



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

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

**ANÁLISE DOS CAMPOS DE VENTO
ESTIMADOS A PARTIR DE DADOS DO
SENSOR GOES-16/ABI NO CPTEC/INPE**

Alessandro Costa Melo (UNESP/São José dos Campos, Bolsista PIBIC/CNPq)

E-mail: alessandro.melo@unesp.br

Renato Galante Negri (DSA/CPTEC/INPE, Orientador)

E-mail: renato.galante@cptec.inpe.br

Cachoeira Paulista, SP

23 de julho de 2019

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1 INTRODUÇÃO	5
2 OBJETIVOS	7
2.0.1 Objetivo Geral	7
2.0.2 Objetivos Específicos	7
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	8
3.0.1 Espectro eletromagnético	8
3.0.2 O sensor ABI	9
3.0.3 Modelo de estimativa do vento	10
3.0.4 Radiossondagens	13
3.0.5 Sistema de análise	14
3.0.6 Reanálises do NCEP	14
3.0.7 Comparação entre os campos de vento e radiossondagens	15
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	25
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26

RESUMO

Este trabalho analisou estatisticamente os campos de vento, gerados operacionalmente no CPTEC/INPE, a partir de sequências de imagens do sensor Advanced Baseline Imager (ABI) a bordo do satélite geoestacionário GOES-16. Conhecer as deficiências desse dado auxilia na compreensão dos impactos desse dado no processo de assimilação de dados ou no seu uso para o monitoramento do tempo e em nowcasting. Estes dados de vento foram comparados com re-análises do NCEP e radiossondagens. O processo de verificação estatística envolveu o uso de ferramentas desenvolvidas nas linguagens Fortran, Korn Shell Script e Python além de trabalhar com a ferramenta de manipulação de dados de geociências GrADS (Grid Analysis and Display System). Este trabalho apresenta os resultados da análise referente ao período de janeiro de 2017 a dezembro de 2018.

ABSTRACT

This essay statistically analyzed the wind fields, operationally generated in CPTEC/INPE by image sequences from the Advanced Baseline Imager (ABI) sensor aboard of the GOES-16, a geostationary satellite. Acknowledge the data gaps, helps to understand the impacts of this data in the assimilation process or in its use to monitor the weather and nowcasting. These wind data were compared to re-analyzes from NCEP and radar apparatus. The process of statistic verification, involved the use of tools developed in different programming languages as Fortran, Korn Shell Script e Python besides working with the data manipulation tool of geosciences GrADS (Grid Analysis and Display System). The period analyzed from January 2017 to December 2018.

1 INTRODUÇÃO

O vento é o movimento de ar atmosférico que se desloca naturalmente, seguindo uma determinada direção. Sendo assim, pode ser caracterizado de acordo com sua direção e velocidade. Conhecer as informações sobre a direção e velocidade do vento em diferentes níveis da atmosfera são de grande importância para iniciar modelos numéricos de previsão de tempo, assim como para monitorar a evolução de sistemas de nuvens (LEESE et al., 1971; SERVICE, 2019).

Essas informações podem ser medidas de diversas maneiras utilizando instrumentos meteorológicos como o anemômetro e a biruta, bóias oceânicas, aviões e navios, radiossondas entre diversos outros. No entanto, comparando-se com as imagens de satélites, as formas apresentadas exibem desvantagens com relação a resolução temporal e ou espacial (FUJITA et al., 1969; ALMEIDA,).

A estimativa da direção e velocidade do vento por satélite é baseada na determinação do deslocamento das nuvens presentes nas imagens de satélite, considerando que as nuvens deslocam-se exclusivamente devido à ação dos ventos. Dessa forma, é possível estimar os ventos em uma ampla área por conta da imagem do satélite geoestacionário que ocupa uma grande região do planeta (RADFORD, 1989; FLORENZANO, 2008).

A utilização de imagens de satélites meteorológicos geoestacionários para estimar a velocidade e direção do vento a partir do movimento das nuvens, iniciou-se no final da década de 60 e na primeira metade dos anos 70. No início, o acompanhamento do deslocamento das nuvens era realizado de forma manual e era utilizado imagens dos canais infravermelho. Após alguns anos, novas tecnologias foram criadas e as já existentes foram aprimoradas, possibilitando uma otimização nesse processo que era feito de forma manual, tornando-se automático (LEESE et al., 1971; FUJITA et al., 1969; HUBERT; WHITNEY, 1971).

O modelo que foi desenvolvido no CPTEC/INPE para a extração dos ventos em diferentes níveis da troposfera é baseado no rastreamento das nuvens que estão presentes nas imagens dos canais visível, infravermelho próximo, vapor d'água e infravermelho janela do satélite GOES. As imagens do canal visível são utilizadas para fazer a extração do vento no período diurno, por conta da necessidade da presença da radiação solar, sendo ineficaz no período noturno, e as imagens do canal infravermelho são usadas para o período noturno (LAURENT et al., 2000).

As imagens sucessivas na faixa do infravermelho possibilitam uma boa estimativa de vento nos níveis altos e médios, mas não são interessantes para estimativa do vento nos níveis baixos. Sendo assim, para estimar o vento em baixos níveis no período noturno, o uso das imagens do infravermelho próximo é ideal. Nas imagens do canal visível, as nuvens baixas apresentam durante o período diurno, uma grande diferença nos níveis de cinza com relação aos oceanos. Dessa forma, as variáveis relativas ao vento nos níveis baixos podem ser estimadas com grande precisão (LAURENT et al., 2002).

Atualmente a Divisão de Satélites Ambientais (DSA) do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) possuem um modelo de extração de vento operacional utilizando imagens do satélite GOES, apresentando valores aceitáveis para altos níveis, mas de menor qualidade para os vetores de vento em níveis baixos e médios (LEE et al., 1997).

2 OBJETIVOS

2.0.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho foi analisar estatisticamente os campos de vento, gerados operacionalmente no CPTEC/INPE, a partir de sequências de imagens do sensor Advanced Baseline Imager (ABI) a bordo do satélite geoestacionário GOES-16. A análise foi realizada a partir da comparação entre os campos de vento e dados provenientes de re-análises do NCEP e radiossondagens.

