

**Universidade Federal de Itajubá**  
**Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos**

**Variabilidade da cobertura de nuvens na cidade de São Paulo**

Luciana Machado de Moura

Itajubá - MG

2015

**Universidade Federal de Itajubá**

# **Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos**

**Luciana Machado de Moura**

## **Variabilidade da cobertura de nuvens na cidade de São Paulo**

Dissertação submetida ao Programa de Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências em Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Itajubá.

Área de Concentração: Modelagem Matemática aplicada ao meio ambiente e Recursos Hídricos.

Orientador Prof. Dr. Arcilan Trevenzoli Assireu

Co-Orientador: Prof. Dr. Fernando Ramos Martins (UNIFESP)

Itajubá (MG)

2015

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por ter enviado anjos em meu caminho, para poder me ajudar em um tema no qual pouco conhecia e tenho dificuldades.

Ao meu avô Barbosa “In Memoriam”, que sempre acreditou nos meus sonhos e foi o melhor contador de histórias que existiu.

Aos meus pais Maria e Cid por todo carinho e dedicação. Ao meu companheiro Helvecio pela ajuda na parte de programação e por todo apoio durante esta dissertação.

Aos amigos que fiz no laboratório do CCST/INPE, que me ajudam até hoje e aos amigos que fiz na UNIFEI, e a todos os funcionários e professores que contribuíram para este trabalho.

Ao meu co-orientador Fernando por ter me apresentado à pesquisa, pelas conversas produtivas, pela paciência e dedicação que o torna um excelente profissional, no qual me espelho.

Ao meu orientador, Arcilan pela oportunidade e dedicação com que ministra suas aulas.

A Samantha Martins do IAG-USP por ter colaborado com os dados para esta pesquisa, sempre atenciosa e disposta a ajudar.

Aos professores Ênio e Michele pelas considerações finais deste trabalho.

Agradeço a todos que de certa forma contribuíram para a realização de um sonho, deixo aqui o meu muito obrigada!

## **RESUMO**

### **Variabilidade de cobertura de nuvens na cidade de São Paulo**

*Autora: Luciana Machado de Moura*

*Orientador: Prof. Dr. Arcilan Trevenzoli Assireu*

*Co-orientador: Prof. Dr. Fernando Ramos Martins*

## **RESUMO**

As nuvens são de grande importância para o controle de temperatura na superfície da Terra, uma vez que está relacionada com os processos de absorção e espalhamento dos raios solares. A observação da cobertura de nuvem é realizada através da inspeção visual que determina a fração do céu encoberto ou via satélite no qual os dados levam em conta a espessura óptica das nuvens. Este trabalho tem como objetivo compreender a variabilidade da cobertura de nuvens na cidade de São Paulo para o período de 1961 a 2013. As informações referentes às variáveis meteorológicas de precipitação, temperatura, radiação global, dados observacionais de nuvens foram disponibilizados pelo IAG\USP. Os dados do satélite GOES-10, canal do visível foram disponibilizados pelo CCST-INPE. Para este estudo, o trabalho descreve duas técnicas que possuem função de estimar os dados do Coeficiente da Cobertura de Nuvens, obtidos a partir dos dados do canal do visível do satélite GOES-10, utilizando dados de radiação máxima e mínima e percentil 5% e 95%. A confiabilidade dos dados das estimativas do Coeficiente da Cobertura de Nuvens e dos dados visuais foram comparados através da constante de claridade ( $1 - K_t$ ), que é a razão entre a radiação global e a irradiação no topo da atmosfera. As técnicas descritas apresentaram resultados semelhantes, não demonstrando diferenças discrepantes para as estações de inverno, primavera e outono. Para o período de verão, os valores obtidos pela técnica do percentil 5% e 95% apresentaram maior confiabilidade, pois o seu desvio padrão foi menor que o da técnica máxima e mínima. Entre os resultados, os maiores valores de nebulosidade ocorrem no verão e os menores no inverno. O estudo demonstrou a consistência entre as diversas bases de dados que apresentaram comportamentos similares em todos os períodos sazonais do ano.

Palavras-chave: Dados observacionais. GOES-10. Radiação Solar.

## ABSTRACT

Author: *Luciana Machado de Moura*

Adviser: Prof. Dr. *Arcilan Trevenzoli Assireu*

Co-Adviser: Prof. Dr. *Fernando Ramos Martins*

Clouds are important for the temperature control in Earth's surface, since it is related to the processes of absorption and scattering of solar radiation. The observation of cloud cover is performed by visual inspection which determines the fraction of overcast sky or satellite in which data to take into account the optical thickness of clouds. This document aims to understand the variability in cloud cover in the city of São Paulo for the period 1961 to 2013. Information related to the meteorological variables of precipitation, temperature, global radiation, cloud observational data were provided by IAG \ USP. Data from the GOES-10 satellite, the visible channel made available by CCST-INPE. For this study, this document describes two techniques that have function to estimate the data of the Cloud Cover Coefficient obtained from the data the visible channel of the GOES-10 satellite, using radiance maximum and minimum data and percentile 5% and 95%. The reliability of the data of coefficient estimates cloud cover and the data were compared by visual clearness index (1-Kt) which is the ratio of the overall radiation and the irradiation at the top of the atmosphere. The described techniques have similar results, showing no disparate differences for winter, spring and autumn seasons For the summer period, the values obtained by the technique of percentile 5% and 95% showed greater reliability because its standard deviation was less than the maximum and minimum technique. Among the results, the highest cloudiness values occur in summer and in winter smaller. This study showed the consistency between the various databases that had similar behavior in all seasonal periods of the year.

Key-words: Observational data. GOES-10. Solar Rays.

