



UNIVERSIDADE FEDERAL
DO PARÁ



FACULDADE DE METEOROLOGIA



INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

TRABALHO DE GRADUAÇÃO METEOROLOGIA

Jaqueline Cristina do Carmo Santos

AVALIAÇÃO DA SENSIBILIDADE DO MÉTODO DE ESTIMATIVA DE PRECIPITAÇÃO ATRAVÉS DO GOES PRECIPITATION INDEX - GPI

Belém
2010

Jaqueline Cristina do Carmo Santos

**AVALIAÇÃO DA SENSIBILIDADE DO MÉTODO DE ESTIMATIVA DE
PRECIPITAÇÃO ATRAVÉS DO GOES PRECIPITATION INDEX – GPI**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de
Meteorologia do Instituto de
Geociências da Universidade Federal do
Pará-UFPA, em cumprimento às
exigências para obtenção do grau de
Bacharel em Meteorologia.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Afonso
Fischer Kuhn.

Belém-PA

2010

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

S237 Santos, Jaqueline Cristina do Carmo

Avaliação da sensibilidade do método de estimativa de precipitação através do GOES precipitation index - GPI / Jaqueline Cristina do Carmo Santos; Orientador: Paulo Afonso Fischer Kuhn – 2010

44f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Meteorologia) – Faculdade de Meteorologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, Quarto Período de 2010.

1. Precipitação. 2. GOES. 3. Precipitation index. 4. Comparações. I. Kuhn, Paulo Afonso Fischer, *orient.* II. Universidade Federal do Pará. III. Título.

CDD 20° ed.: 551.577281

JAQUELINE CRISTINA DO CARMO SANTOS

**AVALIAÇÃO DA SENSIBILIDADE DO MÉTODO DE ESTIMATIVA DE
PRECIPITAÇÃO ATRAVÉS DO GOES PRECIPITATION INDEX - GPI**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Meteorologia do Instituto de
Geociências da Universidade Federal do Pará -
UFPA, em cumprimento às exigências para
obtenção do grau de Bacharel em
Meteorologia.

Data de aprovação: ____/____/____
Conceito: _____

Banca examinadora:

Prof. Dr. Paulo Afonso Fischer Kuhn - Orientador
Doutor em Agronomia
Universidade Federal do Pará

Prof. Dr. Everaldo Barreiros de Souza - Membro
Doutor em Meteorologia
Universidade Federal do Pará

Prof. MSc. José Danilo da Costa Souza Filho - Membro
Mestre em Meteorologia
Universidade Federal do Pará

*Ao meu Deus, meu primeiro e
grande professor*

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu Deus Senhor Jesus Cristo que sempre me guiou, conduziu, inspirou e me ajudou nas horas que mais precisei, pois por varias vezes fiquei estressada, agoniada e ansiosa, e nessas horas se não fossem as minhas orações voltadas para Deus jamais teria conseguido realizar este trabalho.

Agradeço a toda minha família, minha mãe Alda e meus irmãos Gilberto, Aline e Caroline em especial ao meu pai Francisco Tadeu, que nunca deixou de acreditar em mim, sempre investindo e dando o seu melhor para que eu chegasse até o fim deste curso.

Ao meu orientador Paulo Kuhn pela paciência e auxílio, e por ter aceitado meu trabalho sem falar de sua gentileza, que sempre foi sublime, por quantas vezes fiquei chateada e ele sempre calmo me orientando da melhor maneira possível.

Ao meu grande amigo, Rafael Mathias, que mesmo com a distância nunca deixou de manter o contato, e sempre encontro apoio em suas palavras.

À minha turma de Meteorologia com quem compartilhei alegrias e inquietações ao longo do curso.

*Se não nascemos para servir
Não servimos para viver*

RESUMO

Uma das maiores dificuldades para os tomadores de decisões é o acompanhamento das condições de tempo ocorridas, pois a rede de estações de superfície é deficiente e mal distribuída e nem sempre os dados são disponibilizados. A estimativa de precipitação a partir de imagens obtidas por satélites, em função da excelente cobertura espacial e temporal, pode apresentar-se como a única forma de obtenção de dados pluviométricos representativos de uma determinada área. O presente trabalho teve como objetivo propor uma comparação de dados para se chegar a um produto final qualitativo, e com isso tentar afirmar se o método estudado se adéqua para a localidade estudada e dessa maneira tentar traçar um perfil de precipitação. Os resultados deste vão mostrar que as precipitações no método do GPI, foram consideravelmente bem aceitas se comparadas ao da estação automática. Porém com algumas deficiências que serão mostradas ao longo do trabalho.

Palavras-chave: Precipitação. GOES. Precipitation index. Comparações.

ABSTRACT

One of the major difficulties for decision makers is the monitoring of weather conditions occurred because the network of surface stations is inadequate and poorly distributed and not always the data is available. The precipitation estimates from satellite images, due to its excellent spatial and temporal coverage, it can present itself as the sole source of rainfall data representative of a particular area. This study aimed to propose a comparison of data to arrive at a final product quality, and might perhaps say that the method is suitable for studying certain locality and thus try to draw a profile of precipitation. The results of this study will show that precipitation in GPI method, were pretty well accepted when compared to the automatic station. However with some deficiencies that will be shown throughout the paper.

Key words: Precipitation. GOES. Precipitation index. Comparison.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1	ESTIMATIVA DE PRECIPITAÇÃO ATRAVÉS DE SATÉLITE	13
2.2	SATÉLITES METEOROLÓGICOS	17
2.3	2.3 TÉCNICAS PARA A ESTIMATIVA DE PRECIPITACAO ATRAVÉS DE SATÉLITE	18
2.4	2.4 CLIMA	20
2.5	BELÉM	21
2.5.1	Temperatura do ar	21
2.5.2	Precipitação pluviométrica	22
2.5.3	Umidade relativa do ar	22
2.5.4	Evaporação	23
2.5.5	Brilho solar	23
2.5.6	Nebulosidade	23
2.5.7	Ventos	23
2.6	NATAL	23
2.6.1	Clima	24
2.6.2	Vegetação e relevo	24
2.7	MANAUS	25
2.8	SÃO PAULO	26
2.9	TUCURUÍ	27
2.10	PORTO ALEGRE	28
2.10.1	Extremos climáticos de tempo severo	29
3	OBJETIVOS	30
4	MATERIAIS E MÉTODOS	31
5	ANÁLISES E DISCUSOES	32
5.1	BELÉM	32
5.2	NATAL	33
5.3	MANAUS	35
5.4	SÃO PAULO	36
5.5	TUCURUÍ	38
5.6	PORTO ALEGRE	39
6	CONCLUSÕES	41

REFERÊNCIAS 42

1 INTRODUÇÃO

A estimativa de precipitação tem sido um desafio para os meteorologistas. A importância da precipitação deve-se as transformações que ela causa no meio-ambiente. A quantidade e a distribuição de chuva modificam a umidade do solo, altera o nível dos rios e lagos. As medidas de precipitação são de grande utilidade como entrada para modelos do clima da Terra, umidade do solo, além da avaliação do ciclo hidrológico global que depende da chuva sobre os oceanos e de grande utilidade na agricultura.

A estimativa de precipitação a partir de dados transmitidos por satélites, em função da excelente cobertura espacial e temporal, pode apresentar-se como uma opção aos métodos mais convencionais, dado o alto custo para a instalação e manutenção de estações de superfície e de radares meteorológicos. Monitorar a atmosfera por meio de sensores remotos possibilita a obtenção de informações contínuas do país, com resolução espacial de poucos quilômetros e temporal da ordem de minutos. Entretanto, as medidas obtidas por sensores remotos são indiretas e, por essa razão, é necessário o desenvolvimento de modelos que relacionem as características disponíveis nos canais espectrais dos satélites a parâmetros associados a essas informações.

Estudos para mapear e detectar a precipitação tem se multiplicado na busca de modelos cada vez mais aperfeiçoados. Análises da área das nuvens (STOUT; MARTIN; SIKDAR, 1979) e aplicação de taxas de precipitação associadas a temperatura do topo das nuvens (ARKIN, 1979; NEGRI; ADLER; WETZEL, 1984; ADLER; NEGRI, 1988) operando uma grade de pontos medem a variação temporal da nebulosidade. Adler (1991) criaram um modelo simples utilizando imagens de satélite.

Diversas metodologias para estimativa de precipitação através de imagens de satélite vêm sendo propostas. Estas metodologias se baseiam em imagens feitas por vários satélites, em diversas bandas do espectro eletromagnético. Destacam-se os satélites da série GOES.

As técnicas de estimativa de precipitação por meio de imagens de satélite utilizam a radiação que é emitida ou refletida pela nuvem. O brilho da nuvem, ou equivalente temperatura, podem ser relacionados com a intensidade da precipitação. Entretanto, a relação entre a temperatura do topo de nuvem e a taxa de precipitação variam com o tipo desta última, com a estação do ano e com o local e condições atmosféricas, o que torna difícil encontrar uma relação significativa entre a precipitação e a espessura óptica e ou a temperatura de topo de nuvens.

Para se fazer um estudo mais completo, neste trabalho irá se falar um pouco sobre a características climatológicas de cada cidade durante um período de nove meses aproximadamente. Não se estendendo muito pra os eventos atmosféricos que ocorreram durante esse período, pois a priorização deste trabalho está em estimar a precipitação e fazer comparações qualitativas de precipitação nessas cidades. Escolheu aleatoriamente pelo menos uma cidade de cada região, para se ter uma noção do perfil da precipitação em todo o país. A proposta do presente trabalho é que através das comparações que serão feitas se chegar a um produto final, e tentar mostrar qual o método mais eficaz de acordo com a localidade.

2 REVISÃO DE LITERATURA.

2.1 A ESTIMATIVA DE PRECIPITAÇÃO ATRAVÉS DE SATÉLITES

As imagens de satélite têm se constituído numa ferramenta para obtenção das mais diversas componentes do ciclo hidrológico. Mesmo antes do primeiro satélite meteorológico, o TIROS-1 (Television and InfraRed Observation Satellite) fornecer as primeiras imagens de topos de nuvens, em abril de 1960, já se supunha que a ocorrência e mesmo a intensidade de eventos chuvosos poderia ser inferida a partir da resposta espectral de conjuntos de nuvens (PETTY, 1995).

O princípio da estimativa de precipitação de chuva através de sensoriamento em bandas no visível é o fato de que o brilho da luz do sol refletida por nuvens pode ser uma indicação razoável de sua espessura e conseqüentemente do volume de água em seu interior (PETTY, op.cit.).

Da mesma forma, temperaturas de topo de nuvem baixas estão associadas a um maior desenvolvimento vertical de uma nuvem e conseqüentemente a uma taxa de precipitação maior. A temperatura do topo de nuvem pode ser obtida a partir de medições de refletâncias em bandas de infravermelho.

Porém, rapidamente se tornou evidente o fato de que nem toda a nuvem brilhante e nem toda nuvem com topo frio (ou seja, com refletâncias baixa no IR) está efetivamente produzindo precipitação.

As nuvens cobrem aproximadamente 50% do planeta e são os mais importantes reguladores do balanço de radiação do sistema terra-atmosfera (LIOU, 1980). O Atlas Internacional de Nuvens, produzido pela Organização Meteorológica Mundial, define nuvem como sendo um conjunto visível de partículas minúsculas de água líquida ou gelo, ou de ambos, em suspensão na atmosfera. As propriedades ópticas como refletividade e emissividade dependem tanto das características das nuvens quanto do comprimento de onda da radiação observada pelo satélite.

