo de processamento dados de brilho solar possui 8 passos, conforme ilustrado na Fig. 2. Passo 1: heliogramas em formato de papel são digitalizados. Passo 2: imagens digitalizadas dos heliogramas são armazenadas na máquina (computador) do usuário. Passo 3: o usuário acessa o programa computacional por meio de um navegador e se autentica, fornecendo seu nome de usuário e senha. Passo 4: o usuário faz o *upload* da imagem digitalizada e faz a requisição de processamento ao servidor. Passo 5: inicia-se o processamento da imagem digitalizada por meio do módulo de controle de qualidade e filtragem, onde as imagens digitais passam por filtros de ajustes para facilitar sua representação e contagem de *pixels*. Passo 6: Módulo de contagem, são realizadas as contabilizações dos *pixels* pertinentes a queima do papel e a determinação de quanto tempo o sol brilhou durante o dia referente ao do heliograma em questão. Passo 7: Módulo de banco de dados, onde todos dados e informações obtidos no processamento de heliogramas são armazenados na base de dados MySQL. Passo 8: O servidor responde a requisição do usuário, exibindo o resultado do processamento por meio de páginas *web*.

### 2.3 Processamento digital de imagens

Técnicas de Processamento Digital de Imagens (PDI) foram incorporadas ao programa computacional, para realizar o realce, segmentação e contagem dos dados digitalizados de brilho solar, permitindo a coleta automatizada e padronizada de dados de insolação. PDI consiste em um conjunto de técnicas para capturar, representar e transformar imagens com o auxílio computacional. Possibilitando com que máquinas identifiquem e retirem informações de imagens digitais, concedendo a automatização de tarefas tradicionalmente executadas por seres humanos (Pedrini; Schwartz, 2008).

Os filtros de realce, etapa conhecida também 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.

Neste estudo considera-se áreas de interesse ou objetos desejados, a queima do papel causada pelo heliógrafo. Pode-se observar na Fig. 3, um heliograma retilíneo com dados de insolação.

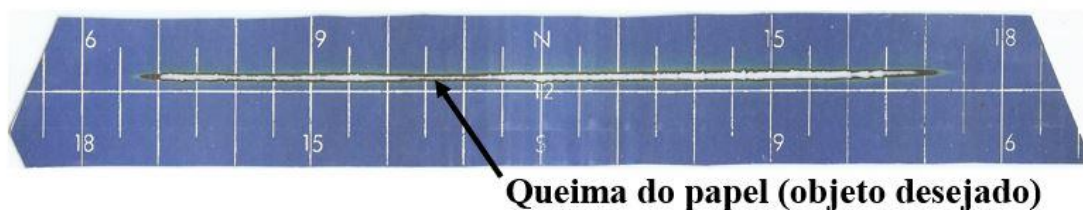


Figura 3 - Heliograma retilíneo com dados de insolação.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Automatização do processo de coleta

Os heliogramas retilíneos foram digitalizados utilizando um *scanner* com uma resolução de 300 DPI (pontos por polegadas ou “*Dots Per Inch*” em inglês), garantindo uma considerável qualidade nas imagens digitalizadas. Adotou-se o formato JPG para as imagens, por assegurar armazenamento sem ocupar muito espaço de memória, além de ser um formato muito utilizado, fato que contribui para a facilidade do compartilhamento dos arquivos. 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. 4.

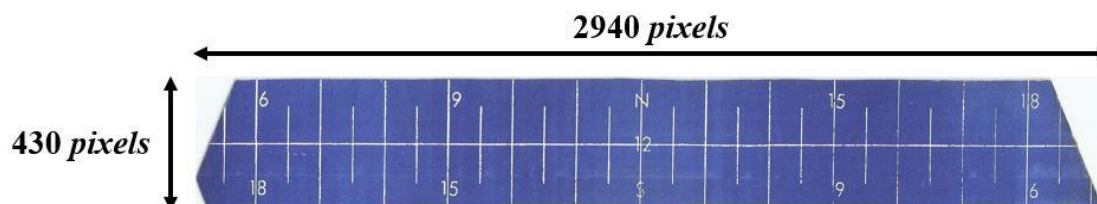


Figura 4 - Dimensão aproximada das imagens digitalizadas.

Estas três técnicas de PDI, filtragem média, limiarização e operador morfológico, foram propostas com o intuito de realçar imagens digitalizadas de heliogramas, com objetivo de melhor evidenciar os *pixels* pertinentes a queima do papel. Minimizando problemas com digitalizações que não produzam o efeito esperado e apresentem algum tipo de deficiência na captura da imagem, comprometendo a eficiência do reconhecimento de áreas de interesse.