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Representação da classificação de nuvens de acordo com a altitude e forma	17
Figura 2: A Terra em torno do Sol, as estações do ano. ....	19
Figura 3: Principais processos de interação da radiação solar no sistema Atmosfera-Terra. Fonte: Martins et al. (2004). ....	20
Figura 4: (a) nuvens refletem a luz solar ao espaço e parte é disseminada para a terra; (b) nuvens restringem emissão para o espaço e parte é disseminada de volta para a atmosfera. ....	21
Figura 5: Satélite Geoestacionário e de Órbita Polar .....	22
Figura 6: Imagem do Satélite GOES-10, apresentando falhas de leitura na região do estado de São Paulo. O lado esquerdo da imagem aparece escuro por não estar iluminado pelo Sol e os pixels estão identificados como noturno.....	29
Figura 7: Variação do índice de claridade ( $1-K_t$ ), o $K_d$ é razão entre a radiação difusa e a radiação global. $K_t$ é a razão entre a radiação Global e a radiação no topo da atmosfera. ....	32
Figura 8: Comparação entre as médias horarias sazonais do Coeficiente de Cobertura Efetivo de Nuvens (máximo e mínimo) representado pela cor (verde com traço contínuo) com os dados visuais de nebulosidade (azul contínuo) coletados na estação meteorológica do IG/USP na cidade de São Paulo. A normal climatológica para os dados visuais estão em (azul --) e a média do Coeficiente de Cobertura Efetiva de Nuvens em (verde --), o desvio padrão para ambas variáveis são (preto --). ....	36
Figura 9: Comparação entre as médias horarias sazonais do Coeficiente de Cobertura Efetivo de Nuvens (Percentil 5% e 95%) representado pela cor (verde com traço contínuo) com os dados observacionais de nebulosidade (azul contínuo) coletados na estação meteorológica do IG/USP na cidade de São Paulo. A normal climatológica para os dados observados estão em (azul --) e a média do Coeficiente de Cobertura Efetiva de Nuvens em (verde --), o desvio padrão para ambas variáveis são (preto --). ....	38
Figura 10 – Comparação dos valores médios mensais dos dados de nebulosidade observados (em azul contínuo) e do valor complementar do índice de claridade ( $1 - K_t$ ) (vermelho contínuo) adquiridos na estação IAG-USP durante o período de 1961 a 2013. As médias climatológicas estão indicadas pelas linhas tracejadas. A média mensal do Coeficiente de Cobertura Efetiva de Nuvens (verde contínuo) e a média (verde tracejado) para os anos de 2007 e 2008.....	40
Figura 11: Média mensal dos dados de nebulosidade total (azul escuro), nuvens baixas (azul claro), nuvens médias (vermelho) e nuvens altas (preto). A linha verde representa	

o Coeficiente de Cobertura Efetiva de Nuvens calculada a partir da análise das imagens do canal visível do satélite GOES-10.....	41
Figura 12: a) Comparação mensal dos dados de nebulosidade total (azul contínuo) e precipitação (vermelho contínuo) com suas respectivas médias climatológicas em (tracejado) b) Comparação mensal dos dados de nebulosidade total (azul contínuo) e temperatura (vermelho contínuo) com as suas respectivas médias climatológicas para a cidade de São Paulo.....	43
Figura 13: Média padronizada anual dos dados de nebulosidade observados identificado em preto os anos de El Niño; os anos de La Niña estão marcados pela cor rosa. Os demais anos representam o período neutro que não houve a ocorrência do fenômeno El Niño e La Niña. Devido a padronização dos dados a média é igual a zero (0) identificada pela linha tracejada azul.....	46
Figura 14: Média anual dos dados padronizados de radiação global, em rosa são os anos de La Niña e em preto El Niño. Devido a padronização dos dados a média é igual a zero (0) identificada pela linha tracejada vermelha.....	48

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	10
2. OBJETIVOS.....	13
2.1. Objetivo Geral.....	13
2.2. Objetivos Específicos.....	13
3. JUSTIFICATIVA.....	14
4. REFERENCIAL TEÓRICO .....	15
4.1. Formação das nuvens e sua relação com a climatologia local.....	15
4.2. Observação Visual de Nuvens .....	16
5. Formação de Nevoeiros.....	18
5.1. Radiação Solar .....	18
5.1.1. Processo Radiativo nas Nuvens .....	20
6. Observação por Satélites .....	21
6.1. Satélite Geoestacionário GOES-10.....	22
7. Sistemas atuantes no Sudeste do Brasil.....	23
7.1. Zona de convergência do Atlântico Sul (ZCAS) .....	23
7.2. Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) .....	23
7.2.1. El Niño.....	23
8. MATERIAL E MÉTODOS .....	25
8.1. Local de estudo .....	25
8.2. Dados observados em superfície.....	26
8.3. Dados do Satélite GOES-10.....	27
8.4. Cálculo da radiação no topo da atmosfera e índice de claridade (Kt) .....	31
8.5. Padronização dos dados anuais observados.....	33
8.5.1. Avaliação de anomalias referentes aos anos de El Niño e La Niña nos dados de nebulosidade e irradiação solar .....	33
9. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	34

9.1.	Dados faltantes.....	34
9.2.	Ciclo diário da Nebulosidade.....	35
9.3.	Ciclo mensal da Nebulosidade.....	39
9.4.	Dados Anuais .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
10.	CONCLUSÃO.....	49
11.	REFERÊNCIAS .....	51

# 1. INTRODUÇÃO

O termo “tempo” na Meteorologia é utilizado para descrever o estado físico das condições atmosféricas em um determinado momento e local. O clima é o estudo médio das condições de tempo para um determinado período em uma localidade de interesse. Também, se refere às características da atmosfera inseridas das observações contínuas durante certo período. Para caracterizar o clima de uma região é necessário uma base de dados extensa que possa ser representativa dos eventos possíveis das condições de tempo para uma determinada localidade ou região. O estudo do clima inclui considerações sobre os desvios em relação às médias, variabilidade climática, condições extremas e frequências de eventos que ocorrem em determinada condição do tempo. Os atributos básicos para caracterização do clima são: radiação solar incidente na superfície, temperatura do ar, umidade relativa e pressão atmosférica. Este estudo tem foco na radiação solar incidente na superfície e na nebulosidade que possui forte influência na variabilidade da radiação solar incidente.

Segundo Vianello e Alves (2000), a radiação solar global é a soma da radiação direta mais a difusa, sendo que a radiação direta é aquela que incide na superfície do solo sem sofrer nenhum processo de transferência de energia para os constituintes atmosféricos. Já a radiação solar difusa é definida como a componente da radiação solar que sofreu algum tipo de interação, podendo ser espalhamento ou reflexão.

O balanço de radiação é a diferença entre a radiação absorvida e emitida por uma superfície, um balanço de radiação positivo ocorre durante o período diurno e negativo no período noturno (AYOADE, 2011). De acordo com Varejão-Silva (2006), o balanço médio de radiação indica que aproximadamente 36% da radiação solar que é recebida pela Terra retornam ao espaço, através do processo de reflexão das nuvens, os outros 64% são absorvidos por partículas em suspensão e superfície terrestre. A fração da radiação solar absorvida é reemitida na faixa espectral de radiação infravermelha.

