



## **Extração de Velocidade e Direção dos Ventos Através de Imagens de Satélite**

**Jonas Augusto Xavier<sup>1</sup>, Maxwell Queiroz Francisco<sup>1</sup>, Aida Araújo Ferreira<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Graduandos em Análise e Desenvolvimento de Sistemas – IFPE. e-mail: {maxwell2k,jonas.agx}@gmail.com

<sup>2</sup>Doutora em Ciência da Computação – UFPE e docente do curso Análise e Desenvolvimento de Sistemas – IFPE. email: aidaaf@gmail.com

**Resumo:** Este artigo apresenta o trabalho desenvolvido e resultados parciais obtidos nos projetos de iniciação científica dos autores, que tratam da extração da velocidade e direção dos ventos por meio de imagens de satélites meteorológicos. Para resolução do problema foi desenvolvida uma série de procedimentos utilizando conceitos de Processamento Digital de Imagens e realizado um estudo de caso com as imagens do satélite GOES-12 obtidas por meio do portal de pedidos do INPE no período entre 18h e 23h do dia 27/12/2011 na região do nordeste do Brasil.

**Palavras-chave:** Processamento Digital de Imagens, Previsão de Velocidade dos Ventos, Imagens de Satélites Meteorológicos, Nuvens

### **1. INTRODUÇÃO**

Nos últimos anos o uso de energias renováveis passou a ser bastante vislumbrado pela sociedade brasileira, principalmente pelo consumidor final, pois ficou marcado na história e ainda é lembrado por muitos a crise energética e os transtornos ocorridos no ano de 2001. Pode-se dizer que o Brasil possui um grande potencial eólico devido a boa distribuição dos ventos e sua qualidade. Segundo a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), os últimos estudos apontam que o Brasil possui um potencial eólico na ordem de 60.000 MW.

Após o racionamento de energia ocorrido em 2001, o Governo Federal mostrou bastante interesse na geração de energia eólica e outras fontes renováveis. Em 26 de Abril de 2002, sob a lei nº 10.438 o Governo Federal criou o PROINFA (Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica), que tem como objetivo fomentar empreendimentos que utilizem a fontes eólicas, biomassa e pequenas centrais hidroelétricas, visando promover uma maior segurança no abastecimento de energia elétrica (PROINFA, 2011).

Contudo, a operação e integração das fontes de energia eólica com os sistemas de distribuição de energia são difíceis. Isto acontece devido às características de intermitência e variabilidade dos ventos, dificultando assim o planejamento e estabilidade dos sistemas elétricos que são compostos por fontes diversificadas de energia (FERREIRA, 2009).

É bem sabido que a velocidade do vento é a principal entrada para sistemas de previsão de energia eólica. Para que a fonte eólica possa ser inserida na matriz energética é necessária aplicação de métodos ou ferramentas capazes de realizar a previsão da velocidade dos ventos de forma que a sua obtenção seja suficientemente segura e não afete o planejamento da matriz energética. O objetivo deste projeto é desenvolver um método, capaz de extrair informações como velocidade e direção dos ventos, provenientes das imagens de satélites meteorológicos geoestacionários, e assim auxiliar no planejamento do despacho de geração de energia elétrica através destas previsões.

A utilização das imagens destes satélites para se calcular a velocidade dos ventos, baseado na movimentação das nuvens, vem sendo utilizada desde o final da década de 60. (Fujita et al.,1969). Entretanto o acervo disponível sobre o assunto em meios eletrônicos ainda é escasso e alguns dos procedimentos utilizados foram propostos e pelos autores e necessitam serem realizados mais testes com sequências de imagens em horários e dias diferentes.

### **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **2.1 Processamento Digital de Imagens**

Denomina-se Processamento Digital de Imagens (PDI) - ao conjunto de técnicas para manipulação de imagens digitais no sentido de facilitar a extração de informações. (IBGE, 2001)

Muitas dessas técnicas são utilizadas em conjunto, através de transformações sucessivas da imagem trabalhada, a fim de aperfeiçoar a interpretação de padrões e objetos ou fornecer informações que possam ser submetidas a outros tipos de processamentos. O estudo e a aplicação destas transformações se mostraram de extrema importância para este projeto, tendo em vista a degradação e distorção das imagens nos processos de aquisição e transmissão das mesmas, bem como o mapeamento dos deslocamentos das nuvens.