2.0.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do trabalho são:

- Verificar a existência de erros sistemáticos na determinação da altura dos vetores e quantificá-los;
- Analisar o impacto deste tipo de dado no modelo global do CPTEC através da comparação entre rodadas de controle e rodadas utilizando tais dados no processo de assimilação de dados.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.0.1 Espectro eletromagnético

O espectro eletromagnético é a distribuição da intensidade da radiação eletromagnética com relação ao seu comprimento de onda ou frequência. Sendo assim, é caracterizado pelo intervalo de ondas de frequência extremamente baixa, passando por ondas de rádio, de TV, micro-ondas, radiação infravermelha, luz visível, radiação ultravioleta até chegar aos raios X e raios gama (UFRGS, 2019; OKUNO, 2013).

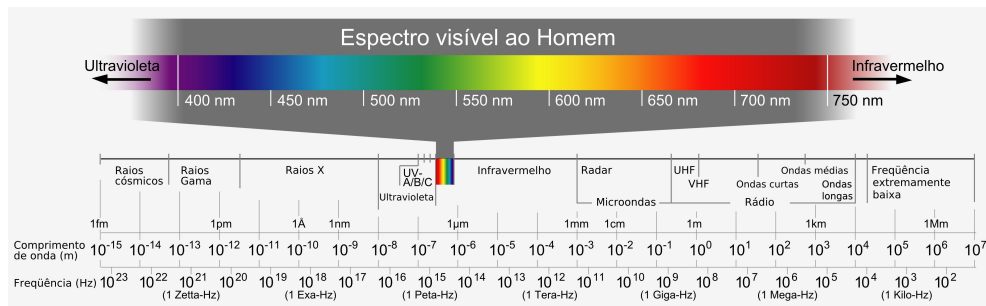


Figura 3.1 - O espectro eletromagnético

A teoria da dualidade da onda-partícula, proposta e desenvolvida por Max Planck e por Albert Einstein a partir de 1901, e futuramente por Louis de Broglie, associa partícula com onda, na qual uma onda eletromagnética é emitida e propaga-se como se fossem pequenos pacotes de energia que são chamados de fótons. A energia E de cada fóton é calculada segundo a equação (3.1) que relaciona o aspecto de partícula com o de onda (OKUNO, 2013).

$$E = hv = \frac{hc}{\lambda} \quad (3.1)$$

onde, h é a constante de Planck e vale $6,63 \times 10^{-34} J.s \approx 4,14 \times 10^{15} eV.s$; c é a velocidade da luz, v é a frequência da onda eletromagnética e λ é o comprimento de onda.

A radiação eletromagnética pode interagir com os corpos, como o humano, conduzindo energia. A forma de interação vai depender da energia da radiação, do meio absorvedor e emissor (OKUNO, 2013).

O quadro representa os valores aproximados em comprimento de onda, frequência e energia para regiões selecionadas do espectro eletromagnético.

Região	Comp. Onda (Å)	Comp. Onda (cm)	Frequência (Hz)	Energia (eV)
Rádio	$> 10^9$	> 10	$< 3x10^9$	$< 10^{-5}$
Micro-ondas	$10^9 - 10^6$	$10 - 0.01$	$3x10^9 - 3x10^{12}$	$10^{-5} - 0.01$
Infra-vermelho	$10^6 - 7000$	$0.01 - 7x10^{-5}$	$3x10^{12} - 4.3x10^{14}$	$0.01 - 2$
Visível	$7000 - 4000$	$7x10^{-5} - 4x10^{-5}$	$4.3x10^{14} - 7.5x10^{14}$	$2 - 3$
Ultravioleta	$4000 - 10$	$4x10^{-5} - 10^{-7}$	$7.5x10^{14} - 3x10^{17}$	$3 - 10^3$
Raios-X	$10 - 0.1$	$10^{-7} - 10^{-9}$	$3x10^{17} - 3x10^{19}$	$10^3 - 10^3$
Raios Gama	< 0.1	$< 10^9$	$> 3x10^{19}$	$> 10^5$

Tabela 3.0.1 Regiões do espectro eletromagnético.

3.0.2 O sensor ABI

O sensor Advanced Baseline Imager (ABI) é o principal componente da série GOES-R para imagens do clima, oceanos, meio ambiente e perigos (incêndios, vulcões, inundações, furacões e tempestades que geram tornados) da Terra. Ele possui a capacidade de visualização da Terra com 16 bandas espectrais diferentes, incluindo dois canais visíveis, quatro canais infravermelhos próximos e dez canais de infravermelhos. Esses diferentes comprimentos de onda são usados por modelos e ferramentas para indicar vários elementos na superfície da Terra ou na atmosfera, como árvores, água, nuvens, umidade ou fumaça (SATELLITES, 2019).

O ABI é um radiômetro de imagens passivas de multicanais projetado para observar o Hemisfério Ocidental e fornecer imagens de área variável e informações radiométricas da superfície, atmosfera e da cobertura de nuvens da Terra. Além disso, o instrumento possui vários modos de varredura. O modo 4, ou modo de disco contínuo, a ABI produz uma imagem de disco inteiro (Hemisfério Ocidental) a cada cinco minutos. No modo 3, ou flex, o ABI produz simultaneamente um disco inteiro a cada 15 minutos, uma imagem CONUS (resolução de 3000 km por 5000km) a cada cinco minutos e dois domínios de mesoescala (resolução de 1000 km por 1000 km) a cada 60 segundos ou um subdomínio a cada 30 segundos. O modo 6, ou o modo flex de 10 minutos, que se tornou o modo de operação padrão para o GOES-16, fornece uma imagem de disco completa a cada 10 minutos, uma imagem CONUS a cada cinco minutos e imagens de ambos os domínios de mesoescala a cada 60 segundos (SATELLITES, 2019).

Em relação ao sistema anterior, o sensor ABI fornece três vezes mais informações espectrais, quatro vezes a resolução espacial e cobertura temporal cinco vezes mais

rápido (SATELLITES, 2019). Sendo, atualmente, uma carga útil essencial que fornece mais de 65% de todos os produtos de dados. No quadro 3.1 é possível observar uma comparação entre o sensor ABI e a corrente GOES anterior.

Atributo	ABI	Imager atual do GOES
Cobertura Espectral	16 bandas	5 bandas
Resolução espacial		
0,64 μm Visível	0,5 km	~ 1 km
Outros visíveis / perto de IR	1,0 km	n / D
Bandas ($> 2 \mu m$)	2 km	~ 4 km
Cobertura Espacial		
Disco Cheio	4 por hora	Agendado (3 horas)
CONUS	12 por hora	~ 4 por hora
Mesoescala	30 ou 60 seg	n / D
Visível (bandas refletivas)		
Calibração em órbita	sim	não

Tabela 3.1 - Comparação GOES-R SERIES ABI vs Corrente GOES.