A presença de nuvens indica algum tipo de umidade e ou algum mecanismo de resfriamento. A causa mais comum da formação de nuvens é quando há um decréscimo vertical da temperatura suficientemente grande para o que o perfil de temperatura do ar seja condicionalmente instável, com o ar úmido em baixos níveis. Nessa camada da atmosfera, uma parcela de ar em ascensão torna-se saturada e resfria-se menos rapidamente do que se não estivesse saturada, porque a liberação de calor latente de condensação compensa

parcialmente o resfriamento por expansão adiabática. Uma parcela de ar, mais aquecida do que a atmosfera, em um determinado nível, por ser mais leve ou menos densa, tende a ser impulsionada para níveis mais altos caracterizando o mecanismo da convecção (VIANELLO; ALVES, 1991).

Segundo Motta (2004), nuvem é a expressão mais importante dos fenômenos físicos que se produzem na camada gasosa que envolve o nosso planeta, cuja presença lhes confere a propriedade de testemunhas do tempo presente. Sua forma, seu maior ou menor desenvolvimento, sua altura, etc., são indicativos do estado da atmosfera e, apenas pela observação de sua constituição e classificação, é possível obter-se uma primeira avaliação de grau de estabilidade e agitação do ar, imprescindíveis a um bom prognóstico. As nuvens são compostas de gotículas de água que se formam a partir do vapor de água presente em correntes de ar que se elevam na atmosfera.

Todas as outras nuvens são fruto de variações ou combinações destas três formas básicas. um conjunto de minúsculas partículas de água ou de gelo, ou de ambas simultaneamente, que se encontram em suspensão na atmosfera. São minúsculas gotas e cristais provenientes da condensação e congelamento do vapor d'água. Para que sua gênese se torne possível, é preciso chegar a um nível de condensação desse vapor, o que se consegue com a queda da temperatura ou com a diminuição brusca da pressão atmosférica, o que pressupõe um esfriamento, quando a umidade relativa aumenta até 100%. Uma segunda condição, anterior à formação das gotículas, é a existência de núcleos de condensação que são corpúsculos de natureza mineral ou orgânica, em torno dos quais se realiza a passagem do vapor d'água para água líquida sob a forma de gotas. São fontes desses núcleos a poeira originada pela erosão orgânica, os fumos das combustões, naturais ou industriais, o pólen e, em situação destacável, os cristais de sal marinho existentes em todos os níveis da atmosfera, até mesmo em massas de ar situadas a enormes distâncias do mar.

O aspecto visível das nuvens depende da natureza, dimensões, número e distribuição espacial das gotas ou dos cristais de gelo, da luz incidente e refletida, bem como, a altura da base da nuvem. Conjuntamente, todas lhes conferem um alto índice de variabilidade morfológica, que nos permite definir uma classificação de formas e características peculiares que podem ser observadas em qualquer parte do globo.

As nuvens são agregados visíveis de gotículas minúsculas de água ou diminutos cristais de gelo. As nuvens são classificadas de acordo com dois critérios distintos (LUTGENS, TARBUCK, 1989) a aparência e a altitude.

Em relação a altitude, as nuvens podem ser classificadas em três tipos principais: Daí ter sido feita uma classificação internacional que agrupa as nuvens em três níveis diferentes, de acordo com a altura de suas bases, com sub-divisões:

Nuvens Altas: Cirrus, Cirrostratus e Cirrocumulos- acima de 6.000m. Por causa da sua baixa temperatura e baixo teor de vapor d'água, são nuvens brancas e finas, formadas principalmente por cristais de gelo;

Nuvens Médias: Altocumulus e Altostratus-entre 2.000m e 6.000m;

Nuvens Baixas: Cumulus, Cumulonimbos, Stratus, Stratocumulus e Nimbostratus com altitude inferior a 2.000m. Pelo fato de haver muito mais vapor em baixas altitudes, as nuvens baixas e médias são mais densas e escuras.

Esses limites não são rígidos, variando conforme a latitude e a época do ano.

Com relação à aparência, três tipos básicos de nuvens são reconhecidos:

Cirrus: são nuvens de grande altitude, de pequena espessura e cor branca. São desagregadas ou separadas, formando uma espécie de fibras alongadas, de aspecto frágil;

Stratus: são extensas que cobrem todo o céu. Embora possa haver interrupções, não se distinguem unidades individuais.

Cumulus: são massas globulares individuais, com a base plana e o aspecto de torres ou cúpulas;

Algumas nuvens não se encaixam em nenhuma das três categorias listadas sob o segundo critério. Estas têm sua base na faixa das nuvens baixas e se estendem verticalmente para além dos limites de nuvens médias ou altas. Assim, passam a serem denominadas nuvens de desenvolvimento vertical. São nuvens ligadas umas às outras e associadas a instabilidades no ar. Nuvens tipo cumulus, por exemplo, apesar de estarem normalmente ligadas a tempo bom, podem, sob determinadas circunstâncias, crescer dramaticamente. Uma vez que o movimento ascendente é iniciado, ocorre forte aceleração, e nuvens com grande extensão vertical se formam. A continuidade desse processo acaba por gerar cumulonimbus, nuvens precipitantes de grande extensão vertical.

As camadas superiores das nuvens de formação vertical, tipo cumulonimbus ou altostratus, com temperatura interior bem abaixo do ponto de congelamento, são constituídas principalmente por cristais de gelo. Como a temperatura é mais elevada nas camadas intermediárias, os cristais de gelo que descem e sobem, circulando dentro da nuvem, colidem com gotículas de gelo resfriadas. Ocorrendo aderência aos cristais de gelo, são formados cristais ainda maiores, pesados o suficiente para cair através das correntes ascendentes. Durante a queda os cristais colidem com partículas da nuvem e se avolumam mais. Se a

temperatura do ar próximo ao solo estiver abaixo do ponto de congelamento os cristais caem como flocos de neve. Se a temperatura do ar estiver quente eles assumem a forma de chuva. Havendo correntes muito intensas na circulação interior da nuvem, os cristais de gelo poderão subir e descer várias vezes. Na medida em que circulam, subindo e descendo em grande velocidade, eles continuam a ganhar volume, até seu peso se tornar suficiente para que se precipitem sob forma de granizo, isto é, pequenas pedras de gelo.

A precipitação é uma das mais importantes variáveis climáticas na determinação de balanços hídricos, uma vez que ela é a fonte predominante de água da parcela terrestre do ciclo hidrológico (FEKETE et al. 2003). A física de formação das chuvas e sua classificação, apesar de serem relativamente bem conhecidas, são apresentadas a seguir, pois seu conhecimento é importante para a correta interpretação de alguns resultados deste trabalho.

Todos os tipos de nuvens são formados por condensação de vapor d'água presente no ar. Para que isso ocorra, primeiramente o ar deve estar saturado. Isto pode se dar por meio de diminuição da temperatura até abaixo do ponto de orvalho, o que mais comumente ocorre, ou por adição de vapor d'água ao ar. Em segundo lugar, deve existir uma superfície sobre a qual o vapor pode condensar. Essas superfícies, tais como partículas de poeira, sal e material fino em suspensão, existem em profusão na atmosfera e são denominados núcleos de condensação.

Iniciada a condensação, a gotícula cresce a uma taxa relativamente alta, porém o crescimento rapidamente é interrompido devido ao fato de que o vapor é consumido pelas gotículas concorrentes. O resultado é a formação de uma nuvem constituída de bilhões de diminutas gotas de água, tão pequenas que permanecem suspensas no ar (o diâmetro típico é inferior a 20 μm). Mesmo em ar muito úmido, o crescimento dessas gotículas por condensação adicional é lento. A formação de um pingo de chuva requer a aglutinação cerca de um milhão de gotículas como essas. A aglutinação pode se dar através de dois processos: o processo de Bergeron e o processo de colisão-coalescência. De fato, estimativas no infravermelho e no visível podem ser feitas apenas localmente, fornecendo maus resultados quando transpostas para outras regiões (WILHEIT, 1986, PETTY, 1995), sendo essa provavelmente a sua principal limitação.

Um divisor de águas na estimativa de precipitação por satélite foi o emprego de sensores de microondas que respondem de forma razoavelmente física à presença de água e ou cristais de gelo nas nuvens. De forma geral, as estimativas baseadas em imagens de microondas são melhores do que as obtidas com base em imagens no infravermelho (RAMAGE et al., 2003).

Em países industrializados, poucos trabalhos que procuravam estimar chuva com imagens de satélite foram encontrados. Isto se deve provavelmente ao fato de que estes países possuem maior número de radares meteorológicos, os quais fornecem melhores representações da distribuição espacial das chuvas. Porém, o mesmo não vale para países em desenvolvimento, que em geral possuem esparsa rede de pluviômetros e dificuldades de acesso aos dados. Não parece ser por acaso, portanto, o número razoável de trabalhos encontrados que estimam precipitação via satélite sobre países da África.

Em vista disso e também do fato de que as séries disponíveis estimadas a partir deste satélite são mais longas, usar-se-ão exclusivamente dados de precipitação estimados pelo satélite GOES

2.2 SATÉLITES METEOROLÓGICOS

(VICENTE, 1996). A maioria dos satélites meteorológicos está em órbitas geoestacionária e polar heliosíncrona. Os satélites geoestacionários mais importantes para estimativa de precipitação para as Américas são os americanos da série GOES (Geosynchronous Operational Environmental Satellite) e os europeus da série Meteosat (Meteorological Satellite). Todos carregam a bordo sensores em bandas situadas nas regiões espectrais do visível (VIS) e do infravermelho (IR), com resolução espacial na superfície que varia entre 1 e 11 km. Entre os satélites em órbita polar encontram-se: os operacionais da série NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), portadores do AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer); os do DMSP (Defense Meteorological Satellite Program), que em 1987 incluiu em sua carga útil o SSM/I (Special Sensor Microwave Imager); e, o TRMM (Tropical Rain Measurement Mission), lançado em novembro de 1997, cujo instrumento principal é o primeiro radar de precipitação colocado em órbita, o qual opera na frequência de 13,8 GHz, na região espectral das microondas (MW).

O uso de dados obtidos por satélites de órbita polar ou geoestacionária apresenta vantagens e desvantagens. A escolha depende do tipo de problema e da técnica a ser utilizada para a estimativa de precipitação. Os satélites geoestacionários distinguem-se por estarem localizados em uma longitude fixa em órbita circular com velocidade angular igual a da Terra, a cerca de 36000 km de altura. Por coletarem dados com alta frequência temporal (por exemplo, a cada 15 minutos), sobre uma longitude fixa centrada no equador terrestre, permitem uma análise bastante completa e contínua do ciclo de evolução dos sistemas de nuvens em basicamente um quarto do globo. Além disto, o canal IR possibilita a observação

do topo de nuvens dia e noite, contribuindo para o entendimento do impacto do ciclo diurno da precipitação em médias climáticas. Por estarem localizados a uma grande distância da superfície, os satélites geoestacionários carregam a bordo sensores de alta resolução angular e requerem alto custo de lançamento e manutenção, sendo que ainda não são viáveis para o embarque de instrumentos que operam na região espectral das microondas. Por sua vez, os satélites de órbita polar permitem observação global do planeta apenas duas vezes por dia, aproximadamente, dependendo da largura da órbita. A heliosincronicidade das órbitas dos satélites polares, como os da série NOAA e os do DMSP, permitem a observação pelo VIS de sistemas de nuvens no mesmo horário solar e, portanto, sob as mesmas condições de iluminação.

Todavia, perde-se a oportunidade de se observar variações diurnas de precipitação, se for utilizado somente um satélite deste tipo. O satélite TRMM, por sua vez, está em uma órbita equatorial com inclinação de 35°, cuja precessão permite o estudo da variação do ciclo diurno de precipitação em regiões tropicais e sub-tropicais. (VICENTE, A.G).