As nuvens possuem uma grande influência no balanço radiativo, pois cobrem uma boa parte do planeta durante todo o tempo (MOOJEN et al., 2013). Segundo Pereira e Colle (1997), as nuvens funcionam como um modulador de fluxo de radiação que incide na superfície. A superfície do planeta absorve radiação solar incidente e reemite de volta ao espaço, mantendo o equilíbrio térmico por meio dos processos de reflexão, espalhamento e absorção. As nuvens possuem características de absorver radiação eletromagnética na faixa espectral de emissão da Terra. Este processo de

absorção da radiação infravermelha emitida pela Terra e reflexão da radiação solar é conhecido como forçante das nuvens (*cloud – forcing*) (ECHER et al., 2006).

O *cloud-forcing* é um conceito importante na Meteorologia com aplicação em diversas áreas do conhecimento incluindo área de recursos renováveis (PEREIRA; COLLE, 1997). A observação e coleta de dados de nuvens desempenha dessa forma um papel de grande relevância tanto para a comunidade científica quanto para o setor produtivo.

A observação visual de nuvens é considerada um método bastante subjetivo, porém é ainda comumente utilizado na comunidade científica. Os registros observacionais são determinados considerando a fração de céu encoberto por nuvens (AYOADE, 2011).

Vários outros métodos vêm sendo desenvolvidos por pesquisadores para analisar a variabilidade da cobertura de nuvens, melhorando a precisão dos dados adquiridos. Segundo Mol (2005), com o surgimento de satélites meteorológicos na década de 60, houve a possibilidade de monitorar extensas áreas da superfície terrestre e oceânica, obtendo informações que antes eram de difícil acesso. Desde então, os satélites estão sendo utilizados para aprimoramento das pesquisas com observações das condições de nebulosidade que apresentam características distintas daquelas realizadas a partir da superfície (ECHER et al., 2006).

Este estudo foi desenvolvido com observações de superfície e estimativas de nebulosidade obtidas a partir de dados do satélite GOES-10 para a cidade de São Paulo. Llopart (2012) explica que a faixa de nebulosidade causada pela zona de convergência do Atlântico Sul (ZCAS) é responsável por modular o ciclo hidrológico, o balanço de energia e o clima da América do Sul favorecendo a precipitação nos meses de verão e estiagem nos meses de março a abril na região Sudeste e Centro-Oeste do Brasil.

Segundo Reboita et al. (2010), a região sudeste possui características de uma região úmida no verão e seca no inverno que caracteriza o sistema de monção da América do Sul. Os raios solares incidem perpendicularmente no Trópico de Capricórnio durante o verão propiciando um intenso aquecimento da superfície que favorece a atividade convectiva.

A cidade de São Paulo foi escolhida para este estudo por ser a metrópole mais importante do Brasil, e que apresenta uma crescente densidade populacional, e onde há intensa atividade industrial. O adensamento urbano também pode interferir no clima local (LOMBARDO, 1985). O estudo da variabilidade da cobertura de nuvens no

município de São Paulo pode contribuir para compreensão das alterações dos fenômenos climáticos locais, associados com processos e atividades de origem antrópica.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo Geral**

O objetivo geral deste trabalho é o de compreender a variabilidade da cobertura de nuvens na cidade de São Paulo.

### **2.2. Objetivos Específicos**

- Avaliar a climatologia da cobertura de nuvens na cidade de São Paulo entre 1961 a 2013 observados na estação meteorológica do IAG-USP no bairro da Água Funda;
- Estimar o Coeficiente de Cobertura Efetiva de Nuvens a partir das imagens do satélite geostacionário GOES-10 entre 2007 e 2008;
- Analisar os dados de radiação global medidos na estação meteorológica do IAG-USP no bairro da Água Funda entre 1961 a 2013 e associa-los com a cobertura de nuvem;
- Calcular a média dos dados de nebulosidade visual e estimados pelo satélite de forma sazonal, horária, mensal e anual em São Paulo;
- Comparar os dados de cobertura de nuvens observacionais com os dados do Coeficiente de Cobertura Efetiva de Nuvens;
- Verificar a influência do fenômeno ENOS nos dados anuais observados de nebulosidade e radiação global.

### **3. JUSTIFICATIVA**

A justificativa deste trabalho baseia-se no fato de que as nuvens são reguladoras de temperatura do planeta, podendo esfriar ou aquecer o sistema Terra/Atmosfera a partir dos processos de interação com a radiação de ondas longas e curtas.

Assim, conhecer a variabilidade da nebulosidade em uma região a partir de uma série histórica poderá contribuir para compreensão da variabilidade climática regional e poderá, também, contribuir para avaliar a influência das atividades antrópicas nesse processo ao longo do período de estudo. Uma das dificuldades para o estudo da variabilidade da nebulosidade está relacionada à subjetividade do processo de aquisição de dados registrados na base de dados históricos (ECHER et al., 2006) coletados na estação de superfície.

A cidade de São Paulo foi escolhida devido ao seu constante desenvolvimento e ao histórico de mais de 50 anos de dados existentes que foram fornecidos pela estação meteorológica IAG-USP do bairro da Água Funda.

## **4. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **4.1. Formação das nuvens e sua relação com a climatologia local**

As nuvens possuem um papel importante para o clima, são fontes de precipitação, modeladoras de irradiação solar incidente na superfície do planeta, e absorvem a radiação emitida pela atmosfera e pela superfície da Terra. As nuvens são de extrema importância para atividades humanas como: transportes aeronáuticos (MACHADO FILHO et al., 2006), navegação marítima, construção civil e agricultura. Na meteorologia, a cobertura de nuvens contribui na observação de fenômenos como: frentes frias, geadas, furacões, ciclones.

Segundo Goody e Walker (1975), as nuvens cobrem em média 50% da superfície do planeta Terra sendo responsável por alguns fenômenos que podem alterar o clima.

De acordo com Blair (1964), as nuvens são formadas pela umidade do ar condensada, e são constituídas por gotículas de água ou cristais de gelo, com diâmetros entre 0,025 a 0,1mm. Desta forma, são facilmente sustentadas e transportadas pelo vento.

Para que ocorra a formação de nuvens é necessário vapor d'água e núcleos de condensação. Os núcleos auxiliam o vapor d'água a se condensar por apresentarem características higroscópicas. Se não houvesse a existência dos núcleos, a formação de nuvens só seria possível com uma umidade relativa superior a 105% (VIANELLO; ALVES, 2000). Como exemplo de núcleo de condensação, pode-se citar o cloreto de sódio (NaCl) proveniente da água do mar. Existem outros compostos resultantes do processo de combustão como ácido nítrico ou ácido sulfúrico que também atuam como núcleos de condensação.