3.0.3 Modelo de estimativa do vento

No CPTEC/INPE (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos) do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), são estimados vento a partir de satélites, mais especificamente satélites geoestacionários. As nuvens se deslocam devido a ação significativa dos ventos, e com isso a direção e a velocidade são de grande importância para estimar esse deslocamento das nuvens que estão presentes nas imagens por satélite.

O CPTEC/INPE tem o intuito para a estimar o vento, e com isso, fornecer as informações sobre a circulação atmosférica que é movimentação das massas de ar em meso e grande escala. Essa movimentação ocorre na Troposfera, a camada da atmosfera mais próxima da Terra. Com uma grande cobertura espacial (80 a 100 km).

Sobre a superfície dos oceanos é praticamente impossível obter informação alguma sobre vento, no hemisfério sul a área oceânica é superior as áreas continentais, quando comparadas ao do hemisfério norte. Portanto os dados referentes ao vento, obtidos a partir de estações convencionais, são mais escassos.

Os nomes dos ventos mais utilizados são AMV (*Atmospheric Motion Vectors*),

(Cloud drift winds), (Cloud motion vectors), (Satellite winds), (Satwinds), (Cloud track winds), (Cloud motion winds), (Feature track winds) e etc.

Neste presente trabalho serão chamados de AMV (Atmospheric Motion Vectors), são utilizados para descrever o escoamento na escala sinótica nos esquemas de assimilação de dados, o que torna necessário para obter o AMV com maior resolução espacial.

Existem várias etapas típicas no processo de estimativa de AMVs. No processamento das imagens por satélites, é feita uma retificação de imagens que é de extrema importância, principalmente para as imagens de canal visível devido a dependência do ângulo de iluminação que varia durante todo o dia, a utilização do canal visível mostrou um grande avanço na estimativa do vento realizando a definição dos alvos mais úteis para o rastreamento com regiões que contenham nuvens ou um gradiente de vapor com contraste suficiente para o rastreamento. Essa técnica de rastreamento automático de nuvens foi realizada inicialmente utilizando o método das correlações cruzadas proposto por Leese et al. (LEESE et al., 1971).

Esta técnica descarta o rastreamento individual de nuvens devido à complexidade dessa tarefa mesmo se contando com um computador potente. Determinar uma posição específica dos alvos escolhidos na imagem seguinte, e cada alvo na imagem inicial, é feito um rastreamento nas imagens sucessivas para determinar o deslocamento. Um padrão de um intervalo de até 30 minutos as nuvens podem alterar a forma excessivamente ou até desaparecer, mas os alvos são suficientes geralmente permanecem para produção de AMVs, intervalos mais curtos, 15 minutos por exemplo, esse problema é menor e mais AMVs são produzidos, o campo era mais preciso, e se tinha uma melhora na estimativa.

É necessário que os resultados obtidos através dos cálculos dos vetores, considerando o deslocamento geográfico da posição e direção, e o intervalo do tempo das imagens. Definição da altura do AMV estimada é extremamente necessária para a estimativa de vento e também a maior fonte de erro nesse dado. Logo após de todos os cálculos dos vetores de vento, o resultado alcançado passa por um controle de qualidade que são constituídos por alguns testes que analisam o nível de confiabilidade composto por cada vetor.

Abaixo são apresentados alguns exemplos dos campos de vento estimados a partir do uso dos canais infravermelho janela (Figura 3.2) e vapor d'água (Figura 3.3). Os canais visível e infravermelho próximo são utilizados apenas para a estimativa do

vento nos baixos níveis, o canal do vapor d'água é empregado na estimativa do vento nos altos níveis e níveis médio e com o canal infravermelho janela é possível estimar o vento em todos os níveis da troposfera.

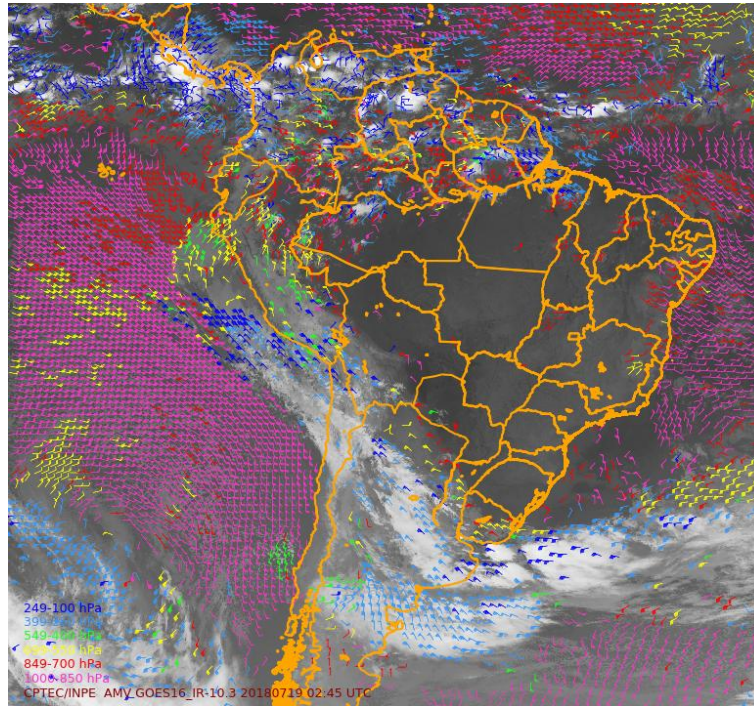


Figura 3.2 - Exemplo de um campo de vento obtido a partir do canal $10.3 \mu m$ (infravermelho janela) do satélite GOES-16.