Na ciência da computação e engenharia elétrica, o processamento digital de imagens se preocupa com o trato de sinais (representativos de imagens) como fotografias, *frames* de vídeos, ou outras representações possíveis de sinais visuais. Onde sua real função é extrair informação desses sinais, isso define a maior diferença entre a computação gráfica e o processamento de imagens, enquanto a primeira tenta inserir informações nas imagens a segunda tenta extrair informações da mesma. Considerando as imagens como sinais, pode-se observá-las ainda como um conjunto discreto de sinais com duas dimensões, enquanto no vídeo esse fluxo é apresenta mais uma dimensão, o tempo. Processar sinais vem da ideia de que esses sinais contém alguma informação, dentro desse princípio existe um valor chamado de entropia da informação, essa medida é muito usada na busca de padrões como forma de medir o quão único é o objeto buscado dentre os existentes no conjunto, informando em bits o número de “endereços” para se encontrar um objeto dentre o conjunto analisado. Isso significa que quanto menor seu valor mais fácil (computacionalmente) será buscar e encontrar a informação desejada

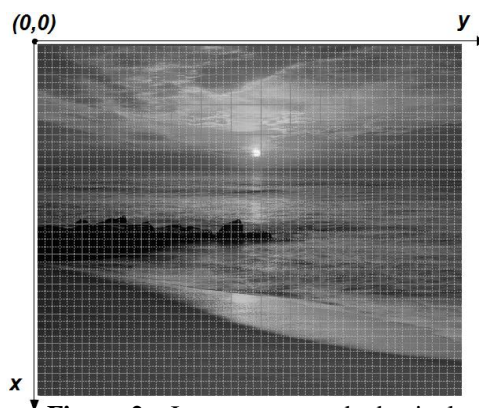
### 2.1.1 Imagem digital

Uma imagem monocromática pode ser descrita matematicamente por uma função  $f(x,y)$  da intensidade luminosa, sendo seu valor, em qualquer ponto de coordenadas espaciais  $(x,y)$ , proporcional ao brilho (ou nível de cinza) da imagem naquele ponto. (MARQUES FILHO & VIEIRA NETO, 1999)

Pode-se afirmar também que são formadas por elementos discretos chamados de pixels. Associado a cada pixel há um valor, o qual descreve a radiação média de uma área relativamente pequena dentro da cena. Essa imagem nos tira do mundo contínuo no qual vivemos, nos levando aos parâmetros discretos, regulados segundo o dispositivo que compreende um sistema de digital de imagem. Uma imagem pode ser representada matematicamente de duas formas principais: na forma de matriz ou como conjunto de vetores.



**Figura 1 – Imagem original**



**Figura 2 – Imagem em grade de pixels**

Nas figuras 1 e 2 é apresentada a mesma imagem com 256 níveis de cinza e em duas perspectivas diferentes, sendo a primeira imagem original e a segunda exibida em grade de pixels.

### 2.2.2 Vizinhança de Pixel

De acordo com Gonzalez e Woods (2002, pg 66), dado um pixel  $p$ , de coordenadas  $(x, y)$ ,



possui 04 vizinhos horizontais e verticais, onde suas coordenadas são definidas como  $(x+1, y)$ ,  $(x-1, y)$ ,  $(x, y+1)$  e  $(x, y-1)$ . Estes pixels formam a chamada "4-vizinhança" de  $p$ , que será designada  $N4(p)$ . Os quatro vizinhos diagonais de  $p$  são os pixels de coordenadas  $(x-1, y-1)$ ,  $(x-1, y+1)$ ,  $(x+1, y-1)$  e  $(x+1, y+1)$ , que constituem o conjunto  $Nd(p)$ . A "8-vizinhança" de  $p$  é definida como:  $N8(p) = N4(p) \cup Nd(p)$ .

### 2.2.3 Tipos de Medidas de distância

Os tipos de medida de distância são: Distância Euclidiana, Distância D4 (city block) e Distância D8 (tabuleiro de xadrez);

### 2.2.4 Detecção de Bordas

Define-se borda (*edge*) como a fronteira entre duas regiões cujos níveis de cinza predominantes são razoavelmente diferentes. Pratt (1991) define uma borda de luminosidade como uma descontinuidade na luminosidade de uma imagem. Os algoritmos de detecção de borda mais conhecidos são: Roberts, Sobel, Robinson e Canny;

### 2.2.4 Histograma

O histograma de uma imagem é simplesmente um conjunto de números indicando o percentual de pixels naquela imagem que apresentam um determinado nível de cinza. Estes valores são normalmente representados por um gráfico de barras que fornece para cada nível de cinza o número (ou o percentual) de pixels correspondentes na imagem. Através da visualização do histograma de uma imagem obtemos uma indicação de sua qualidade quanto ao nível de contraste e quanto ao seu brilho médio (se a imagem é predominantemente clara ou escura). (MARQUES FILHO & VIEIRA NETO, 1999).