2.3 TÉCNICAS PARA A ESTIMATIVA DE PRECIPITAÇÃO

Este trabalho se fundamenta na técnica GPI (GOES Precipitation Index), descrita por ARKIN (1979), é uma das mais simples porque se fundamenta na correlação entre dados de radar e áreas de cobertura de nuvens obtidas durante o experimento GATE (GARP Atlantic Tropical Experiment). O GPI tem sido usado extensivamente para estudos climáticos e consiste em associar taxas de precipitação de 3,0 mm/h a elementos de imagem com temperaturas abaixo de 235 K em subáreas de 2,5° por 2,5°. Essa técnica foi determinada a partir de diversas comparações entre a precipitação média em uma determinada área e a fração de cobertura de nuvens do canal infravermelho. Isto é, $GPI = 3F_c t$, em que GPI está em milímetros, F_c é a fração de nebulosidade.

A relação entre a ocorrência e a intensidade de chuva versus a temperatura radiométrica e o brilho do topo de nuvens é a base da maioria das técnicas para a estimativa de precipitação que usam observações feitas por satélites nas bandas do VIS e do IR. Entretanto, nem toda nuvem com alto brilho e baixa temperatura de topo produz chuva e nem toda chuva é produzida por nuvens brilhantes e frias. A ocorrência de chuva, ou não, depende de muitos fatores ambientais, com grandes variações de caso para caso (WYLIE, 1979). As técnicas mais simples usam correlações, lineares ou não lineares, entre a precipitação e a temperatura do topo das nuvens e associam a cada elemento de imagem IR um valor para a taxa de precipitação. Avanços recentes resultam da incorporação de critérios adicionais, tais

como área de extensão, variações espaço-temporal de temperatura de topo da nuvem, e informações sobre a estrutura dos sistemas de precipitação fornecidas por modelos numéricos de nuvem, entre outros.

Um dos trabalhos pioneiros desenvolvido por Follansbee (1973) propõe a estimativa de taxas diárias de chuva usando médias ponderadas, cujos pesos refletem as áreas de cobertura de vários tipos de nuvens (cúmulos, cumulonimbus e nuvens estratiformes). Adler e Negri (1988) conceberam a CST (Convective Stratiform Technique), que relaciona a temperatura do topo da nuvem com a área de cobertura da nuvem e com taxas de precipitação, e que discrimina chuvas convectivas das estratiformes por meio de estatísticas feitas com base em observações obtidas por radar. Griffith et al. (1978), e Vicente et al. (1996) desenvolveram técnicas que fazem uso de informações sobre o ciclo da evolução de sistemas de nuvens. Vale observar que versões automatizadas das técnicas CS (ou CST), NAW (baseada no trabalho de Griffith e colaboradores) e Arkin (1979) se popularizaram no Brasil a partir de 1989, quando a segunda autora e colaboradores as empregaram numa iniciativa pioneira (MORAES et al., 1989).

Uma das limitações básicas no uso das imagens VIS e IR são o fato de serem as nuvens opacas nestas bandas do espectro eletromagnético devido aos curtos comprimentos de onda. O uso destes comprimentos de onda para a estimativa de precipitação é limitado aos métodos estatísticos e empíricos, que relacionam de forma indireta, quantidade de chuva e área de cobertura de nuvem com temperatura e intensidade de brilho. Contudo, na região espectral das MW o comprimento de onda é relativamente longo, o que faz com que a interação da radiação com nuvens seja fraca e a interação com gotas de chuva seja forte. Isto favorece a eliminação da tendenciosidade característica dos métodos que usam imagens VIS e ou IR.

O emprego de instrumentos que operam em MW (microondas) está limitado aos satélites de órbita polar com baixas resoluções temporal (duas vezes ao dia) e espacial (25km, em média). Existe, porém, a possibilidade de se colocar um sensor de MW de alta frequência (118 GHz - 215 GHz) em um satélite geoestacionário. Savage et al. (1994) argumentam que, sob o ponto de vista econômico e tecnológico, uma antena de 3 metros de abertura montada em um satélite operacional de comunicação seria capaz de gerar imagens em MW a cada 3 horas com uma resolução de 20 km. Por serem altamente indiretas, desenvolvidas e calibradas para regiões e estações específicas do ano, muitas vezes diferentes daquelas em que são aplicadas, as técnicas de estimativa de precipitação que usam imagens IR apresentam, em geral, grandes tendenciosidades. Uma vez que as técnicas que utilizam observações em MW

admitem conceitos mais diretos entre as taxas de chuva e a microfísica das nuvens, a combinação entre imagens IR e MW tem sido explorada por vários autores nos últimos anos.

O conceito básico consiste em admitir as estimativas calculadas utilizando observações em MW como corretas e usá-las na calibração de uma outra técnica que usa apenas imagens IR. Exemplos de tais metodologias para uso climático são apresentados por Adler et al. (1993), Barrett et al. (1992) e Jobard et al. (1992). Vicente e Anderson (1994) propuseram um esquema que permite calibração constante de estimativas IR e taxas de precipitação obtidas por meio de relações multilíneas entre IR e MW calculadas duas vezes ao dia. O método tem uso potencial no estudo de fenômenos sinóticos e de mesoescala. Outro conjunto de técnicas para estimativa de precipitação tem por base a combinação de diversos canais em satélites geoestacionários (11, 12 e 3,9 mm) para a discriminação de nuvens cirros e cúmulos baixos que não produzem chuva (INOUE, 1987; VICENTE, 1996; KURINO, 1997).

2.4 CLIMA

O registro histórico e a descrição da média diária e sazonal de eventos climáticos que ajudam a descrever uma região. As estatísticas são extraídas de várias décadas de observação. A palavra é derivada do grego, clima, significando inclinação e refletindo a importância que os estudos da antiguidade atribuíram à influência do Sol.

O clima é um conjunto de fenômenos meteorológicos que definem a atmosfera de um determinado lugar e os elementos que o caracterizam podem afetar o homem tanto diretamente quanto em relação às atividades que desempenha.

Em consequência de fatores variados, a diversidade climática no território brasileiro é muito grande.

Dentre eles, destaca-se a fisionomia geográfica, a extensão territorial, o relevo e a dinâmica das massas de ar. Este último fator é de suma importância porque atua diretamente tanto na temperatura quanto na pluviosidade, provocando as diferenciações climáticas para cada uma de suas regiões, o que são essenciais para o estudo e a solução de uma edificação ainda na fase de projeto, de modo a garantir uma melhor identificação do edifício com o lugar, considerando o conforto térmico dos indivíduos e a redução do consumo de energia.

CLIMATOLOGIA - É o estudo do clima. Inclui dados climáticos, a análise das causas das diferenças no clima e a aplicação de dados climáticos na solução de objetivos específicos ou problemas operacionais.

2.5 BELÉM (PA)

O estado do Pará é caracterizado por apresentar altos índices de precipitação devido à sua localização na zona equatorial do globo. O clima da região é influenciado por sistemas atmosféricos de meso (como Linhas de Instabilidade) e grande escala (Zona de Convergência Intertropical - ZCIT), que podem provocar grande quantidade de chuva. As Linhas de Instabilidade se formam na parte costeira do estado, devido à circulação de brisa marítima e se dirigem para o interior do continente como linhas de nuvens convectivas, provocando chuvas principalmente durante a época menos chuvosa na região (COHEN et al, 1995). Durante o período chuvoso, a precipitação é provocada pela ZCIT, que resulta da convergência dos ventos alísios de nordeste e sudeste e é caracterizada por precipitações intensas e ventos fracos (VIANELLO; ALVES, 1991).

A cidade de Belém (PA), por situar-se na zona equatorial (1°27' S e 48° 27'W) é caracterizada por um clima quente e úmido, onde ocorre uma grande quantidade de precipitação que estão relacionadas não só com as condições locais dos movimentos convectivos, mas também, pela influência de sistemas de meso e grande escala que penetram na região, como El Nino, ZCIT e frentes, que agem, ora acelerando os sistemas locais, ora enfraquecendo-os, e com isso diminuindo a quantidade de precipitação (OLIVEIRA, 1994; MOTA; SOUZA, 1996; SOUZA; OLIVERIA, 1997).

Segundo Lola, em relação às características de relevo, Belém apresenta uma topografia praticamente plana, sendo que aproximadamente 60% de suas terras encontram-se abaixo da cota de 4,0 metros acima do nível do mar. Na parte de terra firme, predomina o latossolo amarelo, com algumas manchas de podzois hidromórficos, areias e concrecionário laterítico. Certamente, na área urbana tais características originais encontram-se, atualmente, bastante modificadas pelo processo ocupacional urbano. Até meados dos anos sessenta, o crescimento da cidade, de um modo geral, se restringiu à área Sudoeste de seu espaço físico territorial, caracterizado por terras firmes.

Nesse estudo o autor ainda fala sobre as principais características da região que são:

2.5.2 Temperatura do ar

A variação diária da temperatura do ar está diretamente relacionada com a absorção da radiação solar pela superfície. Dentre os fatores responsáveis pelas variações térmicas de um local, merecem destaque, dentre outros: o tipo de superfície, a cor, o conteúdo de umidade, a inclinação, a latitude, o dia do ano e a hora do dia.

Por estar localizada na Região Equatorial, a área de estudo apresenta uma pequena variabilidade anual na sua temperatura média, sendo que o máximo valor ocorre no mês de outubro e o mínimo no mês de março, com 27,9°C e 25,7°C, respectivamente. Como observa-se, a amplitude térmica média anual é de apenas 2,2°C. Em termo de valor médio anual, o seu valor é de 26,5°C . As menores temperaturas médias são verificadas nos meses de fevereiro, março e abril, que correspondem aos meses de maior nebulosidade e precipitação pluviométrica, o que contribui para o menor aquecimento da superfície.

2.5.3 Precipitação pluviométrica

Pela sua localização Equatorial, onde existe grande disponibilidade de umidade e energia durante todo o ano, o total de precipitação pluviométrica anual é bastante elevado, com um valor médio da ordem de 2.893 mm.

Devido à pequena variabilidade anual da temperatura média do ar, as variações sazonais nessa Região são classificadas em função da variabilidade anual das precipitações pluviométricas. Sendo assim, costuma-se dividir o ano em duas estações distintas: uma chuvosa, que se estende de dezembro até maio, e outra estação menos chuvosa, que vai de junho a novembro. Os meses mais chuvosos e menos chuvosos são março e novembro, com uma precipitação pluviométrica média de 436 mm e 112 mm, respectivamente.

Quanto à distribuição diária das precipitações pluviométricas, esta não apresenta um padrão bem definido, embora exista certa tendência de, na época menos chuvosa, estas ocorrerem no período das 16h00min horas às 06h00min horas.

2.5.4 Umidade relativa do ar

Por se encontrar em uma faixa de baixas pressões atmosféricas, onde predominam os movimentos ascendentes das massas de ar atmosféricas, esta região apresenta um valor médio anual elevado de umidade relativa do ar, estando esta distribuição diretamente relacionada com a oscilação latitudinal da ZCIT, onde os maiores valores coincidem com a passagem deste sistema sobre a Região. Os maiores valores ocorrem nos meses de fevereiro, março e abril, com uma média de 91%, diminuindo em seguida até atingir os valores mínimos, da ordem de 83%, nos meses de outubro e novembro. A oscilação média anual é relativamente pequena, estando em torno de 8 %, enquanto que o valor médio anual é de aproximadamente 84%.

2.5.5 Evaporação

Devido a grande disponibilidade de energia, proporcionado pela pequena variação anual da inclinação dos raios solares na Região, a evaporação média anual é elevada e da ordem de 771 mm. Entretanto, a oscilação média mensal é bem acentuada, com os menores valores ocorrendo no mês de fevereiro, com média de 38,5mm, quando predomina grande nebulosidade, inibindo o aquecimento da superfície, até um máximo de 83 mm, no mês de novembro, onde a pequena porcentagem de cobertura do céu proporciona a ocorrência de elevadas temperaturas.