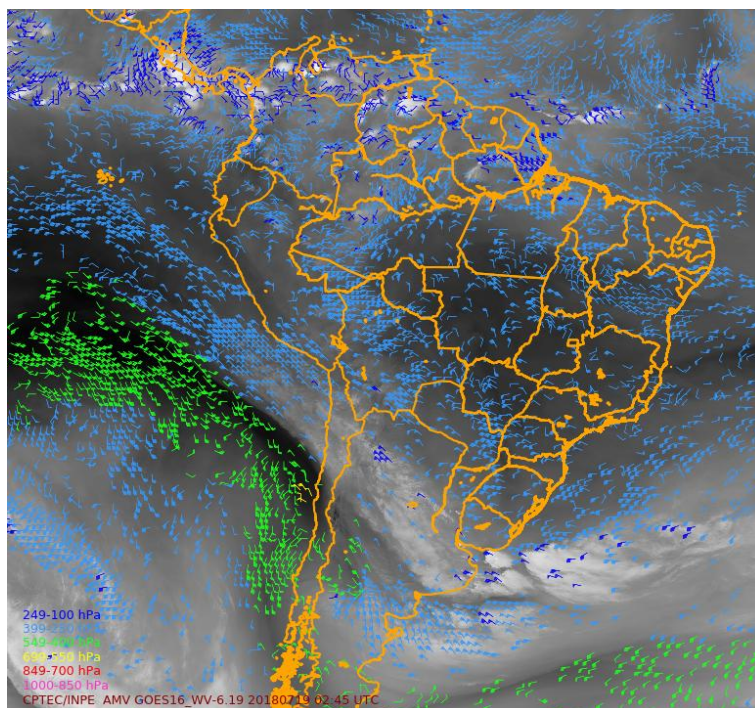


Figura 3.3 - Exemplo de um campo de vento obtido a partir do canal $6.2 \mu\text{m}$ (vapor d'água) do satélite GOES-16.

3.0.4 Radiossondagens

A radiossonda é um aparelho transmissor de rádio, de sensores de pressão, de temperatura e de umidade, que é lançado na atmosfera, transportado por um balão de borracha, inflado com gás. As radiossondas tem o alcance com cerca de 30 km de altitude, quando ocorre o rompimento das paredes do balão e o sistema cai em direção a superfície. Dessa forma tornando-se muitas vezes descartáveis, sendo utilizadas apenas uma única vez.

A mudança de pressão em altitude é feita conforme vão sendo identificadas as camadas a temperatura virtual, variando linearmente com a altura e composto a equação hipsométrica para cada uma delas, e assim vinculado a um microcomputador onde serão feitos uma serie de cálculos.

Os dados aerológicos alcançados através de radiossondagens são usados para identificar as características dinâmicas e termodinâmicas da atmosfera. Com avanço tecnológico na área de informática tornou-se rotineiro proceder a análise de perfis aerológicos usando microcomputadores dotados do software apropriado.

A radiossonda refere-se em um tipo de sondagem das camadas superiores da atmosfera, constituído no interior de uma pequena caixa plástica lançada na superfície para atmosfera, por meio de um balão, formado por de sensores de temperatura, umidade de pressão, simultaneamente com um radiotransmissor e uma antena. As radiossondagens ainda são muito usadas embora existam outras técnicas como, balões cativos, balões livres, aviões e satélites.

3.0.5 Sistema de análise

O sistema de análise desenvolvido se baseia na construção de gráficos para análise espacial dos campos de vento. A última versão está mais simples e eficiente em relação a anterior. Foi aperfeiçoado o processo de identificação de possíveis problemas nos dados de vento, como discrepâncias consideráveis entre a direção e velocidade do vento, o que, geralmente, está associado à erros na determinação da altura em locais com cisalhamento vertical do vento. Em relação à conveniência no uso da ferramenta, algumas etapas que anteriormente necessitavam serem executadas manualmente foram simplificadas através da automatização utilizando shell scripts.

3.0.6 Reanálises do NCEP

O NCEP (National Centers for Environmental Prediction) em parceria com o NCAR (National Center for Atmospheric Research) disponibilizam séries históricas de reanálise desde 1948 até a atualidade com $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ de resolução espacial, o NCEP/NCAR Reanalysis Project. Esse esforço envolve a recuperação de dados de superfície terrestre, navio, radiossonda, aviões, satélites e outros dados, controle e assimilação. Para a geração dessas reanálises, são usados campos globais atmosféricos e de fluxos superficiais derivados dos sistemas de previsão numérica e de assimilação de dados do NCEP/NCAR. Neste trabalho, utilizamos os perfis de vento (componentes u e v) em todas as camadas disponíveis. (KISTLER et al., 2001).

Utilizando esses perfis, é possível verificar, principalmente, erros na determinação da altura dos AMVs, o que é crítico para a utilização efetiva do vento nas diversas aplicações usuais.

Num trabalho futuro, um dado de referência com maior resolução espacial, vertical e ou horizontal, pode ser utilizado.

3.0.7 Comparação entre os campos de vento e radiossondagens

Esta seção descreve os resultados da análise dos campos de vento realizada através da comparação com medidas de radiossondas. No entanto, a cobertura espacial das radiossondas não permite avaliar estes modelos para as regiões oceânicas, que são grande parte da área que os ventos são estimados. Dessa forma, as estatísticas apresentadas neste trabalho não representam o skill do algoritmo de estimativa do vento para todas as situações possíveis, sendo útil apenas para regiões continentais.

A partir das Figuras 3.4, 3.5 e 3.8, das quais as análises foram geradas em abril de 2016 para o campo referente ao canal do infravermelho janela (IR 10.2 μm), é possível notar a quantidade de informações geradas no mapa por conta de sua grande quantidade de AMVs existentes naquele mesmo período.

É importante notar que anteriormente era apenas possível gerar análises da diferença média da velocidade do vento em modo geral (3.5), agora é possível gerar também figuras separadas em componentes u e v. Resultando em um número maior de detalhes para a análise deste campo em determinada situação. Estas análises em componentes u e v são representadas nas Figuras 3.6 e 3.7, respectivamente.

Já nas seguintes figuras, observe na Figura 3.9 que há uma diminuição na quantidade de AMVs sobre o continente. Em maio e julho do mesmo ano, essa falta de informações é aumentada, como é possível ser observado nas Figuras 3.10 e 3.11. Além disso, nota-se também a anulação de análises sobre grande parte da região Sul do continente. É provável que esta diferença ocorre devido a uma alteração de parâmetros, que são formados por modelos numéricos e imagens de satélite, para a estimativa. Resultando assim, um menor número de AMVs para a comparação com as radiossondagens. Tal fato ainda precisa ser mais explorado para obtermos uma explicação definitiva.

As figuras 3.12, 3.13, 3.14, 3.15, 3.16, 3.17, 3.18 e 3.19 apresentam a comparação estatística a partir de radiossondagens para o período de janeiro de 2017 a dezembro de 2018 dos campos de vento estimados utilizando imagens dos canais do vapor d'água (WV) e infravermelho janela (IR). O ano de 2017 foi o último em que o satélite GOES-13 esteve em operação e o ano de 2018 foi o primeiro ano de operação do satélite GOES-16. Portanto, esta análise buscou verificar se houve ganho ou não na qualidade dos dados de vento estimados após a alteração dos dados de satélite utilizados.