A condensação é um processo no qual o vapor d'água se torna água líquida, porém algumas condições são necessárias para que o processo aconteça. Quando uma parcela de ar move-se verticalmente, vai encontrar pressões mais baixas e o volume de ar tende a se expandir e diminuindo o calor disponível no volume de ar, desta forma a temperatura cai. Este processo é chamado de adiabático, pois não envolve troca de energia com o meio, e ocorre até o momento em que a temperatura de condensação é

alcançada. Na presença dos núcleos de condensação a água se condensa na sua superfície. O processo de resfriamento adiabático é importante para a formação de nuvens e para a precipitação (AYOADE, 2011).

Segundo Ayoade (2011), as nuvens podem ser classificadas de acordo com a origem do movimento de ascensão do ar. Podem-se destacar os seguintes mecanismos:

- Nuvens orográficas são nuvens produzidas pela ascensão das massas de ar devido ao relevo;
- Nuvens devido ao aquecimento da superfície e convecção livre;
- Nuvens por convecção forçada (turbulência mecânica), ou seja, o atrito entre o ar com obstáculos artificiais como exemplo as edificações.

Segundo Cess et al. (1982), se a cobertura total de nuvens for alterada o balanço de energia entre a Terra/Atmosfera também será alterado. Ao conhecer a forma que a nebulosidade é modificada, compreende-se a interação entre o clima e as nuvens.

As nuvens podem ser classificadas de acordo com altura e aparência física, podendo ser: altas, médias, baixas e nuvens de desenvolvimento vertical (WMO, 1975; BLAIR, 1964).

No ano de 1986 foi publicada a classificação internacional de nuvens e desde então vem sendo revisada periodicamente. Atualmente são considerados 10 gêneros de nuvens com suas características de forma e altura (Blair 1964, WMO, 1975) que estão representados na Figura 1:

- Nuvens baixas: stratus (St), stratocumulos (Sc), cumulus (Cu), cumulonimbus (Cb);
- Nuvens médias: altostratus (As), altocumulus (Ac) nimbostratus (Ns);
- Nuvens altas: cirrus (Ci), cirrocumulos (Cc), cirrostratus (Cs).

## **4.2. Observação Visual de Nuvens**

A observação visual de nuvens iniciou com Luke Howard um meteorologista amador, inglês do século XIX, que obedeceu à mesma regra para inserir nomes em espécies na área de biologia, deram-se os nomes em latim para classificar os 10 gêneros de nuvens existentes. No ano de 1896 foi publicado o primeiro Atlas Internacional de Nuvens e, desde então, tem sido revisado periodicamente (BLAIR, 1964).

A observação visual de nuvens é um dado bastante utilizado apesar de ser um dado subjetivo, podendo conter variações discrepantes entre observadores (ASSIREU et al., 2011). Cabe ressaltar que a observação visual de nuvens é realizada por técnicos treinados, seguindo padrões da pela Organização Mundial de Meteorologia (ASSIREU et al., 2011; ECHER et al., 2006).

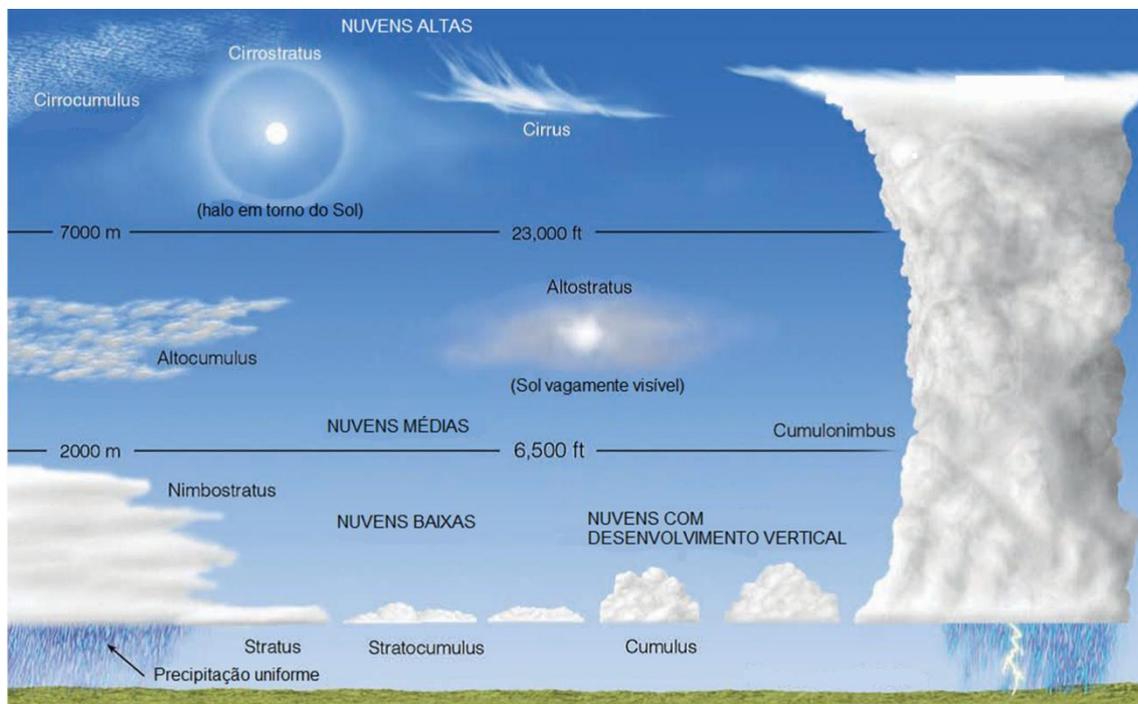


Figura 1: Representação da classificação de nuvens de acordo com a altitude e forma  
 Fonte: Adaptado de Ahrens (2009)

Assireu et al. (2011) e Echer et al. (2006), comentam que para minimizar possíveis erros o observador deve estar em um local onde sua visão tenha o máximo de desobstrução ao seu redor, dividir a abóbada celeste em áreas iguais (quadrantes), avaliar a quantidade de nuvens em cada quadrante e, em seguida, somar os valores dos quadrantes. Posteriormente, o resultado desta soma será a cobertura total de nuvens observadas, por exemplo, 10/10 céu totalmente nublado 0/10 céu claro.

As nuvens próximas ao horizonte devem ser ignoradas, pois tendem a estarem mais agrupadas devido ao efeito da perspectiva, evitando possíveis erros de leitura, uma vez que o total de nuvens tende a ser maior do que o real (ECHER et al., 2006).