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 (Pedrini; Schwartz, 2008). Uma máscara 3x3 foi utilizada para multiplicar os *pixels* vizinhos e o *pixel* em questão (central), logo após atribuindo o resultado da média de todas as multiplicações ao *pixel* central. Na Fig. 5 pode-se observar um exemplo de aplicação da máscara 3x3, onde nota-se que o *pixel* central receberá um novo valor, conforme a média obtida através de seus vizinhos.

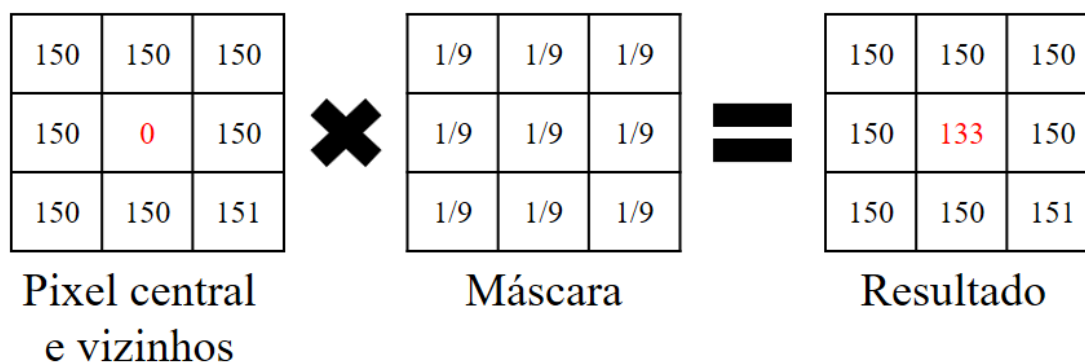


Figura 5 - Exemplo de filtragem média utilizando uma máscara 3x3.

Após aplicação da filtragem média emprega-se a técnica de limiarização, responsável por extrair os objetos de interesse da imagem. A técnica de limiarização consiste, basicamente, em classificar *pixels* de uma imagem de acordo com a especificação de um ou mais limiares. Considerando uma imagem definida por  $f(x, y)$ , onde cada ponto  $(x, y)$  possui um valor para o *pixel*, por meio da seleção de um limiar  $T$  (valor de referência para um objeto) que separe o objeto desejado do fundo da imagem. Onde compara-se cada *pixel* de  $f(x, y)$ , caso o valor de determinado ponto na posição  $(x, y)$  for menor que  $T$ , denomina-se um ponto do objeto, caso contrário, é denominado um ponto do fundo da imagem (Pedrini; Schwartz, 2008). A Fig. 6 apresenta o resultado da aplicação do limiar na imagem digitalizada de um heliograma retilíneo, onde o limiar  $T$  foi definido de maneira empírica com o valor de 120, após vários testes realizados, a fim de garantir que o objeto desejado seja separado da melhor forma possível do resto da imagem.



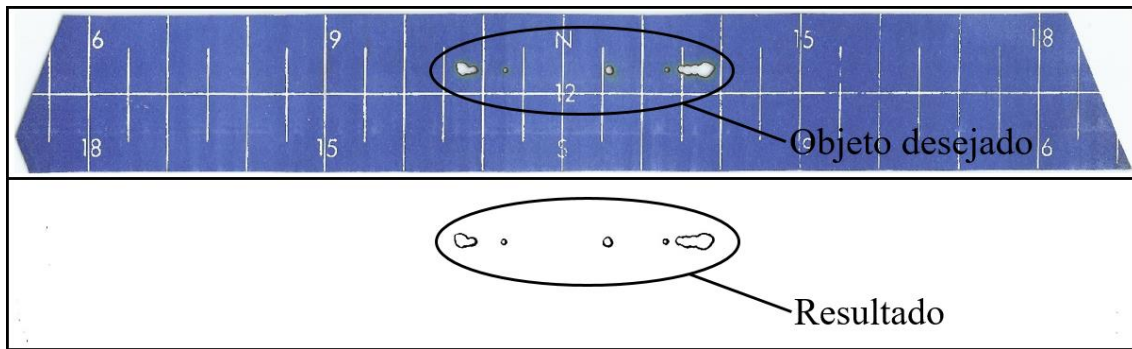


Figura 6 - Resultado da limiarização na imagem digitalizada do heliograma retilíneo.