2.5.6 Brilho solar

A exemplo da evaporação total, o brilho solar também sofre grandes variações médias mensais nessa Região, oscilando entre um mínimo de 99 horas para o mês de fevereiro, quando predomina grande nebulosidade, até um valor máximo de 256 horas, para o mês de agosto. Os meses de fevereiro, março e abril contribuem com apenas 14 % do total de brilho solar anual. Essa grande variação anual está associada diretamente com a variação média anual da nebulosidade, provocada, principalmente, pelo deslocamento anual da ZCIT.

2.5.7 Nebulosidade

Devido às características de elevada umidade do ar associada com a grande disponibilidade de energia solar anual, a nebulosidade média mensal é elevada durante grande parte do ano, sendo que em nenhum dos meses o seu valor médio é inferior a 5/10 da abobada celeste. Nos meses mais chuvosos a nebulosidade média chega a alcançar valores da ordem de 8/10. Em termos anuais, o seu valor médio é de 6/10, valor este considerado bastante elevado.

2.5.8 Ventos

Localizada na região de confluência dos ventos Alísios, a cidade de Belém apresenta direção predominante dos ventos de Norte e Nordeste, com baixas velocidades médias anuais, oscilando entre 1,0 m/s e 2,0 m/s, sendo que os menores valores ocorrem, geralmente, na estação chuvosa.

2.6 NATAL (RN)

Natal é um município brasileiro, capital do estado do Rio Grande do Norte, pertencente à Região Metropolitana de Natal, à microrregião de Natal, à mesorregião do Leste

Potiguar e ao Polo Costa das Dunas.. É conhecida como a "Cidade do Sol" ou "Noiva do Sol" por ser uma das localidades com o maior número de dias de sol no Brasil, chegando a aproximadamente trezentos. É a capital brasileira mais próxima do continente europeu, estando situada numa espécie de triângulo natural com um vértice para o norte, que é banhado de um lado pelo Rio Potengi e de outro pelo Oceano Atlântico, recebendo ventos constantes. Está localizada no litoral do estado, numa região essencialmente cercada de dunas, com uma altitude média de trinta e três metros acima do nível do mar.

2.6.1 Clima

Segundo Motta (2004) a cidade do Natal está situada num dos pontos mais orientais na costa do Atlântico Sul, entre o mar e a margem direita do Rio Potengi. O clima é quente e árido, exceto durante a estação chuvosa, quando torna-se quente e úmido. Permanentemente, sopra uma brisa vinda do oceano, sempre de sudeste, dada a proximidade do Equador, com pequenas variações, e é predominante em toda a região nordeste do Brasil. Os ventos mais fortes são característicos de agosto e setembro, sendo abril a época dos mais fracos. A temperatura média é de 26° C A estação chuvosa é o resultado das chamadas ondas de Leste e ocorrem entre os meses de abril a julho, com predominância em junho. São chuvas rápidas e moderadas, com duração de até 48 horas, com 18 a 24 horas de intervalos.

A temperatura média em torno de 28 °C. Devido a sua proximidade com a Linha do Equador, alguns dias na capital potiguar chegam a ter 15 horas de sol. Durante todo o ano não se percebem mudanças drásticas no clima, tendo como resultado um inverno quente, marcado apenas por chuvas entre os meses de abril e setembro. Porém, devido a sua localização privilegiada no continente, Natal recebe ventos constantes, o que torna o clima mais agradável e que, segundo um estudo feito pela NASA, faz com que a cidade possua o ar mais puro das Américas.

Segundo meteorologistas, é uma das cidades mais agradáveis, em questão de temperatura, para se viver em todo o Brasil. A menor temperatura registrada foi de 17,2 °C no dia 3 de junho de 1973 e a maior foi de 34,6 °C no dia 8 de janeiro de 1989.

2.3.2 Vegetação e relevo

Sua vegetação é composta por mangues, vegetações litorâneas rasteiras e fragmentos de Mata Atlântica na orla marítima, provenientes da floresta conservada nos arredores e dentro do Parque das Dunas.

O ré formado por planícies litorâneas, com depressões e planaltos. Possui milhares de dunas espalhadas por todo o território e com as mais variadas alturas. Grande parcela dessas dunas está concentrada no mais novo parque de Natal, o Parque da Cidade Dom Nivaldo Monte.

Como Natal se encontra a uma latitude próxima de 6° Sul, ou seja, quase no Equador e, particularmente, com a linha litorânea no sentido Norte-Sul, significa que os ventos são alísios, por efeito de arrasto da rotação da Terra e que são predominantes de 120°, isto é, trazem para o continente a brisa fresca do mar, numa situação toda particular: turbilhonando por sobre as dunas localizadas a Leste da Cidade, e que desta forma refrescam melhor a área habitada, porque passam acima das edificações. Na imagem vê-se perfeitamente o trabalho que o vento faz nas dunas arrastando areia sempre na mesma direção. Outra particularidade é que, ao nascer do sol a evaporação sobre o mar começa a formar uma série de nuvens baixas do tipo cumulus e fractocumulus.

Tais nuvens são tangidas para terra pelo vento alísio de sudeste, e passam a formar sombras por sobre a Cidade. Tais sombras aliviam a incidência solar sobre as áreas sombreadas e, conseqüentemente, amenizam a intensidade da insolação.

Outro fator que ameniza o clima de Natal é o fato de que a maior incidência de chuvas do estado está localizada exatamente na área onde Natal está contida. É uma média de 1380 milímetros anuais de precipitação, o que significa que mais dias do ano estão totalmente encobertos por nuvens estratificadas, com chuvas e chuviscos ocasionais, mas com clima realmente agradável.

As formas de precipitação que habitualmente ocorrem em Natal resumem-se a chuvas e chuviscos, de menor ou maior intensidade.

2.7 MANAUS (AM)

Manaus está situada na região Norte do Brasil, na porção mais à leste do Amazonas em uma microrregião denominada Médio Amazonas. A 60° de longitude oeste, 3°08" de latitude sul, distante 1.700 km em linha reta do litoral, com altitude de 92.9 m (HEYER, 1997). Apresenta características de clima equatorial úmido, com temperaturas médias anuais sempre acima de 22°C, chuvas abundantes 2.500 mm, intensa radiação, elevada umidade do ar e baixas velocidades de ventos (NIMER,1979).

Sua extensão territorial tem 11.401km². Com população superior a 1.646.602 habitantes e densidade demográfica de 144,2 hab/km². Manaus está situada na região Norte do Brasil, em uma microrregião denominada Médio Amazonas. A 60° de longitude oeste, 3°08" de latitude sul, distante 1.700 km em linha reta do litoral, com altitude de 92.9m (HEYER, 1997). Apresenta características de clima equatorial úmido, com temperaturas médias anuais sempre acima de 22°C, chuvas abundantes - 2.500mm, intensa radiação, elevada umidade do ar e baixas velocidades de ventos (NIMER,1979).

2.8 SÃO PAULO (SP)

A cidade de São Paulo está localizada junto à bacia do Rio Tietê, tendo as sub-bacias do Rio Pinheiros e do Rio Tamanduateí papéis importantes em sua configuração. São Paulo tem a altitude média de 760 metros. O ponto culminante do município é o Pico do Jaraguá, com 1 135 metros, localizado Parque Estadual do Jaraguá, na Serra da Cantareira, onde se encontra também a segunda maior floresta urbana do mundo, no Parque da Cantareira.

O clima de São Paulo é considerado subtropical (tipo Cfa segundo Köppen), com diminuição de chuvas no inverno e temperatura média anual de 19,25 C, tendo invernos brandos e verões com temperaturas moderadamente altas, aumentadas pelo efeito da poluição e da altíssima concentração de edifícios. O mês mais quente, fevereiro, tem temperatura média de 22,5°C e o mês mais frio, julho, de 16°C, por causa do efeito das ilhas de calor, causado por excessos de prédio, asfalto, concreto e poucas áreas verdes, a cidade de São Paulo tem sofrido com os dias quentes e secos durante o inverno, não raro ultrapassando a marca dos 28°C nos meses de julho e agosto, um estudo realizado pela Secretaria Municipal do Meio Ambiente, com o apoio do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (USP), indica que a diferença de temperatura, entre o centro e as áreas mais afastadas do centro, pode chegar a até 10°C. Em julho de 2008, a precipitação de chuva chegou a 0 mm (a média para o mês de julho é de 44 mm), contudo o governo do estado e a prefeitura iniciaram um projeto, com o intuito de plantar árvores na cidade, a fim de aumentar suas áreas verdes e diminuir os efeitos das ilhas de calor.

Devido à proximidade do mar, a maritimidade é uma constante do clima local, sendo responsável por evitar dias de calor intenso no verão ou de frio intenso no inverno e tornar a cidade úmida. A umidade tem índices considerados aceitáveis durante todo o ano, embora a poluição atinja níveis críticos no inverno, devido ao fenômeno de inversão térmica e pela menor ocorrência de chuvas de maio a setembro.

A precipitação anual média é de 1 486 mm, concentrados principalmente no verão. As estações do ano são relativamente bem definidas: o inverno é ameno e subseco, e o verão, moderadamente quente e chuvoso. Outono e primavera são estações de transição. Geadas ocorrem esporadicamente em regiões mais afastadas do centro, e em invernos rigorosos, em boa parte do município. Também ocorrem freqüentemente nos municípios vizinhos.

A menor temperatura já registrada oficialmente em São Paulo foi de $-2,1^{\circ}\text{C}$, em 2 de agosto de 1955 no Mirante de Santana. Já houve ocorrências pontuais de neve na cidade, a única oficialmente registrada foi em 25 de junho de 1918, quando a temperatura atingiu -2°C . Há registros esporádicos não oficiais que indicam precipitação de neve (na verdade aguaneve) em anos anteriores. A máxima registrada foi de $35,3^{\circ}\text{C}$, no dia 15 de novembro de 1985 também no Mirante de Santana. Existem registros não oficiais de mínima de $-3,9^{\circ}\text{C}$, também em 2 de agosto de 1955 no Horto Florestal, e de máxima de $36,9^{\circ}\text{C}$, no dia 19 de janeiro de 1966 na Barra Funda.

Apesar da maritimidade que evita maiores variações de temperatura, a altitude de São Paulo faz com que nos meses mais quentes, sejam poucas as noites e madrugadas quentes na cidade, sendo que as temperaturas mínimas na cidade raramente são superiores a 23°C em um período de 24 horas. No inverno, porém, o ingresso de fortes massas de ar polar acompanhada de excessiva nebulosidade às vezes fazem com que as temperaturas permaneçam muito baixas mesmo durante a tarde. Tardes com temperaturas máximas variam entre 14°C e 16°C e são comuns até mesmo durante o outono e no início da primavera. Durante o inverno, já houve vários registros de tardes em que a temperatura sequer ultrapassou a marca dos 10°C , como em 15 de agosto de 1999. O dia 8 de agosto de 2004 apresentou temperaturas em torno dos 9°C durante o período considerado como o mais quente do dia, entre 15h e 17h

2.9 TUCURUÍ (PA)

Segundo FISCH et al. (1990) o clima da região de Tucuruí é classificado como tendo duas estações bem definidas e características: um período chuvoso de dezembro a maio, com chuvas intensas de origem convectiva e totais mensais atingindo valores de entre 500-600 mm/mês; e outro período seco de junho a novembro, com uma estiagem pronunciada em agosto-setembro, quando a precipitação é tipicamente da ordem de 30 mm/mês. Por ser uma localidade próxima ao Equador, as temperaturas são altas durante o ano inteiro (médias

mensais superiores a 24 °C). A pluviosidade anual é superior a 2500 mm. O reservatório de Tucuruí situa-se na região do baixo rio Tocantins, no estado do Pará o período de dezembro à março faz parte da época chuvosa na região amazônica. Esse período é de extrema importância na cidade de Tucuruí – PA, localizada no sudeste do estado do Pará nas coordenadas de 03° 46' 04"S e 49° 40' 22"W, já que nesta cidade está localizada a usina hidrelétrica de Tucuruí e o regime de chuvas é de fundamental importância na geração de energia pela usina.