## **5. Formação de Nevoeiros**

Segundo Ahrens (1993), os nevoeiros são nuvens estratiformes que comprometem a visibilidade, pois se formam próximo ao solo. Este fenômeno ocorre nas primeiras horas da manhã de inverno e final de outono, sendo os nevoeiros mais espessos ao nascer do Sol, e vão se dissipando antes do período da tarde.

Quando o Sol se põe, a energia que chega à superfície passa a ser limitada, deste modo o solo passa a perder mais energia do que recebe, esse processo é conhecido como resfriamento radiativo (AHRENS, 1993). O nevoeiro é caracterizado por gotículas de água produzidas pela condensação do vapor d'água próximo a superfície, devido ao rápido resfriamento radiativo. O tempo de resfriamento será maior em noites longas, portanto tende a ocorrer nevoeiros de maior intensidade (BLAIR, 1964).

Os nevoeiros são classificados de acordo com a sua formação. Segundo Ayoade (2011), a formação de nevoeiros de radiação ocorre em noites de céu claro (que auxiliam no resfriamento da superfície), com umidade elevada (para alimentar a formação de gotículas microscópicas devido ao resfriamento) e com ventos fracos (que minimizam a dissipação dos nevoeiros). O nevoeiro de radiação desaparece com o nascer do Sol, pois a radiação solar aquece a superfície do solo, aumentando a temperatura do ar, ocorrendo a evaporação das gotas de nevoeiro. Quanto mais energia solar chegar ao solo, mais rápido o nevoeiro irá se dissipar (AHRENS, 1993).

De acordo com Varejão-Silva (2006), os nevoeiros de advecção se formam quando o ar úmido é levado para um local mais frio, ocorrendo o resfriamento e condensando o vapor d'água.

### **5.1. Radiação Solar**

O Sol é responsável por fornecer aproximadamente 99,97% da energia disponível no sistema Terra-Atmosfera. A energia solar é atenuada ao percorrer a atmosfera, e a variabilidade espacial e temporal do recurso energético depende da latitude, hora do dia e época do ano (AYOADE, 2011).

Durante o percurso da radiação pela atmosfera terrestre, ela interage com os constituintes atmosféricos por meio de processos de absorção, espalhamento e reflexão. Os principais agentes responsáveis por absorver a radiação solar são: vapor d'água, ozônio e gás carbônico. O ozônio absorve parte da radiação solar na região do

ultravioleta e os demais gases citados absorvem na região do infravermelho próximo. Outros elementos atuam na absorção da radiação solar o gás metano ( $\text{CH}_4$ ), gás óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), gás oxigênio ( $\text{O}_2$ ), particulados, gotículas de nuvens entre outros elementos (VIANELLO; ALVES, 2000). De acordo com Teramoto (2010), a maior incidência de radiação ocorre em períodos de céu claro, e os de menores incidências são observados em dia de céu coberto por nuvens.

A radiação solar incidente na superfície da Terra varia em função de fatores astronômicos como a distância Sol-Terra que varia sazonalmente (BLAIR, 1964; AHRENS, 1993), e o cosseno do ângulo zenital solar que apresenta um ciclo diário. (BLAIR, 1964).

O período de insolação em dias de verão apresenta maior duração do que para o período de inverno em razão da excentricidade da órbita terrestre e do ângulo de inclinação do eixo em relação ao plano da órbita em torno do Sol (AHRENS, 1993). No Hemisfério Sul, o planeta está mais distante do Sol em julho e a inclinação do eixo propicia a ocorrência de noites longas e dias curtos no Hemisfério Sul. No solstício de verão para o Hemisfério Sul, o Sol incide perpendicularmente sobre o Trópico de Capricórnio (AHRENS, 1993) como ilustra na Figura 2. Nesta estação, o Hemisfério Sul apresentará dias longos e noites curtas.

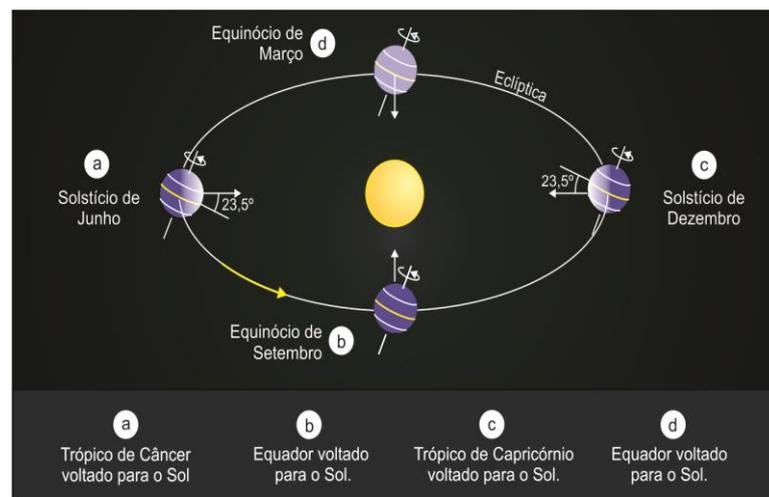


Figura 2: A Terra em torno do Sol, as estações do ano.  
Fonte: (OLIVEIRA FILHO; SARAIVA, 2012)

O total da radiação solar incidente na superfície terrestre em um determinado local e instante recebe o nome de radiação global, sendo descrita por duas componentes,

radiação direta e radiação difusa (VAREJÃO-SILVA, 2006; PIRES et al., 2013), sendo que cada uma delas é descrita como:

- *Radiação Difusa*: é a componente da irradiação solar que incide na superfície terrestre após o espalhamento por gases, particulados e gotículas de nuvens, ou seja, não chega diretamente à superfície terrestre (PINHO et al., 2008);
- *Radiação Direta*: é a componente que não sofre nenhuma interação com os constituintes atmosféricos ao longo do percurso na atmosfera (PINHO et al., 2008).

### 5.1.1. Processo Radiativo nas Nuvens

As nuvens são responsáveis por grande parte do processo de reflexão da radiação solar como ilustra a Figura 3 (MARTINS et al., 2004; AYOADE, 2011; BLAIR, 1964).