### 2.2.5 Filtragem

O principal objetivo das técnicas de realce de imagens é processar certa imagem de modo que a imagem resultante seja mais adequada que a imagem original para uma aplicação específica. (MARQUES FILHO & VIEIRA NETO, 1999).

## 2.3 Seleções das Bases de Imagens

A seleção e obtenção das sequências das imagens de satélite foram realizadas diretamente através do formulário de pedidos do Centro de Previsão e Estudos Climáticos (CPTEC) disponível no endereço eletrônico: <http://satelite.cptec.inpe.br/pedidoweb/pedido.formulario.logic>

## 2.4 Monitoramento por Satélite

O serviço de monitoramento meteorológico via imagens de satélite é muito importante para a previsão do tempo e de extrema utilidade pública, pois através deste também é possível detectar queimadas, frentes frias, furacões, ciclones e assim alertar os órgãos competentes para prevenção de maiores calamidades. Neste projeto, este serviço será utilizado para a previsão da velocidade dos ventos, e assim auxiliar no planejamento de geração de energia elétrica.

### 2.4.1 Geostationary Operational Environmental Satellite (GOES)

A rede de satélites GOES foi iniciada na década de 1970, com o lançamento de dois satélites experimentais (SMS-1 e SMS-2) e desde 1975 foi colocado em órbita 13 satélites, sendo que atualmente somente 04 estão em atividades vinculadas ao programa. Outros satélites que foram desvinculados dos objetivos gerais da missão continuam em órbita operando como satélites de comunicação, muito importantes para os países insulares do Oceano Pacífico (EMBRAPA, 2012).

Esta rede é controlada pela *National Aeronautics and Space Administration* – NASA e operada pela *National Oceanic and Atmospheric Administration* – NOAA. As imagens transmitidas





pelos satélites fornecem muitas informações além das camadas visíveis, possuem também um sensor imageador que opera com 05 (cinco) bandas espectrais. O tempo de entrega de novas imagens é feita continuamente a cada 30 (trinta) minutos.

São chamados geoestacionários porque sua órbita acompanha o movimento de rotação da Terra, pois se deslocam a uma velocidade de translação em relação a Terra equivalente ao movimento de rotação da Terra, ou seja, em relação a Terra eles estão imóveis.

Conforme a Embrapa(2012), atualmente há quatro satélites GOES em operação, vinculados ao objetivo principal da missão que é obter informação global sobre o estado atmosférico:

- a. GOES 10 (localizado a 60°W e obtém cobertura da América do Sul a cada 15 minutos, com imagens disponibilizadas diariamente na página do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC/INPE);
- b. GOES 11 (localizado a 135°W sobre o Oceano Pacífico, também denominado de Goes-West);
- c. GOES 12 (localizado a 75°W sobre o Rio Amazonas, também denominado Goes-East, obtém a maior parte das informações utilizadas na previsão de tempo norte-americana),
- d. GOES 13 (posicionado a 105°W, está em órbita em estado de prontidão para operar quando for necessário).

#### 2.4.2 Instrumentos Sensores (GOES 8 a GOES 13)

Segundo a Embrapa(2012), Os sensores *Imager Radiometer* e *Vertical Sounder* foram colocados a bordo desde o lançamento do satélite GOES-8. Derivaram de sensores mais antigos da série GOES. A sonda obtém dados sobre a atmosfera em sua estrutura vertical, como temperatura, temperatura no topo das nuvens, distribuição de ozônio, entre outros. O radiômetro imageador opera em 05 faixas do espectro eletromagnético apresentadas na tabela 1 e detalhadas abaixo, sendo:

- a. Uma banda do visível que obtém informações a partir da energia proveniente do sol e refletida pelos alvos e, portanto, opera durante o dia. Com essa banda pode-se observar nuvens, nevoeiros, presença de corpos de gelo sobre a superfície ou oceanos, mapeamento de poluentes na atmosfera;
- b. Três canais no infravermelho produzidos pela energia radiante dos alvos em direção à atmosfera e com isso podem ser adquiridas tanto de dia quanto a noite. Com essas imagens pode-se obter variações da temperatura da terra e dos oceanos, essas variações por sua vez contribuem para causar alterações nas condições de tempo de um local;
- c. Uma banda vapor de água que é capaz de detectar o vapor de água presente nas camadas da atmosfera.