Por isso quanto maior for o regime de chuvas na região maior será a quantidade de água armazenada pelo lago da represa usado para geração de energia elétrica pela usina.

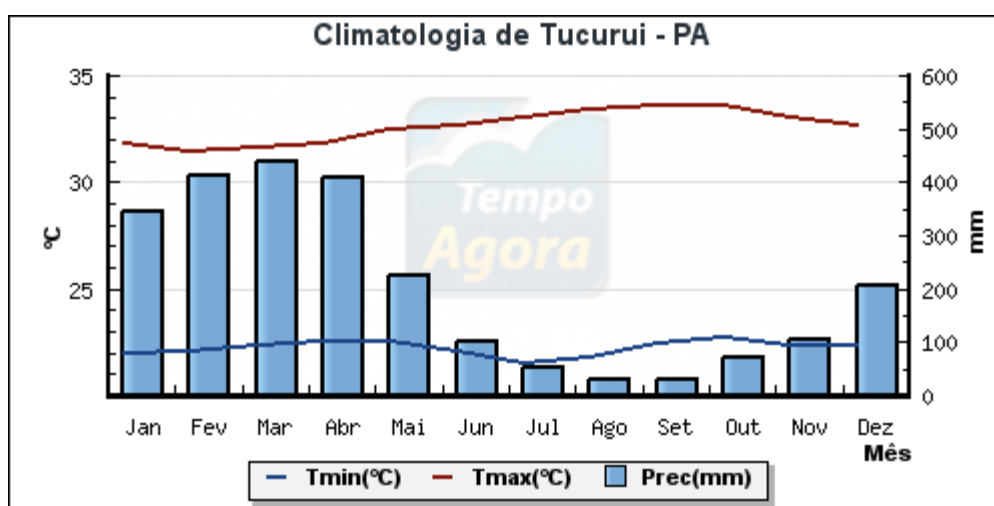


Figura 1-Climatologia de Tucuruí; site: www.tempoagora.com.br

2.10 PORTO ALEGRE (RS)

Porto alegre é uma metrópole localizada ao sul da América Latina. Importante centro econômico e comercial, os porto-alegrenses orgulham-se da sua qualidade de vida. Porto alegre espalha-se a beira de um grande lago, o Guaíba, e sua topografia é marcada pela ondulação de 40 morros. No lago, um emaranhado de ilhas em frente à cidade forma um arquipélago onde um ecossistema ímpar, propicia a presença de uma exuberante vida selvagem. A cidade concentra 28% das espécies de plantas nativas do Rio Grande do Sul, ou seja, 9.288 espécies. Destas, muitas são árvores, resquícios da mata atlântica. A fauna é igualmente diversificada, em especial nas ilhas e nos morros.

O clima de Porto Alegre é classificado como subtropical úmido (Cfa, segundo Köppen), tendo como característica marcante a grande variabilidade. A presença da grande massa de água do lago Guaíba contribui para elevar as taxas de umidade atmosférica e

modificar as condições climáticas locais, com a formação de microclimas. O contínuo processo de cobertura da superfície do terreno por edificações e calçamento também gera microclimas específicos, observando-se até 4°C de variação térmica nas diferentes regiões da cidade. As chuvas são bem distribuídas, com a média anual permanecendo em torno de 1.300mm. Segundo a *BBC Weather* o mês mais chuvoso é setembro, com média de 132 mm, e o mais seco é novembro, com 79 mm. Janeiro e fevereiro têm temperatura média mais alta do ano, chegando a 31°C, e junho e julho a mais baixa, com 9°C. Contudo, outras fontes dão dados diferentes. A umidade relativa do ar média é de 76%. A ocorrência de neve é muito rara, mas as geadas ocorrem algumas vezes durante o ano.

2.10.1 Extremos climáticos e tempo severo

A mínima absoluta histórica foi registrada em 11 de julho de 1918, com -4°C, e a máxima histórica aconteceu em 1º de janeiro de 1943, com 40,7°C. Já foram registrados nos últimos anos vários episódios de precipitação acumulada maior que 50 mm em menos de uma hora em pontos isolados da capital, e em 2005 e 2007 foram registrados acúmulos de cerca de 100 mm em uma hora, também em pontos isolados. Em alguns anos, sob influência do El Niño ficam enchentes na região do Arquipélago, mas cenas como a grande enchente de 1941 não se repetiu depois da retificação do Arroio Dilúvio e da construção do muro de contenção na Avenida Mauá. O furacão Catarina, um fenômeno atípico nesta parte do mundo que em 2004 atingiu com mais força o estado de Santa Catarina, provocou estragos em alguns bairros da cidade, com episódios curtos e localizados de vento intenso, possivelmente pela formação localizada de tornados da massa ciclônica principal. Entretanto, ocorre às vezes a formação de tornados independentes. O episódio mais recente foi na onda de tornados de 2000, quando se registrou um tornado classe F3 em Águas Claras, com vento entre 200 e 300 km/h, e no mesmo dia outro foi observado no bairro de Belém Novo, com ventos de mais de 200 km/h. Em 2008 foi vista uma pequena nuvem em funil sobre o Aeroporto Salgado Filho, mas não chegou a tocar a terra e logo se dissipou.

3 OBJETIVOS

Sendo assim, o objetivo deste trabalho é desenvolver uma metodologia capaz de estimar qualitativamente a precipitação através da comparação entre imagens de satélite GOES GPI e dados de precipitação de estações automáticas num período de aproximadamente nove meses. E em seguida poder constatar qual a localidade se adaptou mais ao método.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Primeiramente coletou-se os dados horários do INMET das estações automáticas de Belém (PA), Tucuruí (PA), Manaus (AM), Natal (RN), Porto Alegre (RS), São Paulo (SP), Cuiabá (MT). Em seguida, dados diários de GPI rodados no programa FORTRAN, para a obtenção dos totais acumulados diários de precipitação para o período de 01 de janeiro a 22 de setembro de 2010.

O método GPI se baseia na seguinte fórmula:

$GPI=3F_c t$, em que GPI está em milímetros, F_c é a fração de nebulosidade e t é o intervalo de tempo entre uma imagem e outra (horas).

Neste trabalho a climatologia de cada cidade não será estudada detalhadamente, pois o objetivo do mesmo não é se fazer um estudo preciso sobre cada cidade, porém se faz necessário conhecer as características básicas para poder entender o comportamento da precipitação, como por exemplo as temperaturas médias e a topografia do local.

O que interessa é extrair tanta informação quanto possível. A filosofia dessa aproximação considera que a melhor forma de chegar tão próximo quanto possível dos dados brutos é tentar refrear o ajuste dos dados ou a interpolação deles na grade, deixando ao modelo de estimativa o dever de fazer esse ajuste e interpolação.

Os dados estão divididos em cidades: abaixo uma tabela explicando melhor o significado das siglas

Tabela 1-Localização das cidades

ICAO	Cidade	Estado	Latitude	Longitude
SBBE	Belém	Pará	-01° 27' 21"	48° 30' 16"
SBPA	Porto Alegre	Rio grande do sul	-30° 01' 59"	51° 13' 48"
SBTU	Tucuruí	Pará	-03° 45' 58"	49° 40' 21"
SBSP	São Paulo	São Paulo	-23° 32' 51'	46° 38' 10"
SBNT	Natal	Rio grande do Norte	-05° 47' 42"	35° 12' 34"
BBMN	Manaus	Amazonas	-03° 06' 07"	60° 01' 30"

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 BELÉM

Para a cidade de Belém observa-se que o perfil da precipitação se manteve semelhante tanto na estação automática quanto no método GPI em praticamente todo o período estudado. Esperava-se esse tipo de comportamento no GPI, uma vez que este método capta a temperatura de brilho da nuvem, e como Belém possui bastante umidade e grande aquecimento da superfície, há muita formação de nuvens convectivas com grande desenvolvimento vertical, facilitando assim a visualização do método. Sem falar que este método de acordo com estudos feitos se adapta mais em regiões tropicais. E como Belém esta na faixa tropical e possui alta umidade e está bem próxima ao equador, a incidência solar é bem marcante nessa região. O que facilita o aquecimento.

Apesar do perfil da precipitação ter se mantido quase o mesmo nos dois casos, se for analisado o valor absoluto da precipitação, percebe-se que há uma superestimativa no GPI. Vale lembrar que este é um método de satélite, e como se sabe, a abrangência da área é bem maior, diferentemente da estação, onde o dado coletado é de um ponto fixo. Portanto é justificável que esses valores absolutos possuam bastante diferença.

Nos gráficos nota-se que os meses de janeiro até o início de junho, a taxa de precipitação foi bastante significativa se comparada com os meses seguintes. De acordo com a literatura o verão é o mês mais chuvoso na cidade, o que acaba por confundir a população que pensa que só porque está chovendo é inverno (sendo que é verão) e vice-versa. Mas segundo os meteorologistas o verão e inverno de Belém são conhecidos como, verão chuvoso e inverso seco-umido ou simplesmente verão e inverno amazônico. É o que se observa nos gráficos, no verão do hemisfério sul percebe-se grande pluviosidade nas duas análises e nos meses seguintes a precipitação começa seu período de estiagem. O mês de março é o período mais chuvoso do ano para Belém, e nos gráfico da estação mostra um máximo neste mês, em contrapartida no GPI o mês de abril foi bem mais significativo apresentando um máximo na precipitação.

BELÉM (PA)