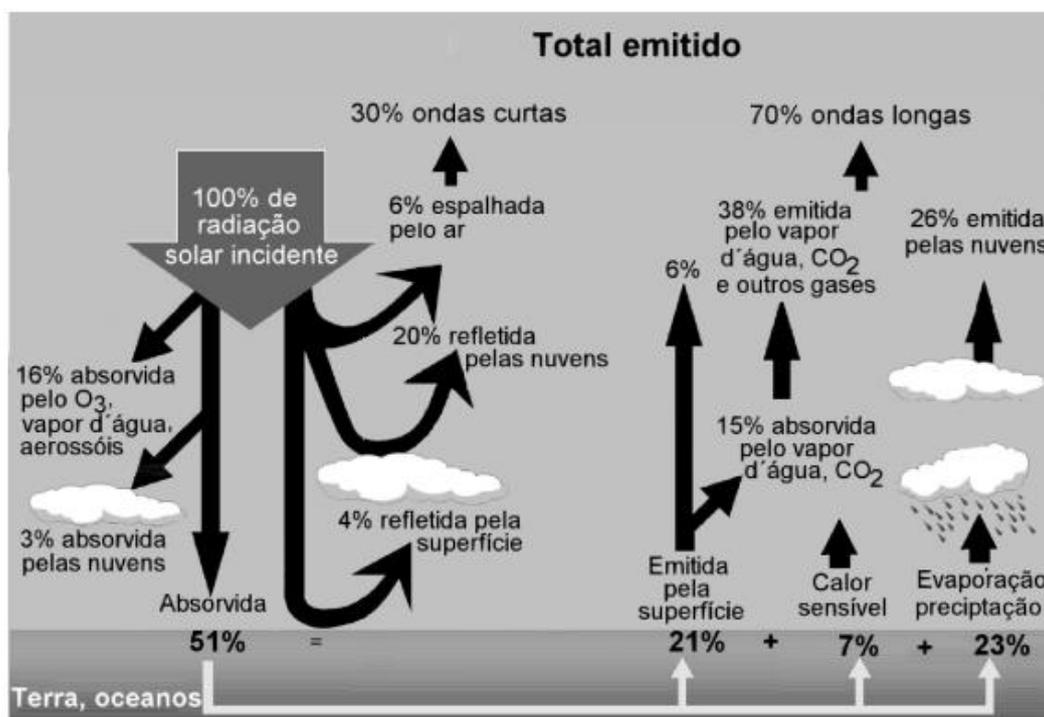


Figura 3: Principais processos de interação da radiação solar no sistema Atmosfera-Terra Fonte: Martins et al. (2004).

De acordo com Rieland e Stuhmann (1993), as nuvens são reguladoras de temperatura para o planeta Terra. Alguns tipos podem provocar o resfriamento da

superfície após refletir radiação solar de volta para o espaço, outros tipos de nuvens contribuem para o aquecimento em razão da interação com radiação de ondas longas emitidas pela Terra. Segundo Ahrens (1993), a radiação de onda curta refletida de volta para o espaço causa o resfriamento da Terra; por outro lado, as nuvens apresentam a capacidade de absorver a radiação de onda longa emitida pela Terra. Este segundo processo interativo contribui para o aquecimento do sistema Terra/Atmosfera.

A Figura 4 ilustra os processos de interação radiativa que acontecem nas nuvens. A intensidade de radiação espalhada e absorvida está relacionada às características e propriedades óticas do tipo de nuvem.

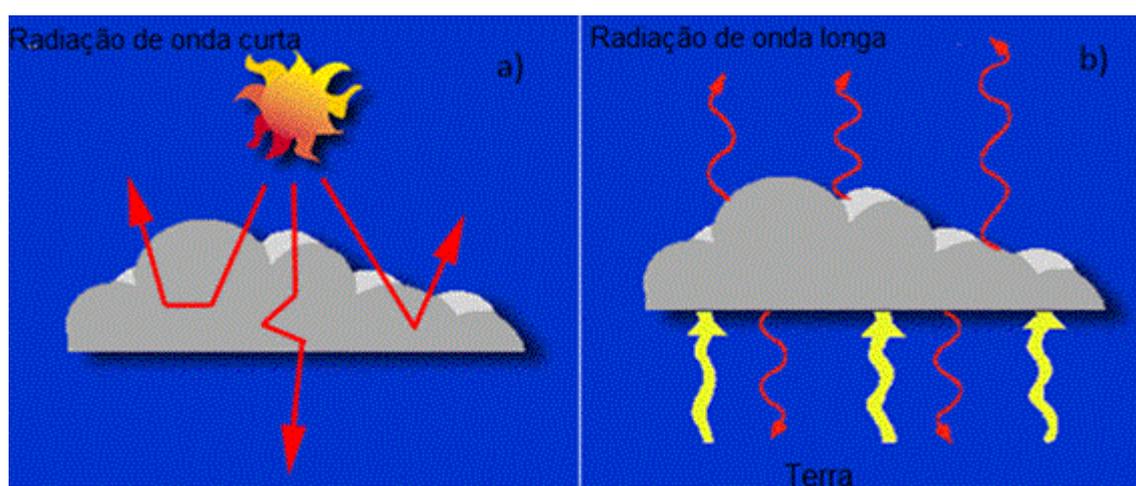


Figura 4: (a) nuvens refletem a luz solar ao espaço e parte é disseminada para a terra; (b) nuvens restringem emissão para o espaço e parte é disseminada de volta para a atmosfera.

Fonte: Adaptado de Earth Observatory (2014).

## 6. Observação por Satélites

No ano de 1960 foi lançado o Tiros 1, o primeiro satélite utilizado para fins meteorológicos. Os satélites utilizados em meteorologia podem ser classificados em dois tipos principais: de órbita polar e geoestacionária (Figura 5).

Os satélites geoestacionários estão posicionados no plano equatorial terrestre com aproximadamente 36.000 km de altura realizando movimento orbital com a mesma velocidade de rotação da Terra, portanto, a área observada é sempre a mesma na superfície terrestre (VIANELLO; ALVES, 2000). Os satélites geoestacionários fornecem dados para estimar cobertura de nuvens, temperatura na superfície, radiação

solar, ventos, chuvas entre outros dados meteorológicos com resolução temporal de até 30 minutos (FERREIRA, 2006).

Os satélites polares se deslocam de um polo ao outro, possuindo uma altura de aproximadamente 850 km. Tipicamente, a observação da Terra é realizada com o lançamento de dois satélites um que irá observar do Norte para o Sul e o outro do Sul para Norte, realizando um ciclo completo de observação da Terra a cada 12 horas (FERREIRA, 2005). Segundo Florenzano (2008), os satélites em órbitas polares estão sincronizados com o Sol, passando sempre no mesmo horário local sobre o equador.