**Tabela 01** – Indicação dos sensores do Satélite GOES e sua resolução espectral.

Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial
1 - VISÍVEL	0.55 - 0.75 $\mu\text{m}$	1 km
2 - SHORTWAVE	3.80 - 4.00 $\mu\text{m}$	4 km
3 - MOISTURE	6.50 - 7.00 $\mu\text{m}$	8 km
4 - IR 1	10.20 - 11.20 $\mu\text{m}$	4 km
5 - IR 2	11.50 - 12.50 $\mu\text{m}$	4 km

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O estudo de técnicas e modelos, que resolvessem o problema proposto (desenvolvimento de sistema para previsão da velocidade dos ventos) foi acordado como uma das atividades a ser

trabalhadas desde o início do projeto. No primeiro momento foram estudadas algumas técnicas que adquiriam e processavam as imagens em tempo real. A primeira é um tutorial oferecido pela MathWorks, que obtinha as imagens diretamente dos servidores da NASA através de um serviço chamado *Jet Propulsion Laboratory* (JPL) e em seguida as processava utilizando o protocolo Web Map Service (WMS) em conjunto com o “*Mapping Toolbox*” disponível no “framework” MatLab 2011. Entretanto, o serviço foi descontinuado pela NASA no final de 2010 e assim descartado para esta pesquisa. No segundo momento foram estudadas técnicas “*off-line*”, ou seja, obtenção das sequências de imagens do servidor do Centro de Previsão e Estudos Climáticos (CPTEC) e utilização de um sistema PDI desenvolvido especificamente para o problema. A aquisição das sequências destas imagens podem ser feitas por meio do site da Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais – DSA, conforme foi citado na seção 2.3, onde o usuário terá de fazer um cadastro para recebê-las por e-mail.

A técnica que serviu como modelo para o desenvolvimento deste projeto será baseada em um dos trabalhos dos pesquisadores Negri, R.G e Machado, L.A.T., mais precisamente o artigo que trata da estimativa dos ventos para baixos níveis, pois trata de alturas mais próximas às torres eólicas, que é o propósito desta pesquisa. O modelo desenvolvido para a extração dos ventos na baixa troposfera é baseado no rastreamento das nuvens presentes nas imagens do canal 1 (banda visível, 0.55-0.75 $\mu$ m com resolução espacial de 1x1 km no ponto sub-satélite) e imagens do canal 2 (infravermelho próximo, 3,9 $\mu$ m, com resolução de 4x4 km) do satélite geoestacionário GOES-12. As imagens do canal 1 são utilizadas para a extração de vento no período diurno e as imagens do canal 2 para o período noturno. (Negri, R.G e Machado, L.A.T., 2008).

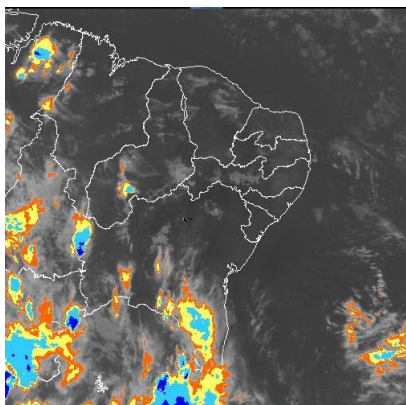
O ponto subsatélite mencionado equivale a um *pixel* na imagem. No canal 01 (visível) isto representa uma medida do fator reflectância de um dado local na superfície, e nas imagens do canal 02 (infravermelho próximo 3,9 $\mu$ m) cada *pixel* está associado ao valor da temperatura de brilho dos alvos que compõe a cena. A estimativa do vento a partir das imagens de satélite baseia-se no rastreamento das nuvens presentes nessas imagens, determinando o seu deslocamento e deduzindo a direção e velocidade do vento. Parte-se da hipótese de que as modificações ocorridas nos campos de nuvens entre as duas imagens sucessivas se devem principalmente ao deslocamento provocado pelo campo de vento (Negri, R.G e Machado, L.A.T., 2008).