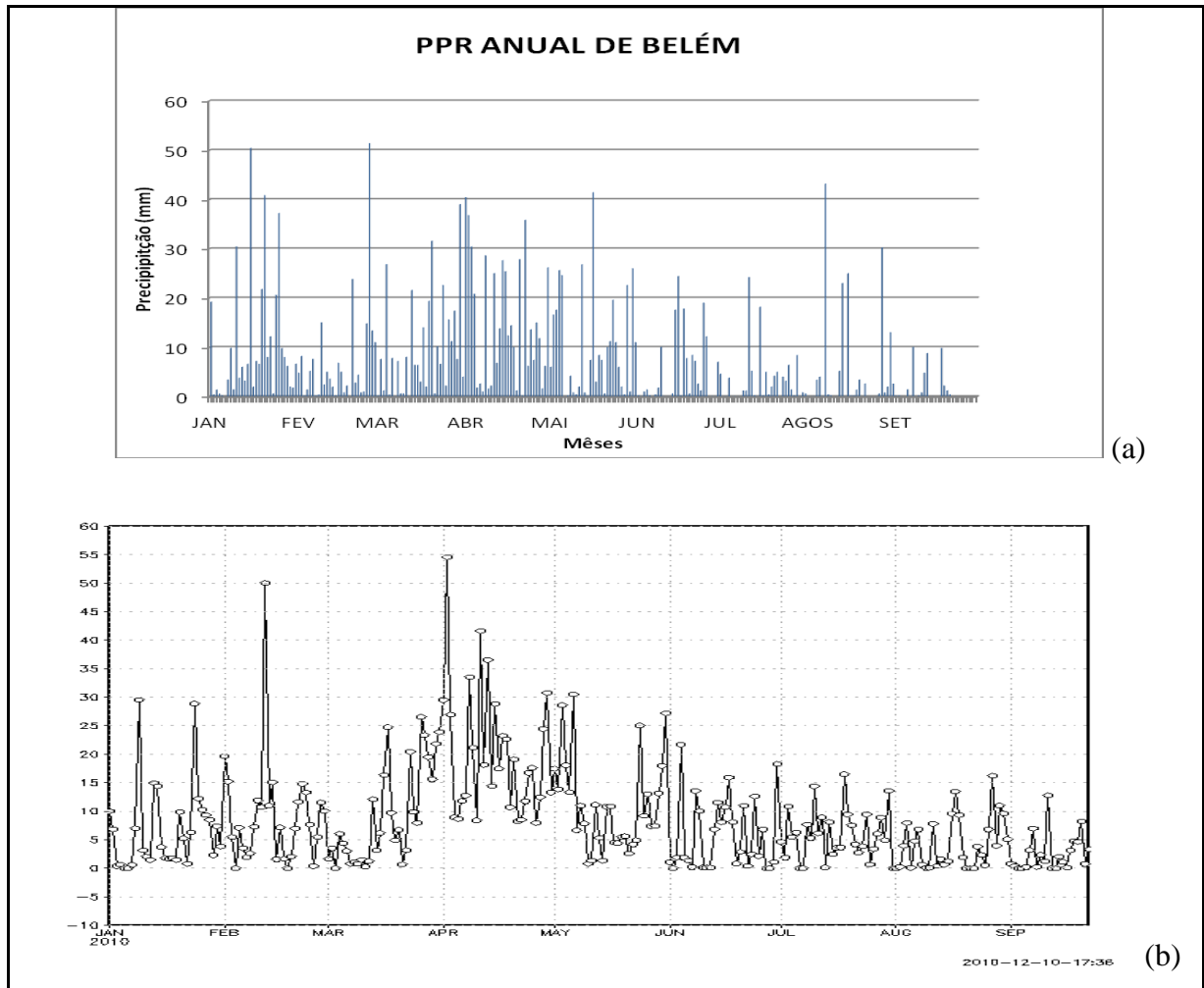


Figura 2-Taxa de precipitação diária para Belém: (a) Dados coletados na estação meteorológica do INMET; (b) Dados estimados pelo método GPI

5.2 NATAL (RN)

Para Natal sabe-se que esta cidade está localizada no litoral do estado do Rio Grande do Norte, numa região essencialmente cercada de dunas, com uma altitude média de trinta e três metros acima do nível do mar. Essa proximidade com o oceano favorece os ventos de brisa vindo de sudeste para a região o que a torna bastante agradável.

Segundo a literatura a estação chuvosa é o resultado das chamadas ondas de Leste e ocorrem entre os meses de abril a julho, com predominância em junho. São chuvas rápidas e moderadas, com duração de até 48 horas, com 18 a 24 horas de intervalos. Devido a proximidade com a linha do equador a temperatura média é em torno de 28°C.

De acordo com o gráfico março foi o mês que houve um menor índice pluviométrico. Já em abril os picos de precipitação começam a aparecer nos dois métodos. Porém nota-se que

a partir do início de abril não houve registro de precipitação na estação automática de Natal, o que é se estranhar, uma vez que esta cidade apresenta taxas de precipitação durante todo o ano.

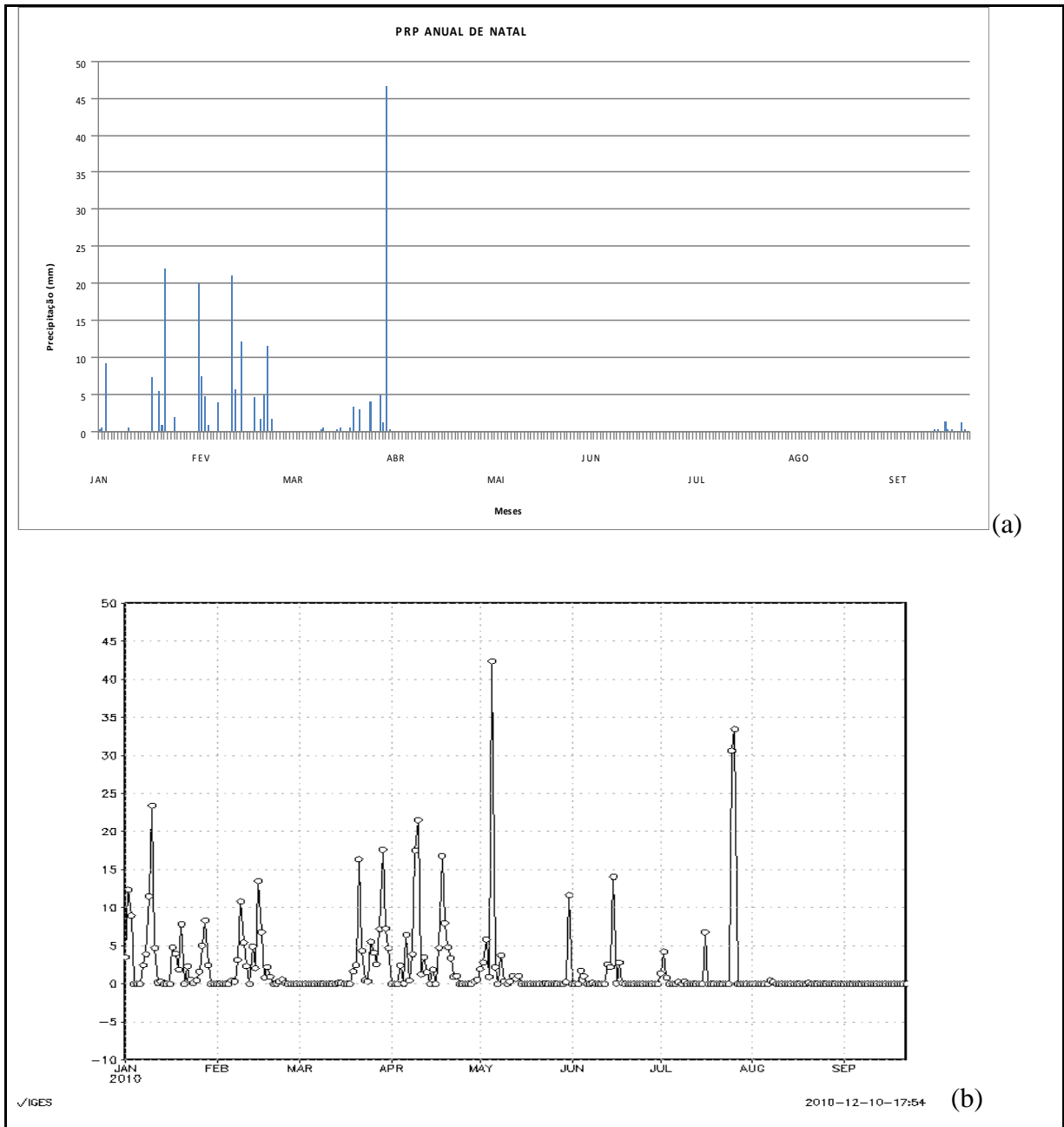


Figura 3-Taxa de precipitação diária para Natal: (a) Dados coletados na estação meteorológica do INMET; (b) Dados estimados pelo método GPI

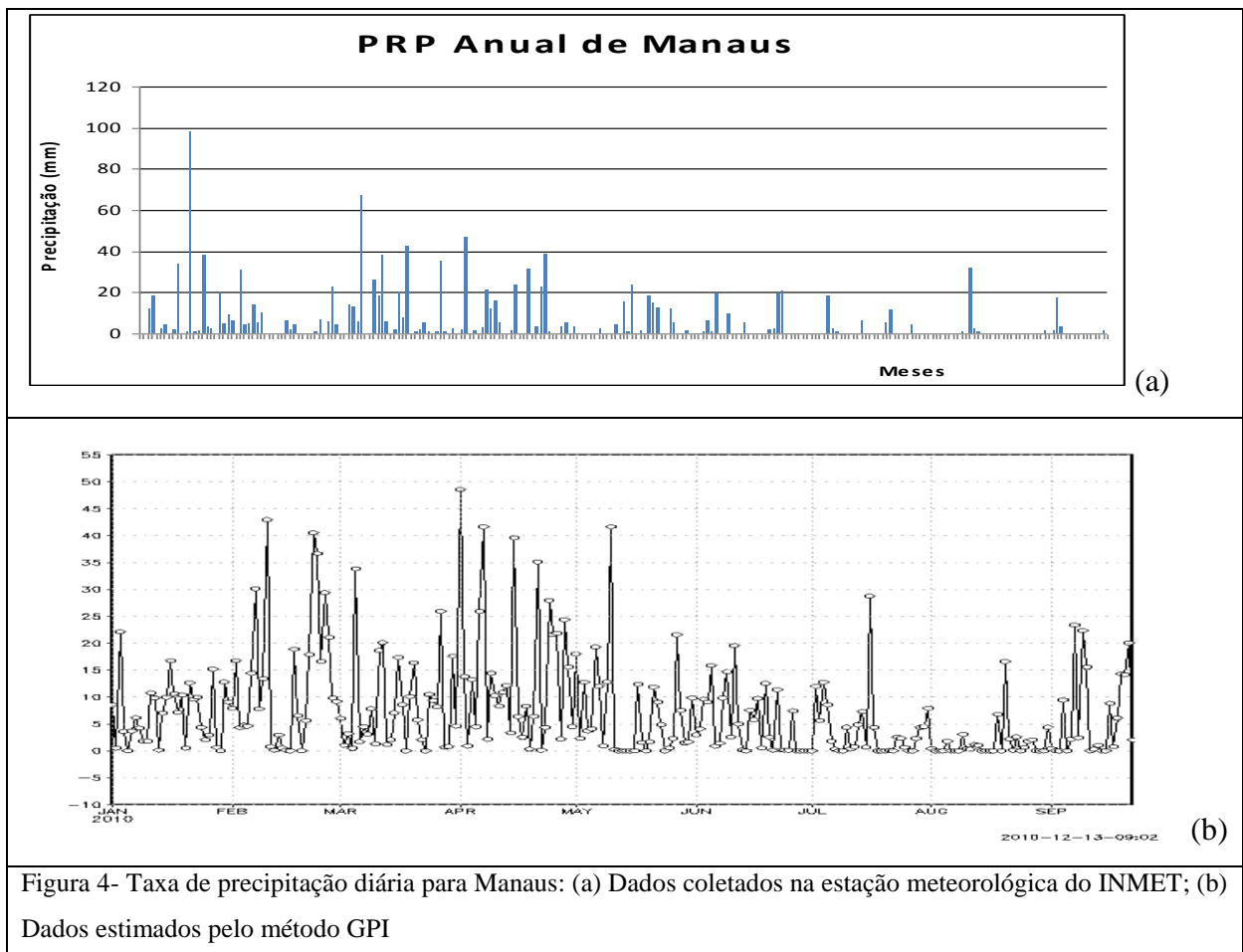
Dessa maneira, por motivo de confirmação observaram-se os dados da estação convencional de Natal, e como era de se esperar houve indícios de chuva significativa. Logo uma suposição para essa falta de registros da estação automática, poderia ser que a mesma estivesse com problemas técnicos, ou até mesmo quebrada, já que o período é consideravelmente longo nesse caso. Dessa maneira surge a dúvida de o porquê então de não

se usar dados de estação convencional. Pois os dados dos mesmos são acumulados de precipitação de três em três horas o que dificulta bastante na hora de se programar o método do GPI, uma vez, que os dados horários da estação automática no método do GPI são melhores para se trabalhar, pois os mesmos dão facilmente o acumulado diário, que está sendo usado neste trabalho.

Porém até onde houve registros, percebe-se que o método GPI se adaptou muito bem para esta localidade.

5.3 MANAUS

Manaus é uma cidade com uma diversidade de floretas bastante ampla, o que acaba elevando a umidade na região, é afetada pelas linhas de instabilidade que acarretam em um aumento do índice pluviométrico.