Nas figuras 3.14 e 3.18 é possível observar que no ano de 2018 a quantidade de amostras (AMVs) que puderam ser utilizadas na comparação com as radiossondages (NC) é muito superior comparado com o ano de 2017. Isso ocorre por conta da superioridade tecnológica do GOES-16 em relação ao GOES-13. O critério utilizado para uma amostra (AMV) ser utilizada foi esta estar pelo menos a 50 km de distância do ponto de lançamento da radiossona.

Além disso, a partir das figuras 3.13, 3.15, 3.17 e 3.19 nota-se que o erro estatístico é mais variável em 2017 que em 2018, e também, com maior magnitude, principalmente entre os meses de abril e junho. Isso pode ter ocorrido por conta do número de observações no ano de 2017 ter sido bem menor com relação ao ano de 2018 apresentando maior variação. Em geral, houve melhor dos valores do erro na estimativa do vento após o início da utilização das imagens do sensor ABI que está a bordo do satélite GOES-16.

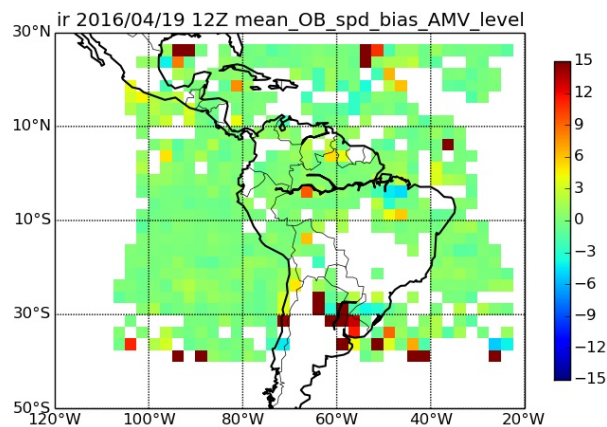


Figura 3.4 - BIAS médio da velocidade do vento para 19 de abril de 2016.

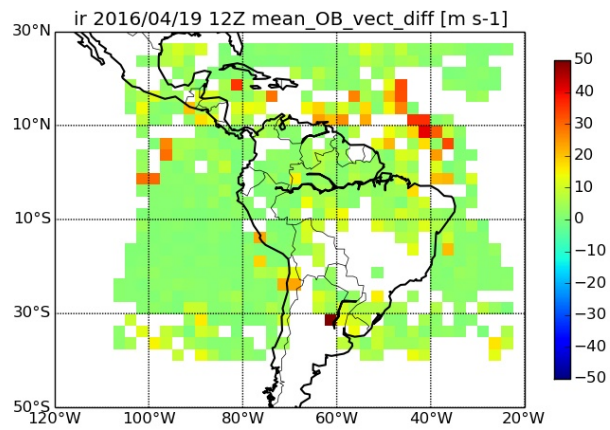


Figura 3.5 - Diferença média da velocidade do vento para 19 de abril de 2016.

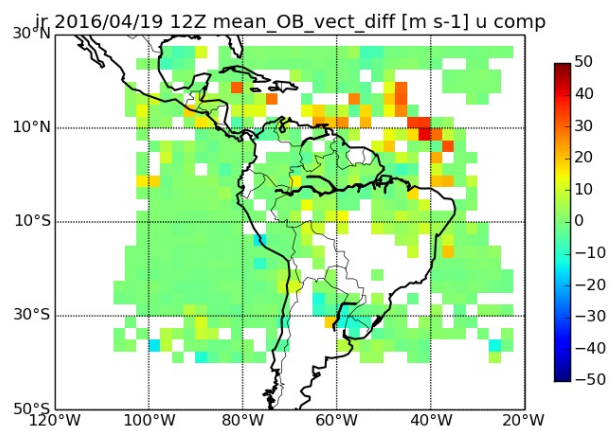


Figura 3.6 - Diferença média da velocidade do vento (componente u) para 19 de abril de 2016.

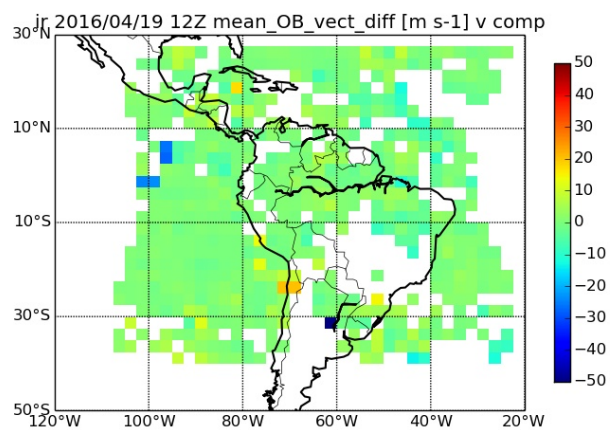


Figura 3.7 - Diferença média da velocidade do vento (componente v) para 19 de abril de 2016.

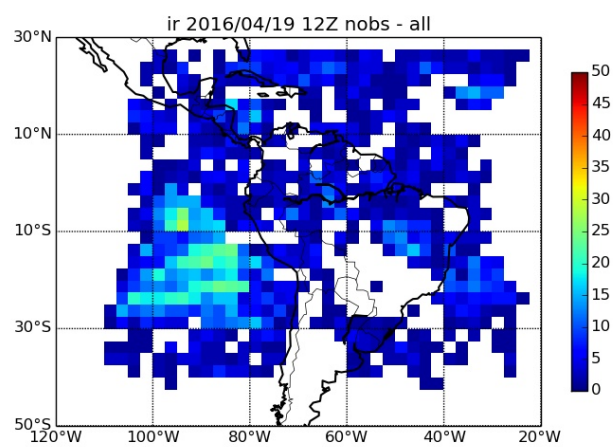


Figura 3.8 - Número de amostras disponíveis para comparação de 19 de abril de 2016. Uma fração das amostras são descartadas durante o processo de comparação.

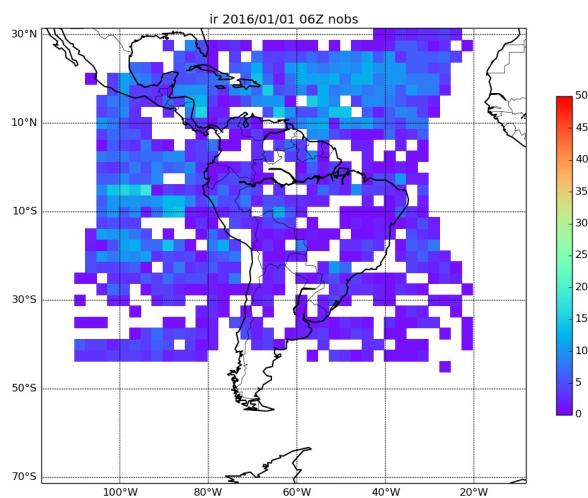


Figura 3.9 - Número de amostras disponíveis para comparação referente a 1 de janeiro de 2016 às 06:00 UTC.