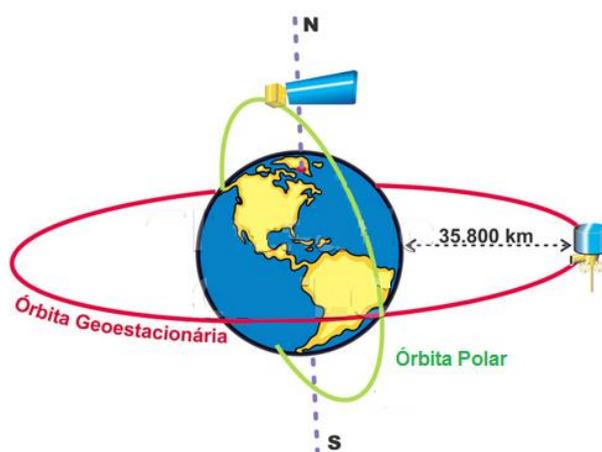


Figura 5: Satélite Geoestacionário e de Órbita Polar  
Fonte: adaptado (CPTEC; 2015)

### 6.1. Satélite Geoestacionário GOES-10

O satélite GOES (*Geoestacionary Operational Enviromental Satellite*) está localizado aproximadamente a 35.800 km da Terra a 60° W. Possui uma órbita equatorial geossíncrona da mesma região da superfície terrestre com uma frequência de 30 minutos (NASA, 2015).

Com uma massa de lançamento de 2105 kg, este satélite iniciou suas atividades em junho de 2006 até dezembro de 2009 a coleta de imagens da América do Sul, atualmente este satélite está inativo (WMO, 2015).

## **7. Sistemas atuantes no Sudeste do Brasil**

### **7.1. Zona de convergência do Atlântico Sul (ZCAS)**

Uma característica marcante da climatologia da América do Sul é uma faixa de nebulosidade que se estende da região Amazônica até a região Sudeste brasileira, conhecida como Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) (KADOMA, 92 E 93; CARVALHO et al., 2004). A ZCAS pode ser identificada por uma nebulosidade que se orienta no sentido noroeste-sudeste (KOUSKY, 1988).

Segundo Kousky (1988), a ZCAS é um sistema que ocorre tipicamente nos meses da primavera, verão e início do outono, sendo mais frequente no mês de janeiro com extensão espacial que pode abranger os estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro, São Paulo, Espírito Santo e por fim no Atlântico Sudoeste.

### **7.2. Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS)**

O Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) é um sistema de alta pressão que possui uma variação ao longo do ano. No verão, a sua localização está afastada do continente contribuindo para o transporte de umidade para o mesmo favorecendo a precipitação. No inverno, o ASAS está próximo ao continente atuando de forma contrária inibindo a entrada de umidade para o continente reduzindo a ocorrência de precipitação (REBOITA et al., 2010).

#### **7.2.1. El Niño**

O El Niño – Oscilação Sul é um fenômeno de duas componentes: uma de natureza oceânica, representado por El Niño e La Niña, e outro de natureza atmosférica, representado pela Oscilação Sul (PHINLANDER, 1990)

O Índice de Oscilação Sul é a diferença de pressão atmosférica entre o Taiti e Darwin. Quando o Índice de Oscilação Sul apresenta valores negativos coincide com o evento de El Niño e positivo com La Niña (PHINLANDER, 1990).

O fenômeno El Niño ocorre quando há um aumento de temperatura da superfície do mar sobre o oceano Pacífico Equatorial (centro-leste). A La Niña é a fase

oposta do El Niño sendo caracterizado pelo resfriamento anormal das águas do Pacífico Leste (PHINLANDER, 1990).

O *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) propõe que os eventos de El Niño e La Niña sejam monitorados através de anomalias de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) através do índice conhecido como *Oceanic Niño Index* (ONI).

O El Niño e a La Niña, vem sendo estudado como um dos fenômenos responsáveis pelo aumento ou diminuição da precipitação em diversas regiões pelo mundo. Segundo Grimm (2009), em anos de El Niño é comum a diminuição da precipitação nas regiões Norte e Nordeste do Brasil, ocasionando em secas no Nordeste e precipitações na Região Sul

De acordo com Minuzzi et al. (2007), o ENOS apresentam fraca correlação sobre os dados de precipitação para a região Sudeste no período de 1950 a 2000 para os estados de Minas Gerais, São Paulo, Rio de Janeiro e Espírito Santo.

Segundo Coelho et al. (1999), utilizaram dados mensais de precipitação de 206 estações meteorológicas para a série histórica de 1960 a 1998 interpolando os dados e classificando de forma sazonal, e de acordo com a sua intensidade (forte, fraco, moderado).

- No verão em anos com intensidade forte apresentaram anomalias positivas ao Sul e anomalias negativas ao Norte, em anos que apresentaram eventos com intensidade fraco houve uma desintensificação nas anomalias; nos eventos de La Niña o Centro do Brasil apresentou anomalias negativas, e as anomalias positivas se apresentaram no Centro do Norte brasileiro; no Sudeste os padrões se invertem de anomalias negativas quando a intensidade é forte para positivas quando a intensidade é fraca para o evento de La Niña;
- No outono houve semelhança entre os dados, porém as anomalias positivas no Amapá e negativas no Centro – Oeste;
- No inverno ocorreu uma semelhança entre os dados de precipitação em quase todo o país; entretanto ocorreram anomalias negativas na região Sul para a intensidade fraca. No evento de La Niña o Nordeste e Norte do Brasil apresentaram anomalias positivas;

- Na primavera ocorreram anomalias positivas para o extremo Noroeste e Rio Grande do Sul, as anomalias negativas apresentaram-se no Norte do Mato Grosso e Sul do Pará, e Região Sudeste nos eventos que apresentaram intensidade fraca;

## **8. MATERIAL E MÉTODOS**

### **8.1. Local de estudo**

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2015), a cidade de São Paulo possui uma área de 1.521,110 km<sup>2</sup> com uma população estimada no ano de 2015 de 11.967.825 habitantes.

De acordo com Cavalcanti et al. (2009), um dos fatores que influenciam o clima na região de São Paulo são a maritimidade e a continentalidade. Esses fatores contribuem na particularidade do clima para a região, apresentando grandes contrastes devido a posição latitudinal próximo ao Trópico de Capricórnio. Nos meses de verão os raios solares incidem perpendicularmente à superfície gerando um maior aquecimento ao contrário do que ocorre nos meses de inverno (REBOITA et al., 2012).

De acordo com Pereira Filho et al. (2007), outros fenômenos são responsáveis por intensificar as chuvas na região metropolitana de São Paulo, sendo a ilha de calor e a circulação da brisa marítima.