Após aplicar a técnica de limiarização, emprega-se a técnica de morfologia matemática, para garantir que a imagem a ser processada esteja sem ruídos persistentes. A operação de morfologia utilizada foi a abertura. A operação de abertura remove pontos aleatórios e isolados (normalmente representados por ruídos) utilizando a operação de erosão, seguida da operação de dilatação para recuperar o objeto desejado sem restaurar os ruídos (Gonzalez; Woods, 2010). O elemento estruturante utilizado foi o mesmo para as operações de erosão e dilatação, o qual consiste em sua origem (ponto central) e quatro vizinhos, horizontais e verticais (vizinhança-4). Na Fig. 7 pode-se observar o resultado da aplicação da operação morfológica de abertura. Nota-se, no exemplo, a troca dos *pixels* brancos por *pixels* pretos e *pixels* pretos por *pixels* brancos, com o intuito de facilitar a visualização de ruídos persistentes, sendo assim, os *pixels* brancos da Fig. 7 (c) correspondem a queima do papel causada pelo heliografo.

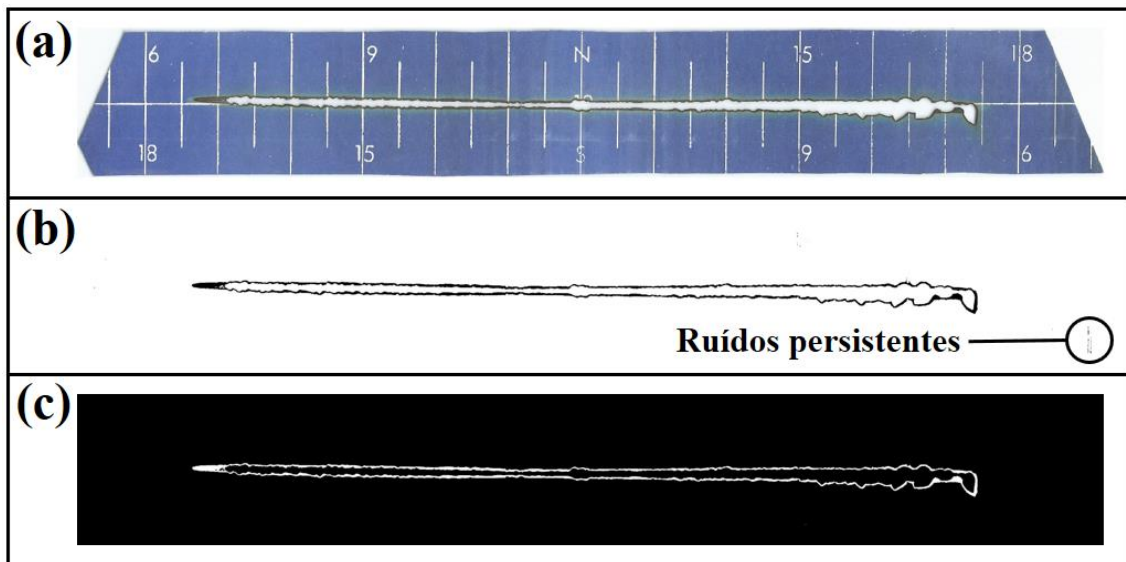


Figura 7 - Operação de Abertura: (a) imagem original, (b) imagem após aplicar a técnica de limiarização e (c) imagem após aplicar a operação de abertura.

A partir do uso das três técnicas descritas, a imagem do heliograma pôde ser processada com maior eficiência, pois grande parte das anormalidades foram eliminadas, deixando em evidência os *pixels* pertinentes a 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 da quantidade de *pixels* de uma região determina quanto tempo o sol brilhou para aquela hora. Após a contabilização de todas as horas soma-se todos os valores obtidos, onde os valores acumulados indicarão quanto tempo o sol brilhou durante o dia.

A rotina desenvolvida para realizar as contabilizações efetua pesquisas para encontrar evidências positivas de *pixels* queimados nas colunas verticais. Para otimizar o processo de contagem, a busca nas colunas pode ser interrompida em duas situações distintas: quando se atinge o topo da coluna sem encontrar evidências positivas; ou quando um *pixel* queimado é encontrado. Na Fig. 8 pode-se observar um exemplo de contabilização realizada em um heliograma, na hora 12 especificamente.