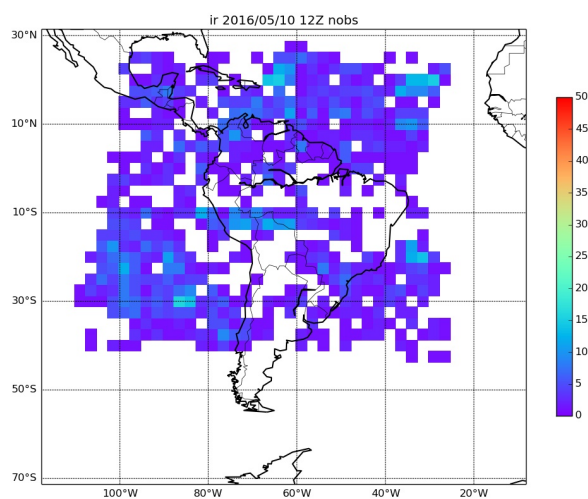


Figura 3.10 - Número de amostras disponíveis para comparação referente a 1 de maio de 2016 às 12:00 UTC.

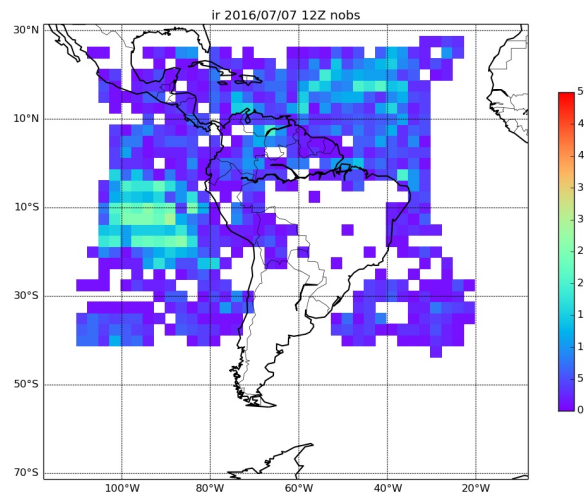


Figura 3.11 - Número de amostras disponíveis para comparação referente a 7 de julho de 2016 às 12:00 UTC.

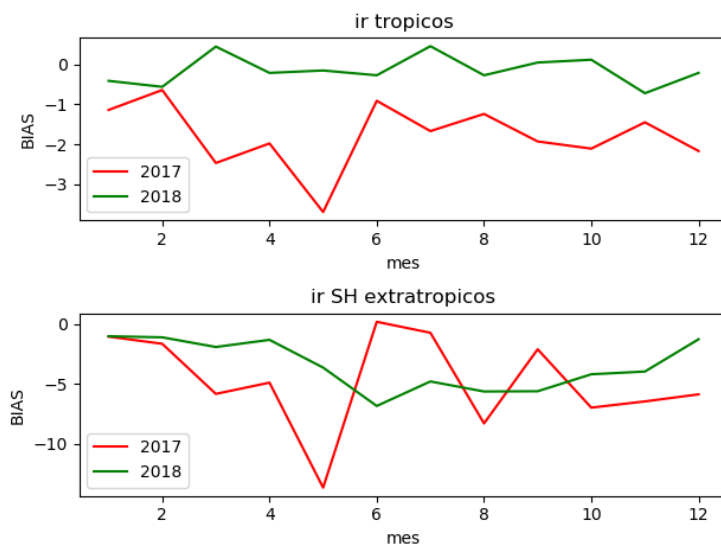


Figura 3.12 - Comparação entre os anos de 2017 e 2018 com diferença de área geográfica dos campos de vento obtidos pelo canal do infravermelho janela e radiossondagens.

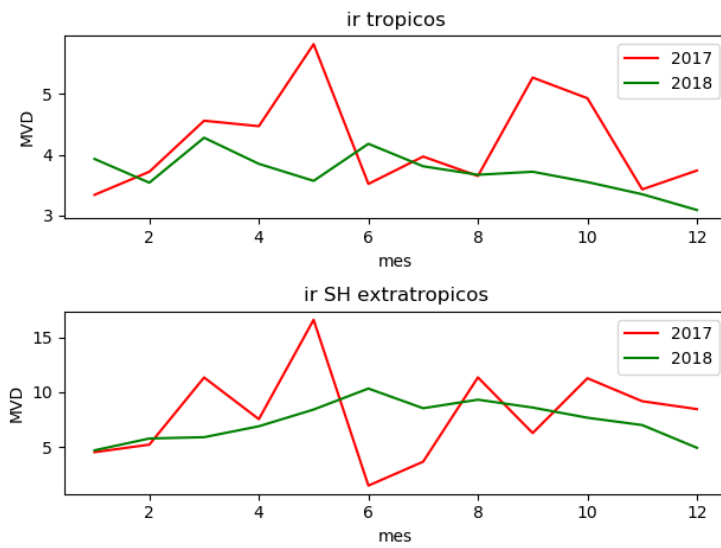


Figura 3.13 - Comparação entre os anos de 2017 e 2018 com diferença de área geográfica dos campos de vento obtidos pelo canal do infravermelho janela e radiossondagens.

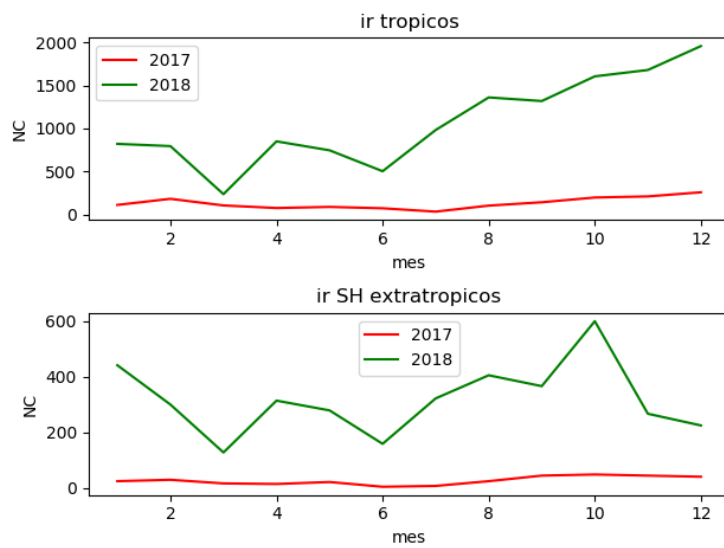


Figura 3.14 - Comparação entre os anos de 2017 e 2018 com diferença de área geográfica dos campos de vento obtidos pelo canal do infravermelho janela e radiossondagens.