Os gráficos mostram índices de precipitação praticamente durante o período todo principalmente de janeiro a maio, é onde a ZCIT (Zona de Convergência Intertropical) está

bem influente, já que esta zona nada mais é do que uma banda de nebulosidade que causa bastante precipitação para a região.

O método GPI teve precisão significativa, uma vez que teve similaridade em praticamente todo o período estudado, somente no mês de março, onde a estação quase não apresentou registro de precipitação diferentemente do GPI que registrou precipitação considerável. Vale ressaltar que o mês de janeiro não aparece no gráfico da estação, pois esse mês não estava disponível na hora em que os dados foram coletados.

5.4 SÃO PAULO

Por se localizar próximo ao mar em São Paulo, os dias de calor no verão são amenizados e o frio intenso no inverno é evitado. Apesar da maritimidade que evita maiores variações de temperatura, a altitude de São Paulo faz com que nos meses mais quentes, sejam poucas as noites e madrugadas quentes na cidade, sendo que as temperaturas mínimas na cidade raramente são superiores a 23 °C em um período de 24 horas. No inverno, porém, o ingresso de fortes massas de ar polar acompanhadas de excessiva nebulosidade às vezes fazem com que as temperaturas permaneçam muito baixas mesmo durante a tarde.

Os estudos indicam que o mês mais quente, fevereiro, tem temperatura média de 22,5°C e o mês mais frio, julho, de 16°C. É a menor ocorrência de chuvas de maio a setembro. É o que realmente nota-se nos gráficos. Tem-se um pico no mês de fevereiro nas duas análises, porém para o método do GPI em termos de valores absolutos ocorreu um subestimação (diminuição considerável de valores) neste mês em relação a estação, isso pode se dá ao fato dos efeito das ilhas de calor, causado por excessos de prédio, asfalto, concreto e poucas áreas verdes, que apesar de formarem nuvem, não são tão profundas, e com isso o GPI talvez não tenha conseguido enxergar tal temperatura de brilho.

Logo se chega a conclusão que para São Paulo o GPI adapto-se razoavelmente bem.

SÃO PAULO

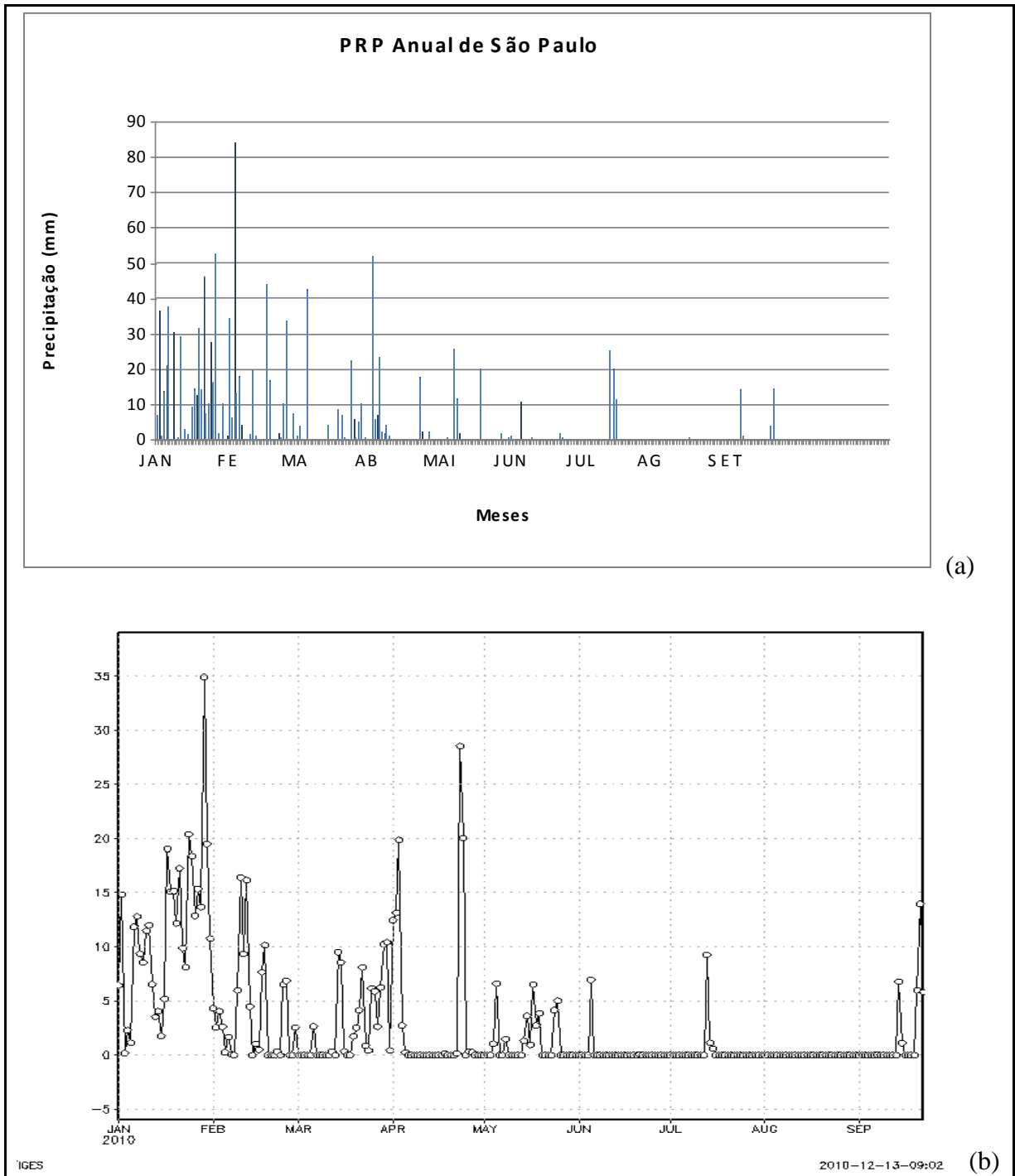


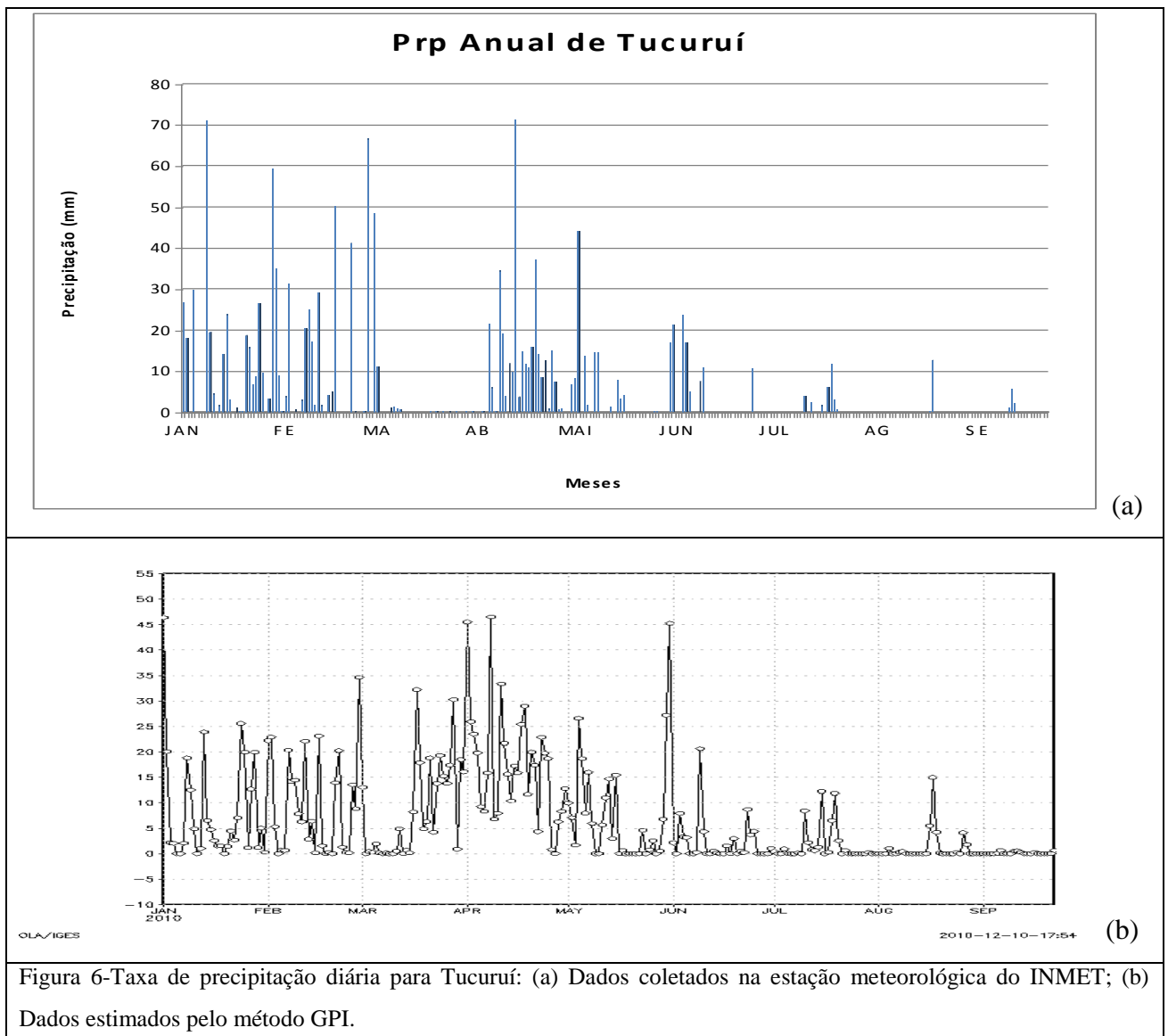
Figura 5-Taxa de precipitação diária para São Paulo: (a) Dados coletados na estação meteorológica do INMET; (b) Dados estimados pelo método GPI.

5.5 TUCURUÍ (PA)

O período de dezembro à março faz parte da época chuvosa na região amazônica. Esse período é de extrema importância na cidade de Tucuruí, porém para o ano de 2010, nota-se através dos gráficos, que o mês de março foi o mês que praticamente não houve nenhum registro de precipitação.

Segundo Fisch et al. (1990) o clima da região de Tucuruí é classificado como tendo duas estações bem definidas e características: um período chuvoso de dezembro a maio, com chuvas intensas de origem convectiva e totais mensais atingindo valores de entre 500-600 mm/mês; e outro período seco de junho a novembro, com uma estiagem pronunciada em agosto-setembro. É o que realmente observa-se nos gráficos.

O método GPI comparado com a estação teve bom êxito para esta localidade



5.6 PORTO ALEGRE (RS)

Em Porto Alegre o contínuo processo de cobertura da superfície do terreno por edificações e calçamento também pode gerar microclimas específicos, observando-se até 4°C de variação térmica nas diferentes regiões da cidade.

Observado as duas análises nota-se que como Belém, Porto Alegre apresentou um perfil de precipitação bem semelhante e até com mais precisão em relação a Belém. Porém vale lembrar que a cidade de Porto Alegre, não encontra-se na região tropical, o que contradiz os estudos feitos com GPI, pois o mesmo se adaptou muito bem para essa determinada localidade.