É importante destacar, que este modelo segue os passos básicos para a elaboração de um sistema de PDI de um modelo já validado, proposto na subseção 1.2.3 do livro de (Gonzalez e Woods, 2002) e possui as seguintes etapas:

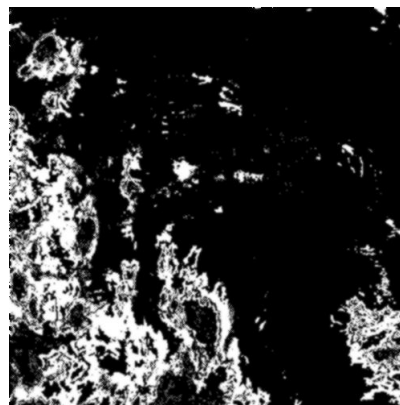
- a. **Aquisição da imagem:** Etapa responsável pela obtenção das imagens a serem trabalhadas, armazenamento e compactação;
- b. **Aprimoramento:** Esta etapa é também conhecida como “*Image Enhancement*”, consiste em realizar um pré-tratamento digital da imagem. A finalidade desta etapa é proporcionar uma melhoria na imagem fornecida através de técnicas como remoção de ruídos, equalização, realce, ajuste de contraste, etc.;
- c. **Segmentação da Informação:** Consiste em remover as informações desnecessárias de da imagem, ou seja, tudo aquilo que não o objeto alvo;
- d. **Parametrização:** Determinar as grandezas sobre cada objeto alvo, tais como área, forma, perímetro, etc.;
- e. **Reconhecimento:** Consiste em realizar a classificação dos objetos-alvo;

Sabe-se que as imagens são geradas pelo satélite GOES em média a cada 30 minutos. Adotando-se uma região de interesse e conhecendo a posição geográfica de um alvo (nuvem) em cada uma das imagens, será possível determinar o deslocamento deste, por conseguinte determinar a velocidade e direção vento. Entretanto, as nuvens mudam de forma constantemente e o que deve ser levado em conta é a estrutura mais semelhante possível. O modelo também propõe que as nuvens

sejam classificadas e as que não sirvam para o processamento sejam eliminadas para não interferirem no cálculo das correlações, que serve como base para o processo de rastreamento das nuvens. Ou seja, a imagem original é convertida para escala de cinza de 0 a 255, em seguida a imagem resultante é segmentada substituindo-se os pixels fora do intervalo de 100 a 150 por valores randômicos fora deste intervalo. Os resultados a seguir mostram as etapas percorridas, desde o uso de imagens brutas até a geração de vetores representando ventos, onde na figura 3 podemos observar a imagem original obtida do satélite GOES-12 no dia 27/12/2011.

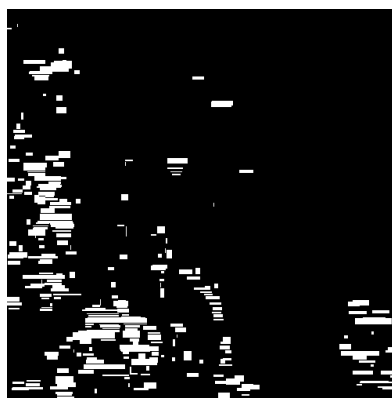


**Figura 3 – Imagem Original**



**Figura 4 – Imagem processada**

A figura 4 mostra o resultado da conversão para escala de cinza [0..255], remoção das nuvens com tom de cinza fora do intervalo [100..150] e binarização, que consiste em destacar as nuvens do solo, considerados objeto-alvo e fundo respectivamente.



**Figura 5 – Nuvens selecionadas**

A figura 5 mostra a etapa seguinte, onde a imagem processada (Figura 4) teve suas nuvens quadriculadas, cada retângulo contém toda a região de uma nuvem desde seu ponto mínimo e o máximo. Foi criada uma estrutura de lista para representar as nuvens contidas na imagem e as características de cada uma. As informações extraídas de cada nuvem, usadas na geração de um vetor de características, são constituídas pelos atributos descritos na tabela 2.

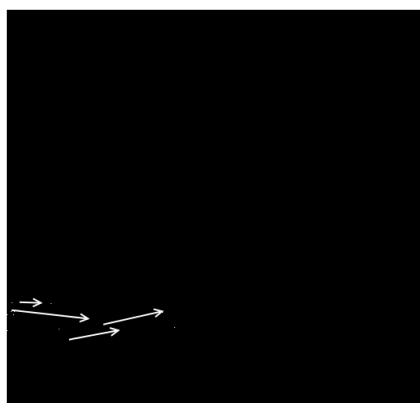
**Tabela 2 – Descrição dos atributos da lista de nuvens**

Atributo	Descrição
Número de pontos	Número de pixels presentes na nuvem.