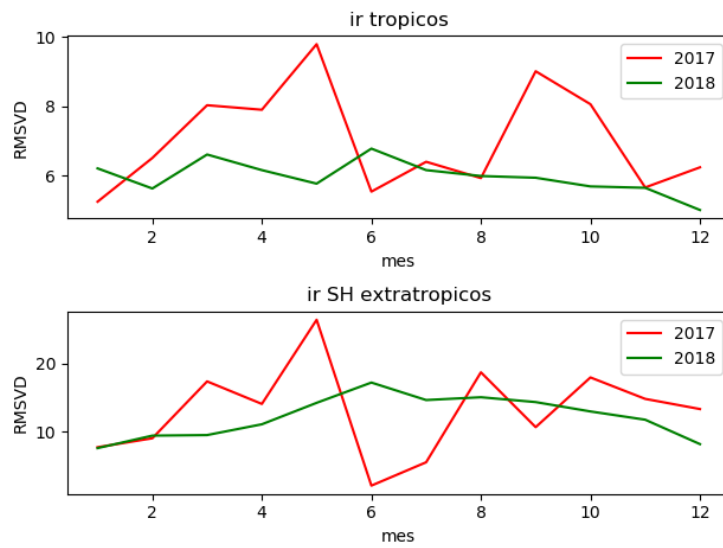


Figura 3.15 - Comparação entre os anos de 2017 e 2018 com diferença de área geográfica dos campos de vento obtidos pelo canal do infravermelho janela e radiossondagens.

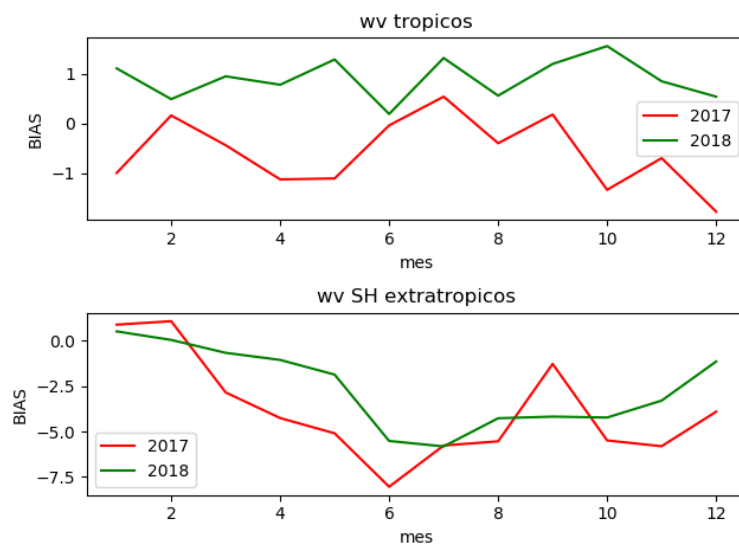


Figura 3.16 - Comparação entre os anos de 2017 e 2018 com diferença de área geográfica dos campos de vento obtidos pelo canal do vapor d'água e radiossondagens.

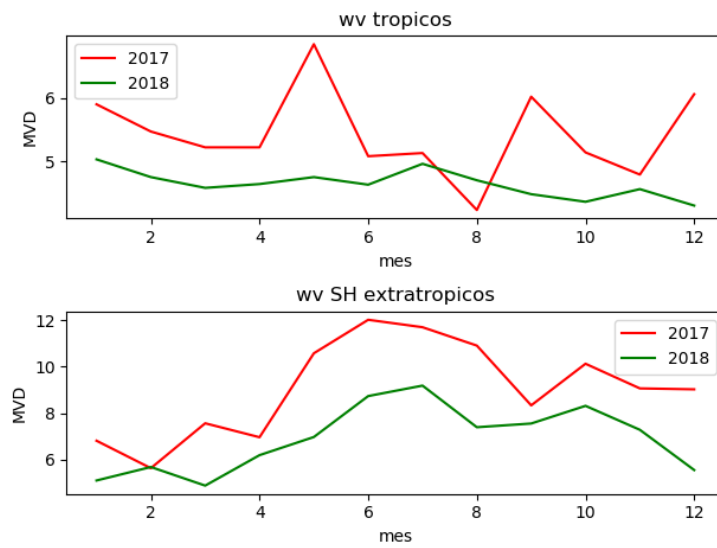


Figura 3.17 - Comparação entre os anos de 2017 e 2018 com diferença de área geográfica dos campos de vento obtidos pelo canal do vapor d'água e radiossondagens.

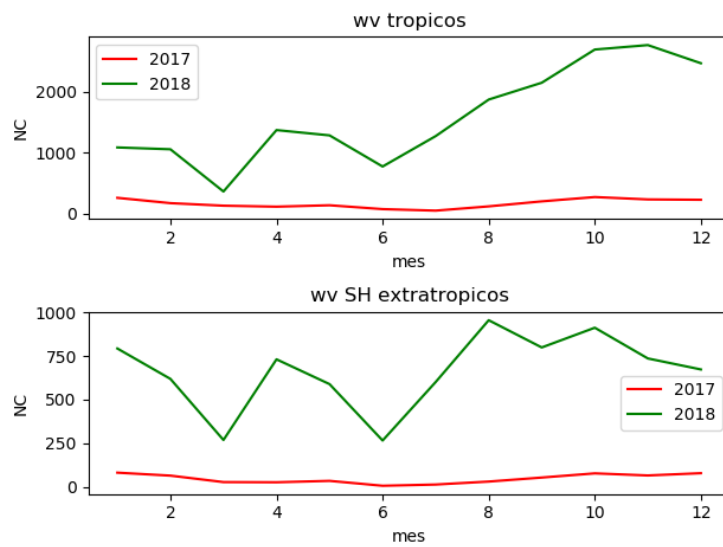


Figura 3.18 - Comparação entre os anos de 2017 e 2018 com diferença de área geográfica dos campos de vento obtidos pelo canal do vapor d'água e radiossondagens.