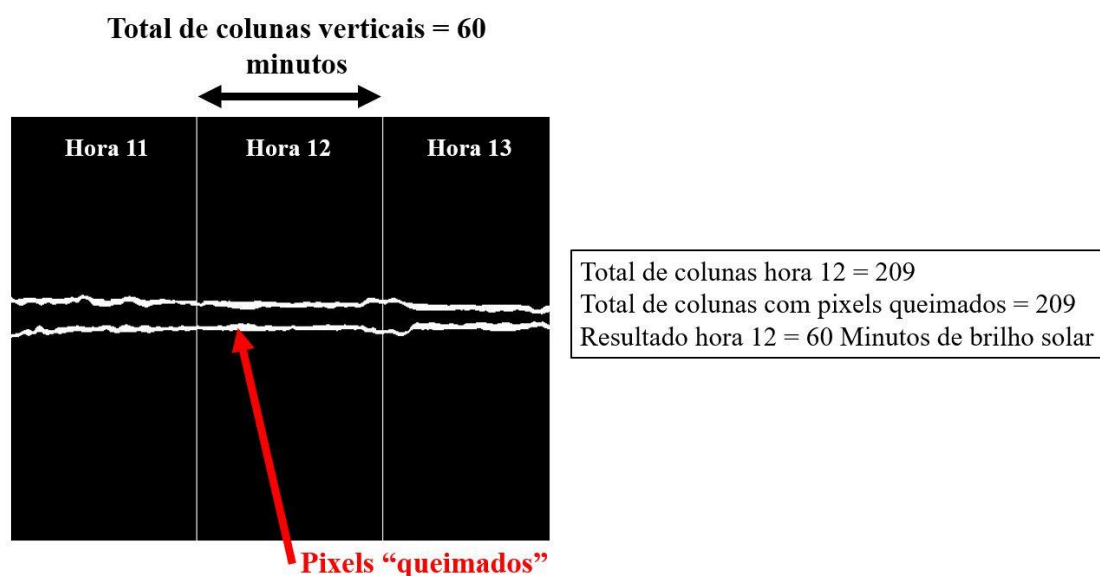


Figura 8 - Exemplo de contabilização em imagens de heliogramas.

Por meio do processamento obteve-se a quantidade de minutos de brilho solar referente a cada hora do heliograma retilíneo, formando uma base horária e possibilitando recuperar informações da distribuição de brilho solar ao longo do dia. Fato que contribui de forma significativa para melhor caracterizar o potencial solar de uma localidade, distribuição de nuvens, aerossóis e poluentes. O que representa uma novidade, já que uma base horária é dificilmente utilizada pela dificuldade do processo de contagem manual. Após o processamento, armazena-se as informações obtidas na base de dados relacional MySQL, podendo exibí-los ao usuário por meio do programa computacional em páginas *web* e utilizá-los como parâmetros para estudos de modelagem.

### 3.2 Validação do programa computacional

Para verificação do desempenho do programa computacional em gerar os valores das horas de brilho solar, realizou-se uma comparação entre os valores propostos pelo programa computacional com os valores obtidos a partir da coleta manual realizada tradicionalmente em estações radiométricas. Na coleta manual, o observador meteorológico faz a interpretação do heliograma de forma visual, com o auxílio de uma régua graduada para contabilização das horas de brilho solar. Os dados de brilho solar utilizados neste estudo correspondem ao período de setembro de 2015. A Fig. 9 ilustra a evolução temporal das horas de brilho solar obtidas por meio da coleta manual e programa computacional.