PORTO ALEGRE (RS)

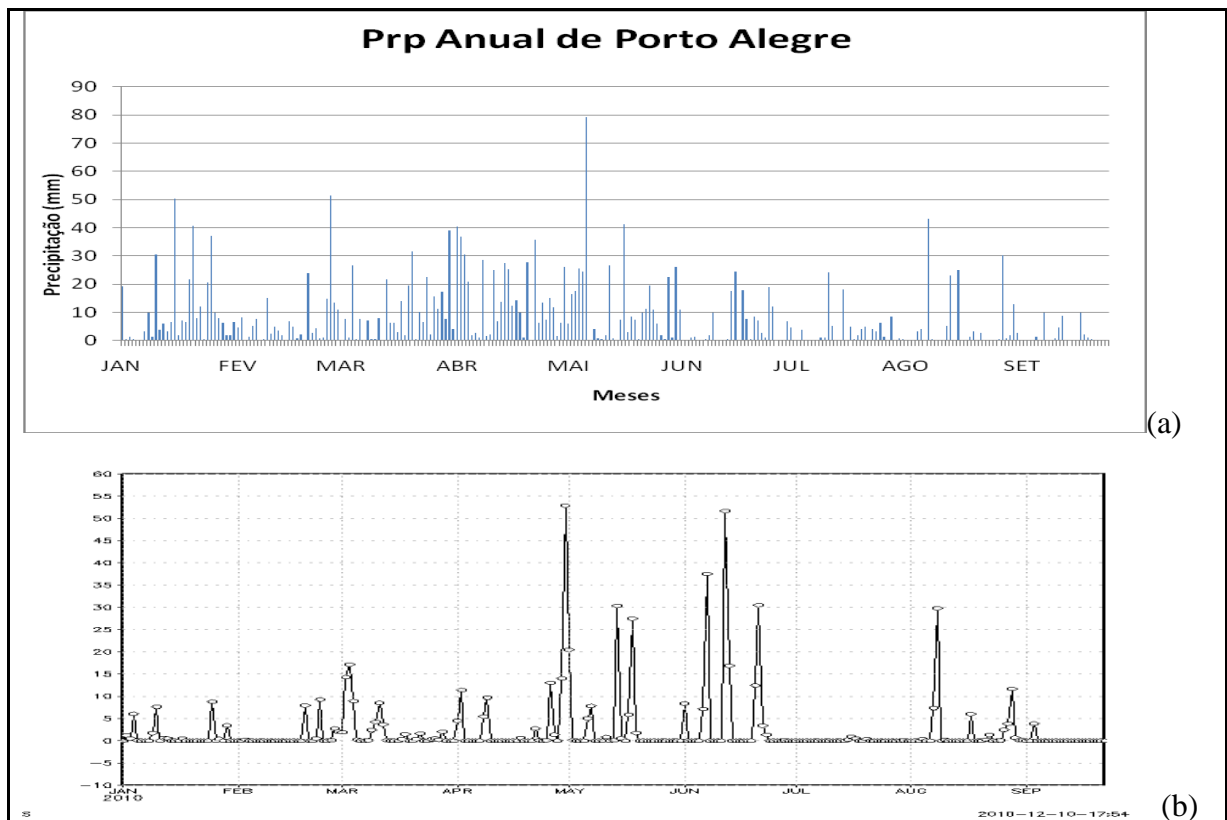


Figura 7-Taxa de precipitação diária para Porto Alegre: (a) Dados coletados na estação meteorológica do INMET; (b) Dados estimados pelo método GPI

A explicação mais sucinta para esse caso, pode está no fato da localização dessa cidade, que favorece a entrada de sistemas frontais e fortes massas de ar. Logo a nuvens formadas com a passagem destes sistemas, são nuvens com grande desenvolvimento vertical, o que pode facilitar na detecção do GPI, uma vez que o mesmo como antes dito capta a temperatura de brilho.

Observando os gráficos as chuvas mantêm-se bem distribuídas durante todo o período estudado de acordo com a literatura o mês mais chuvoso é setembro, sendo que de acordo com os gráficos abaixo foi o mês onde a precipitação começou a estiar. E o mais seco é novembro. Nota-se ainda que o mês de maio foi o máximo da precipitação.

6 CONCLUSÕES

Neste trabalho foram feitas análises de precipitação em superfície com dados extraídos da estação automática e comparados com o método de satélite de GPI.

Os resultados evidenciaram que as características obtidas a partir de GPI foram bem similares com os de estação automática, dessa maneira pode-se dizer que é um método eficaz de estimar a precipitação onde em superfície possibilitaram as seguintes conclusões:

Para Belém houve bastante semelhança no perfil da precipitação, só que em termos absolutos o GPI superestimou;

Para Natal o GPI se adaptou muito bem para a localidade, porém a afirmação não pode ser totalmente confirmada uma vez que não houve registro de precipitação de abril a maio;

Para Manaus o GPI teve atuação significativa, porém para o mês de março o GPI apresentou registros de precipitação considerável em relação a estação automática que quase não houve quase registro;

Para São Paulo o GPI adaptou-se razoavelmente bem, pois houve uma subestimação nos valores absolutos principalmente no mês de fevereiro;

Para Tucuruí o método GPI comparado com a estação teve bom êxito;

Para porto Alegre também teve similaridade nas análises, o que realmente foi uma das grandes descobertas desse trabalho, pois o GPI se adéqua mais para região tropical, e Porto alegre por sua vez é subtropical, e neste trabalho foi a cidade que mais apresentou semelhança com os da estação.

Finalizando este trabalho, há de se ficar claro, que o período de estudo é consideravelmente pequeno, pois para tentar se comprovar algo, a série de dados supostamente deveria ser bem mais longa. Mas aqui fica a tentativa de se comprovar um método através de comparações e dessa maneira tentar estimar a precipitação.

REFERÊNCIAS

- ADLER, R. F. The version-2 global precipitation climatology project (GPCP) Monthly Precipitation Analysis (1979) *J.Hidrometeor.* n. 21, p. 1147-1167. 1991.
- ADLER, R. F.; NEGRI, A.J. A satellite infrared technique to estimate tropical convective and stratiform rainfall. *J. Appl. Meteorol.*, n. 27, p. 30-51. 1988.
- ADLER, R. F.; NEGRI, A.J.; KEEHN, P. R.; HAKKARINEN, I.M. Estimation of monthly rainfall over Japan and surrounding water from a combination of low-orbit microwave and geosynchronous IR data. *J. Appl. Meteor.*, n. 32, p. 335-356. 1993.
- ARKIN, P.A. (1979): The relationship between fractional coverage of high cloud and rainfall accumulations during GATE over the B-scale array, *Mon. Wea. Ver.*, 107, 1382-1387
- COHEN, J.C.P.; SILVA DIAS, M. A.F.; NOBRE, C.A: Environmental conditions associated with Amazonian squall lines: A case study. *Monthly Weather Reviews*, v. 123, n. 11, p. 3163-3174, Nov. 1995
- BARETT, E. C.; BELLERBY, T. J. The application of satellite infrared and passive microwave rainfall estimation techniques to Japan: Results from the First GPCP Algorithm Intercomparison *Project. Meteorological Magazine*, 121, p. 34-46. 1992.
- FEKETE, B. M.; VÖRÖSMARTY, C. J.; ROADS; WILMOTT, C. J. Uncertainties in precipitation and their impacts on runoff estimates. *Journal of Climate*, v. 17, p. 294-304. 2003.
- FOLLANSBEE, W.A. *Estimation of average daily rainfall from satellite cloud photographs*, Washington, DC: [s.n.], 1973. 39 p. (NOAA Tech. Memo. NESS 44).
- HEYER, L. F. *Manaus – um exemplo de clima urbano em região subequatorial*. São Paulo, 1997. f. Tese (Doutorado em Geografia), Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.
- INOUE, T. A cloud type classification with NOAA 7 split-window measurements. *J. Geophys. Res.*, n. 92, p 3991-4000. 1987.
- JOBARD, I.; DEBOIS, M. (1992): A method combining infrared and microwave satellite radiances for the estimation of the tropical rain. In: AMS CONF. ON SATELLITE METEOROLOGY AND OCEANOGRAPHY, 6th, 1992, *Proceedings*, 1992. p. 264-267.
- KOPPEN,W; GELGER, R: *Classificação climática de Koppen e Gelger*. Disponível em: <<http://www.wikipedia.org>>. Acesso em 13 de outubro de 2010. 1936.
- KURINO, T. A satellite infrared technique for estimating “deep/shallow” convective and stratiform precipitation. *Adv. Space Res.*, n. 19, p. 551-514. 1997.

LOLA, A.C. Variação e sazonais da ilha de calor urbana na cidade de Belém-PA. Florianópolis. *Anais do XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia*, 2006.

LIOU, K.N. *An introduction to atmospheric radiation*. New York: Academic Press, 1980.

LUTGENS, F. K.; TARBUCK, E. J. *The Atmosphere – an introduction to meteorology*. New Jersey: Prentice Hall, 1989. 491 p.

MORAES, J.C.; FERREIRA, M.E.; CONFORTE, J.C. Estimativa de precipitação por meio de satélites meteorológicos: uma avaliação das técnicas SC, NAW e ARKIN. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 8., 1989, Foz do Iguaçu, PR. *Anais*, Foz do Iguaçu, PR.: ABRH, 1989. v.1, p. 389-393.

MOTTA, G.M. O Clima de natal São José dos Campos. 2004. INPE -11475-RPQ/776. Disponível em: <<http://www.inpe.br>>. Acesso em de outubro de 2010.

NASCIMENTO, R.N. Caracterização climática de parte do período chuvoso – dezembro à março de 2010 - em Tucuruí – PA. In: *Anais do XVI CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA – clima e mudanças climáticas*, 16, 2010, Belém-PA.. Belém-PA SBMET, 2010.

NEGRI, A. J., ADLER, R.F.; WETZEL, P.J. Rain estimation of the Griffith Woodley Technique, *Journal of Applied Meteorology*, v. 23, n.1, p.102-116. 1984.

NIMER, E. *Climatologia do Brasil*. Rio de Janeiro: IBGE, 1979.

OLIVEIRA, M.C.F. Variabilidade interanual da precipitação associada ao fenômeno de El niño em Belém-PA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 8.; CONGRESSO LATINO-AMERICANO E IBÉRICO DE METEOROLOGIA, 2., 1994, Belo Horizonte. *Anais*.. Belo Horizonte: SBMET, 1994. p. 119-122.

STOUT, J.E.; MARTIN, D.W.; SIKDAR, D.N. Estimating GATE rainfall with geosynchronous satellite images. *Mon. Wea. Rev.*, n.107, p.585-598. 1979.

WYLIE, D. P.: An application of a geostationary satellite rain estimation technique to na extratropical area. *J. Appl. Meteorol.*, n.18, p.1640-1648. 1979.

WILHEIT, T. T.: *Some comments on passive microwave measurement of rain*. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 67, n 10, p.1986.

PETTY, G. W. The Status of Satellite-based rainfall estimation over land. *Remote Sensing of Environment*, n.51, p. 125-137. 1995.

RAMAGE, K.; JOBARD, I.; LEBEL, T.; DESBOIS, M.: Satellite estimation of 1-day to 10-day cumulated precipitation: comparison and validation over tropical Africa of TRMM, METEOSAT and GPCP products. The 2003 EUMETSAT *Meteorological Satellite Conference*, 29 de setembro a 3 de outubro, Weimar, Alemanha , 2003 .

VIANELLO, R. L.; ALVES, R. R. *Meteorologia básica e aplicações*. Viçosa: UFV, 1991.

VICENTE, G.A. Estimativa de precipitação via satélite para estudo de tempo e clima. (NOAA/NESDIS/Office of Research and Applications, Washington, DC, USA).

VICENTE, G.A.; ANDERSON, J.R. A new rain retrieval technique that combines geosynchronous IR. 1994.

VICENTE, G.A.; SAKAMOTO, M.S: Acesso à estimativa de precipitação via satélite sobre o Brasil e América do Sul disponível em tempo real na WWB (artigo em inglês). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 9^o, 1996, Campos do Jordão. *Anais...* Campos dos Jordão, SP: SBMET, 1996. v.2: 564-567.