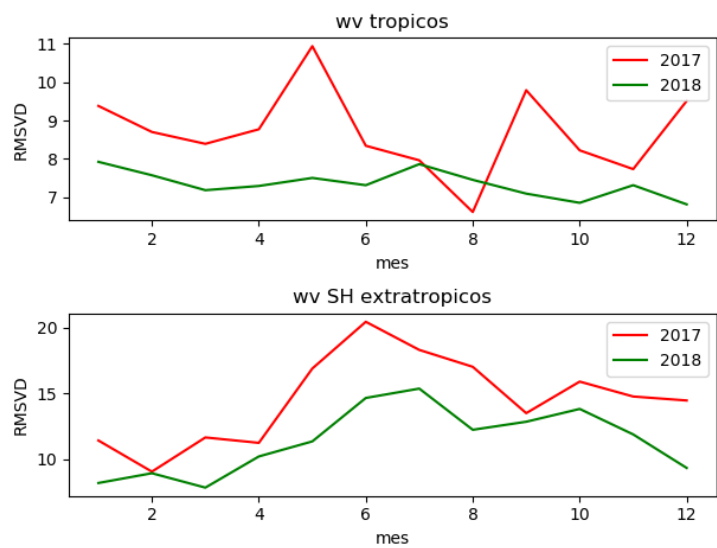


Figura 3.19 - Comparação entre os anos de 2017 e 2018 com diferença de área geográfica dos campos de vento obtidos pelo canal do vapor d'água e radiossondagens.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conhecer a distribuição espacial dos erros na estimativa do vento é importante e essa ferramenta supre essa necessidade. A ferramenta do sistema de análise está finalizada e disponível para auxiliar os servidores do CPTEC/INPE ou visitantes em suas pesquisas, seu uso é fácil e ela é extensível.

Futuramente é esperado que essa ferramenta seja adicionada ao repositório de softwares do CPTEC/INPE e há interesse em estender essa avaliação aos AMVs gerados por outros centros que são recebidos operacionalmente no CPTEC/INPE e utilizados no processo de assimilação de dados do centro.

Uma versão preliminar dessa ferramenta foi utilizada durante a visita de um aluno do curso de graduação em meteorologia da Universidade de São Paulo (USP) em janeiro e o resultados foram satisfatórios.

Além dessa ferramenta, uma comparação entre os dados de vento estimados utilizando imagens dos satélites GOES-13 e GOES-16 foi realizada visando verificar se, em linhas gerais, houve melhoria em relação aos dados de vento estimados utilizando os dados do sensor ABI/GOES-16. Foi verificado que a quantidade de amostras de dados de vento aumentou significativamente com o uso dos dados ABI/GOES-16. Esse aumento é explicado pela resolução espacial superior (4x4 km para 2x2 km) e a maior taxa de amostragem temporal (30 para 15 minutos). Quanto aos valores do erro quadrático médio (RMS) e viés (BIAS), foi observado uma melhora significativa para os dados de vento estimados utilizando o novo sensor.

A análise da distribuição espacial dos erros utilizando a ferramenta desenvolvida no início desse projeto não foi realizada para o período de janeiro de 2017 a dezembro de 2018. Recomendamos que essa análise seja realizada utilizando dados de reanálises do NCEP ou outra fonte similar com resolução espacial superior, como os dados de reanálise do projeto ERA-Interim.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, P. G. d. **Contribuições da metodologia aprendizagem baseada em projetos para ensino de meteorologia no ensino fundamental**. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo. 5

FLORENZANO, T. G. Os satélites e suas aplicações. SindCT, 2008. 5

FUJITA, T. T.; WATANABE, K.; IZAWA, T. Formation and structure of equatorial anticyclones caused by large-scale cross-equatorial flows determined by at-s-i photographs. **Journal of Applied Meteorology**, v. 8, n. 4, p. 649–667, 1969. 5

HUBERT, L. F.; WHITNEY, L. F. Wind estimation from geostationary satellite pictures. **MWR**, v. 99, p. 665–672, 1971. 5

KISTLER, R.; KALNAY, E.; COLLINS, W.; SAHA, S.; WHITE, G.; WOOLLEN, J.; CHELLIAH, M.; EBISUZAKI, W.; KANAMITSU, M.; KOUSKY, V. et al. The ncep–ncar 50-year reanalysis: monthly means cd-rom and documentation. **Bulletin of the American Meteorological society**, American Meteorological Society, v. 82, n. 2, p. 247–268, 2001. 14

LAURENT, H.; ARAI, N.; FOMIN, B.; MACHADO, L. A. T.; GONDIM, M. A.; IRD, L. A. extração do vento utilizando imagens de satélite no cptec: Nova versão e avaliação com dados do wetamc/lba e dados operacionais da dsa/cptec. In: **International Winds Workshop**. [S.l.: s.n.], 2002. v. 6. 6

LAURENT, H.; MACHADO, L. A. T.; FOMIN, B.; GONDIM, M. A.; IRD, L.; GGRENOBLE, F. Extração do vento utilizando imagens de satélite no cptec: Nova versão e avaliação com dados do wet amc/lba. In: **XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Rio de Janeiro**. [S.l.: s.n.], 2000. p. 16–20. 5

LEE, T. F.; TURK, F. J.; RICHARDSON, K. Stratus and fog products using goes-8–9 3.9- μ m data. **Weather and Forecasting**, v. 12, n. 3, p. 664–677, 1997. 6

LEESE, J. A.; NOVAK, C. S.; CLARK, B. B. An automated technique for obtaining cloud motion from geosynchronous satellite data using cross correlation. **Journal of applied meteorology**, v. 10, n. 1, p. 118–132, 1971. 5, 11

OKUNO, E. Efeitos biológicos das radiações ionizantes: acidente radiológico de goiânia. **estudos avançados**, SciELO Brasil, v. 27, n. 77, p. 185–200, 2013. 8

RADFORD, A. Monitoring of cloud-motion winds at ecmwf. In: **Proc. ECMWF/EUMETSAT Workshop: the Use of Satellite Data In Operational Numerical Weather Prediction**. [S.l.: s.n.], 1989. v. 1993, p. 249–262. 5

SATELLITES, G. O. E. Disponível em:
<https://www.goes-r.gov/spacesegment/abi.html>. **Acesso em**, v. 15, 2019. 9

SERVICE, N. W. Disponível em: <https://www.weather.gov/jetstream/wind>.
Acesso em, v. 15, 2019. 5

UFRGS. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/oei/cgu/espec/intro.htm>. **Acesso em**, v. 18, 2019. 8