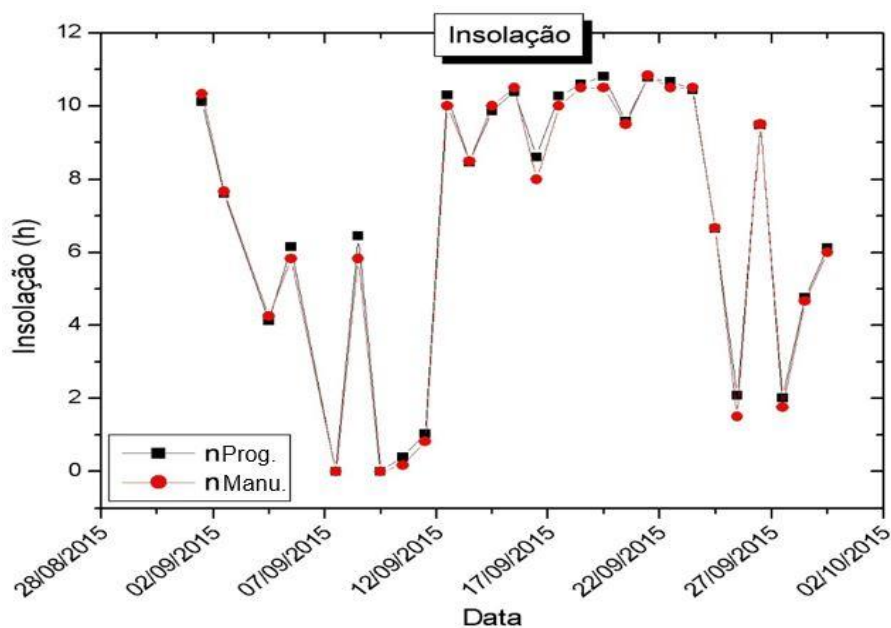


Figura 9 - Evolução temporal das medidas de brilho solar obtidas por meio da coleta manual e programa computacional.

Pode-se observar que os métodos produzem leituras próximas, indicando que as técnicas de PDI aplicadas se ajustam adequadamente na interpretação dos heliogramas. Os indicadores estatísticos da comparação entre a coleta manual e programa computacional são apresentados na Tab. 1, por meio do MBE (desvio simples) e RMSE (desvio-padrão).

Tabela 1 - Indicativos estatísticos entre as medidas de brilho solar obtidas pela coleta manual e programa computacional.

Modelo	MBE (h)	MBE (%)	RMSE (h)	RMSE (%)	Gráfico	
					Coef. Ang.	R
Programa Computacional X Contagem Manual	0,130	1,908	0,259	3,791	1,011	0,998

O valor positivo do MBE indica que o programa computacional superestimou a medida de brilho solar em 0,130 h, o que representa 7,8 minutos. Já o RMSE indica um espalhamento de 0,259 h, cerca de 15,84 minutos. Portanto, conclui-se que o programa computacional produz resultados na mesma ordem de grandeza da coleta manual. A Fig. 10 mostra o gráfico de validação entre os dois métodos, sendo que as retas ideal (coeficiente angular de 1) e de regressão (coeficiente angular de 1,011) praticamente encontram-se sobrepostas, o que indica a similaridade entre os resultados. Já a dispersão verificada dos pontos em torno das retas é dada pelo RMSE, no caso 0,259 h ou 15,84 minutos. O valor elevado de R (0,998) indica forte correlação entre os métodos.