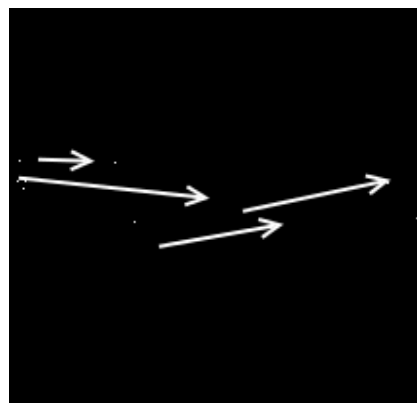
Largura	Tamanho da nuvem no eixo horizontal da matriz.
Altura	Tamanho da nuvem no eixo vertical da matriz.
Área euclidiana	Área da nuvem num espaço bidimensional.
Ponto mínimo	Coordenadas com os menores índices presente na nuvem

O vetor de características é usado como forma identificar uma nuvem, permitindo localiza-la em uma sequência de imagens diferentes, e assim poder calcular sua direção e deslocamento ao longo do tempo. Tendo em vista que as nuvens mudam de forma constantemente e o que deve ser levado em conta é a estrutura mais semelhante possível, foi adotada uma técnica chamada de *ssd (sum of squared differences)* para encontrar a nuvem mais semelhante na foto seguinte.

A Figura 6 mostra o comportamento de uma nuvem ao longo de uma série de 10 fotos, em sequência cronológica. Essa nuvem foi escolhida em particular pelo fato de ser o maior objeto presente na série histórica, o que para testes iniciais simplificou a tarefa de filtragem e correlação. Pode ser observado na figura 7 pequenos pontos em voltas das setas, estas indicam o ponto máximo da nuvem uma das dez fotos ao longo da sequência.



**Figura 6** – Sequência de 10 fotos



**Figura 7** – Sequencia ampliada

#### 4. CONCLUSÕES

Através dos resultados apresentados podemos afirmar, que o avanço obtido até o momento neste projeto foi substancial, pois a tarefa de detecção do deslocamento das nuvens baseado na sequência das imagens dá subsídio para o cálculo da velocidade dos ventos, sendo esta uma das tarefas finais deste projeto a serem desenvolvidas. Melhorias futuras a cerca do método apresentado incluem alterações na função de comparação de semelhança de nuvens, incorporando outras técnicas de comparação, como a distância de Mahalanobis, regressão linear e correlação, proposto por Miller (Frederic P. Miller, et al. 2011). Após o desenvolvimento do sistema básico, que efetua o cálculo das velocidades, será realizado um estudo de caso numa cidade específica do nordeste do Brasil com velocidades reais aferidas pelo sistema SONDA (Sistema de Organização de Dados Ambientais), mantidos pelo INPE, permitindo que possamos quantificar a eficiência do modelo proposto, baseado na comparação da velocidade calculada pelo nosso sistema com a do mesmo horário na base de dados do projeto SONDA. A base de dados referida pode ser obtida gratuitamente através do endereço eletrônico <http://sonda.ccst.inpe.br/basedados/>.





## REFERÊNCIAS

EMBRAPA. **Sistemas Orbitais de Monitoramento e Gestão Territorial**. Disponível em: <<http://www.sat.cnpem.embrapa.br/conteudo/goes.htm>> Acessado em 25 de Fevereiro de 2012.

FERREIRA, A. A. **Um Método para Design e Treinamento de *Reservoir Computing* Aplicado à Previsão de Séries Temporais**. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011.

GONZALEZ, R.C. e WOODS, R.E., ***Digital Image Processing – Second Edition***. Prentice Hall, 2002.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Introdução ao Processamento Digital de Imagens**. Divisão de geociência do Nordeste - Rio de Janeiro-RJ: IBGE, 2001.

MARQUES FILHO, Ogê; VIEIRA NETO, Hugo. **Processamento Digital de Imagens**, Rio de Janeiro: Brasport, 1999.

Miller, F. P., A. F. Vandome, J. McBrewster - **Mahalanobis Distance**, 2011.

Negri, R.G; Machado, L.A.T., **Estimativa do Vento para os Baixos Níveis Utilizando Imagens dos Canais Visível e Infravermelho Próximo 3.9µm**, Revista Brasileira de Meteorologia, v.23, n.2, 206-218, 2008.

PRATT, W. K., ***Digital Image Processing***, Wiley Interscience, 1991.

PROINFA, Ministério de Energia e Minas. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/programas/proinfa/>>, Acessado em 26 de Novembro de 2011.