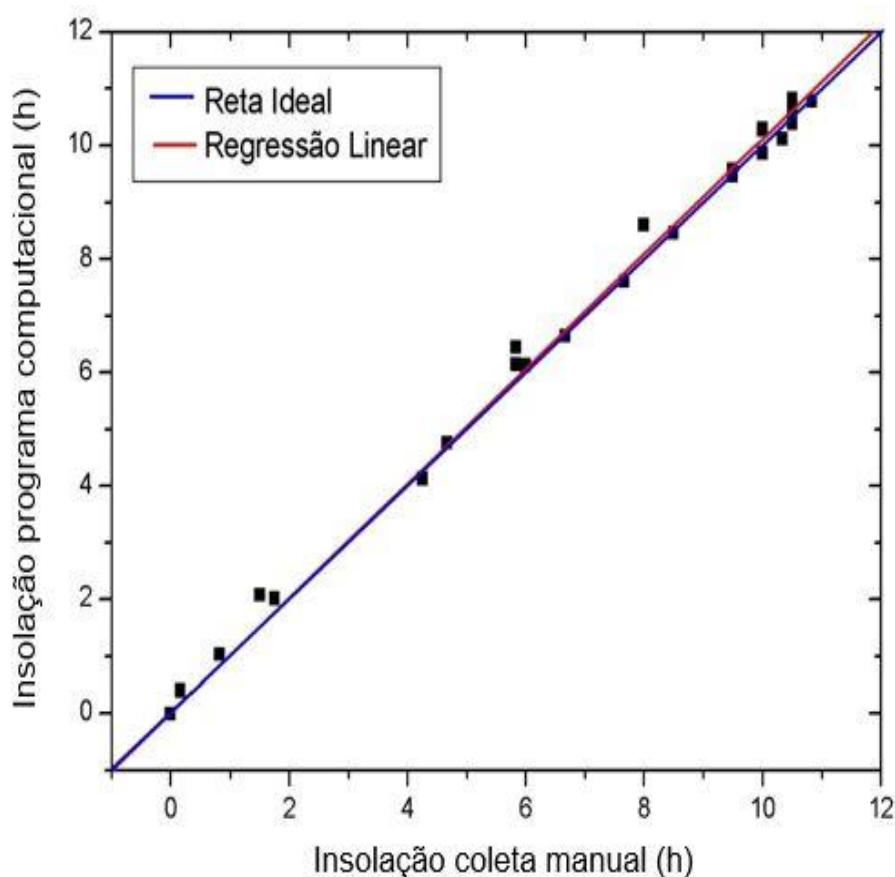


Figura 10 - Validação entre os valores de brilho solar obtidos pela coleta manual e programa computacional.

Na Tab. 2 pode-se observar a comparação realizada entre a coleta manual e o programa computacional, referente ao tempo despendido na coleta de dados de brilho solar dos heliogramas citados acima. Nota-se que a vantagem do programa computacional 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, eliminando-se a subjetividade da coleta manual.

Tabela 2 - Comparação de tempo despendido na contabilização de dados de brilho solar.

Data do Heliograma	Programa Computacional	Contagem Manual	Data do Heliograma	Programa Computacional	Contagem Manual
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			

#### 4. CONCLUSÕES

Com base nos indicativos estatísticos, o programa computacional mostrou-se ligeiramente melhor que o método manual de interpretação de horas de brilho solar. Em relação à rotina operacional, o programa computacional eliminou a subjetividade da medida por não levar em consideração aspectos físicos e psicológicos do observador. O uso do programa computacional permitiu a formação de um banco de dados de insolação para a partição diária e principalmente horária, a qual carece de informação pela dificuldade inerente do método realizado manualmente. Neste sentido, as técnicas de processamento de imagens digitais 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, pelo fato dos cálculos serem realizados de maneira computacional e automatizada.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro.

#### REFERÊNCIAS

- Angström, A. Solar and terrestrial radiation. Quarterly Journal of The Royal Meteorological Society v. 50, p. 121-126, 1924. Duffie, J. A., Beckman, W. A., 1991. Solar Engineering of Thermal Processes, John Wiley & Sons.
- Borges, V. P. et al. Avaliação de modelos de estimativa da radiação solar incidente em Cruz das Almas, Bahia. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 14, p. 74-80, 2010.
- Gonzalez, R. C.; Woods, R. E. Processamento digital de imagens. 3. ed. São Paulo: Person Education, 2010. 624 p.
- Oracle. Java EE at a Glance. Disponível em: <<http://www.oracle.com/technetwork/java/javaee/overview/index.html>>. Acesso em: 04 jun. 2017.
- Oracle. MySQL, O Banco de Dados de código aberto mais conhecido no mundo. Disponível em: <<https://www.oracle.com/br/mysql/index.html>>. Acesso em: 25 maio 2017.
- Pedriani, H.; Schwartz, W. R. Análise de Imagens Digitais: Princípios, Algoritmos e Aplicações. São Paulo: Thomson Learning, 2008. 508 p.
- Souza, A. P. 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, v. 15, n. 3, p. 277-288, 2011.
- Varejão-Silva, Mario Adelmo. Meteorologia e Climatologia. Versão Digital 2. Recife, 2006. 449 p.



## **AUTOMATION OF THE PROCESS OF COUNTING OF SOLAR BRIGHTNESS HOURS**

**Abstract.** *The present study aims to demonstrate the benefits and results obtained through a software of management, filtering and processing of hours of solar brightness, monitored by heliographs in meteorological stations. Digital image processing techniques allowed hours of solar brightness to be counted in an automated and standardized way, eliminating errors due to the complexity and subjectivity in the observation of the measure, done manually. The software was developed in the Java EE programming language, integrated with the MySQL database management system, which was adopted to store the information obtained. Was implemented processing routines, responsible for the application of filters in the space domain, to enhance the digitized images, allowing better identification of the parts of interest, giving rise to a product applied in the counting process of the pixels, which in the case of the heliogram are marks belonging to the paper marks. For validation of the software a database of heliograms of September of 2015 was used, where its results were compared to the results obtained in the software. The database used in the validation was obtained through the manual collection method. After the application and validation of the techniques of digital image processing, the computerized process of counting the hours of solar brightness presented satisfactory results, standardizing the reading process and speeding the counting and storage time of the solar brightness hours.*

**Key words:** *Digital image processing, Solar brightness hours count, Solar radiation.*