Segundo Lombardo (1985), o processo de degradação nas áreas urbanas, ocorre devido ao crescimento desordenado, que intensifica o desequilíbrio do balanço de energia, decorrente das alterações bruscas do uso do solo. O fenômeno ilha de calor ocorre devido à substituição das superfícies que antes eram úmidas e permeáveis (áreas verdes), por superfícies impermeáveis, como asfalto e concreto, com propriedades térmicas que intensificam a absorção de calor. As alterações locais são observadas de forma bastante expressiva causando impactos negativos, como o aumento da frequência dos dias mais quentes e secos no outono e inverno; e ocorrência de enchentes ao longo da primavera e verão (PEREIRA FILHO et al., 2007).

A ilha de calor se intensifica a partir das 15 horas e continua até aproximadamente às 21 horas. A partir desse horário a atividade urbana diminui, causando a redução dos gradientes de temperatura e, portanto, da ilha de calor. Essa

diminuição também ocorre nos finais de semana quando as atividades socioeconômicas também são menores (LOMBARDO, 1985).

Segundo Lombardo (1985), alguns parâmetros importantes que definem a intensidade da ilha de calor são:

- A falta de vegetação e recursos hídricos diminuem a evaporação, desta forma, a radiação solar que não foi utilizada na evaporação é responsável pelo aquecimento dos edifícios, do ar da cidade e da parte pavimentada;
- Os edifícios e a parte pavimentada da cidade absorvem mais energia, emitindo a radiação de onda longa no período noturno, ocasionando um excesso de temperatura nesse período;
- A inserção de edifícios aumenta a rugosidade e reduz o escoamento zonal.

De acordo com Pivetta e Ramos (2012), as chuvas na cidade de São Paulo são influenciadas por brisas marítimas. Este fenômeno ocorre a partir das 15 horas, pois este horário é quando a brisa marítima quente e úmida chega à cidade de São Paulo distante cerca de 60 km do litoral. Segundo Reboita et al. (2010), as brisas marítimas contribuem para a ocorrência de precipitação, e quando combinado com outros sistemas podem favorecer chuvas intensas. A ação conjunta da brisa marítima com o efeito da ilha de calor potencializa as chuvas vespertinas.

## **8.2. Dados observados em superfície**

Neste estudo foram utilizados dados observados da estação meteorológica localizada no Sul da cidade de São Paulo, no bairro Água Funda, na latitude 23°39'S e longitude 46°37'W no Parque Estadual Fontes do Ipiranga (PEFI). A estação coleta dados de pressão atmosférica, temperatura, umidade do ar, evaporação, precipitação, nebulosidade, radiação solar global entre outras variáveis desde 22 de novembro de 1932 (USP/IAG, 2014). Os dados utilizados neste estudo são de nebulosidade, radiação global, temperatura e precipitação para o período de janeiro de 1961 a fevereiro de 2013.

A estação meteorológica é operada pelo Instituto de Astronomia e Geofísica da Universidade de São Paulo (IAG/USP). As nuvens são observadas pela fração do céu

encoberto em décimos e classificadas em baixa, média e alta com o seu respectivo tipo de nuvem obedecendo aos padrões da WMO (IAG/USP, 2010). A observação de nuvens é realizada de acordo com a visibilidade do horizonte, pois o entorno é limitado. Isso ocorre devido à localização próxima de uma área de mata. Outros fatores limitam a observação, como os prédios e portarias (PEREIRA FILHO et al., 2007).

A observação visual de nuvens é realizada no período das 07 h às 24h, por técnicos capacitados seguindo as normas internacionais. Registros em branco foram substituídos por NaN (*not a number*) para facilitar a manipulação numérica dos dados.

A estação possui observadores que também utilizam instrumentos mecânicos automáticos, dentre eles o actinógrafo bimetálico localizado na torre da estação. Este equipamento é utilizado para determinar a média da radiação global diária durante o período diurno. Vale ressaltar que, a partir de 1998, para minimizar a quantidade de erros, o procedimento foi modificado. As medições são realizadas diariamente das 07 às 24 horas por técnicos da estação; na madrugada os instrumentos apenas registram os dados completando o período diário (IAG/USP, 2010).

Os dados de radiação global são coletados e disponibilizados em MJ/m<sup>2</sup> e, para este estudo foram convertidos em W/m<sup>2</sup>. Em caso de dados faltosos registrados com valores negativos (-999), estes foram substituídos por valores NaN.

De acordo com Guedes e Machado (2000), ao comparar os dados observados de nebulosidade na superfície com os dados adquiridos por satélites meteorológicos são encontradas algumas dificuldades pois os dados de observação visual são classificados pelo observador na superfície, desta maneira as nuvens baixas são mais precisas; já as nuvens observadas por satélites ocorrem ao contrário: as nuvens altas são mais precisas.

Para uma avaliação sazonal, a base de dados foi manipulada de modo que as análises foram realizadas para as estações do ano definidas como: verão (dezembro, janeiro e fevereiro), outono (março, abril e maio), inverno (junho, julho e agosto) e primavera (setembro, outubro e novembro).

### **8.3.Dados do Satélite GOES-10**

A base de dados de radiância do canal do visível do satélite GOES-10 foram cedidos na forma de mídia (CD) pelo Centro de Ciência do Sistema Terrestre do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CCST-INPE). O período utilizado neste

estudo abrange os anos de 2007 a 2008 para o horário entre 07 e 19 horas. Os arquivos são binários e possuem uma resolução espacial de 1km<sup>2</sup> por pixel, com uma matriz de pixel de 1784 linhas com 1180 colunas cobrindo o território da América do Sul.

Os dados do satélite estão disponíveis para toda a América do Sul sendo necessário especificar o ponto de pixel que se refere à estação meteorológica do IAG-USP. Para este estudo, utilizou o valor médio do Coeficiente de Cobertura de Nuvens de uma área de 3x3 pixels ao redor do pixel onde a estação meteorológica do IAG-USP está localizada.

As imagens do canal do visível são como retratos em preto e branco: os locais mais claros representam as nuvens, pois estas refletem mais a radiação solar do que oceanos e continentes. A espessura das nuvens determina a reflexão dos raios solares, quanto mais espessa maior será a refletividade. Porém as imagens noturnas não podem ser capturadas uma vez que a noite não há incidência de raios solares (FERREIRA, 2005).

A determinação do Coeficiente de Cobertura de Nuvens foi calculada com base nas radiâncias do canal do visível. A resolução temporal dos dados é de 30 minutos. As imagens estão no horário definido como *Universal Time Coordinate* (UTC) no qual se refere ao horário do meridiano de Greenwich. Sendo assim, é necessário corrigir de acordo com o fuso horário de Brasília, sendo 2 horas para o verão e 3 horas para as demais estações.

Os dados do Coeficiente de Cobertura Efetiva de Nuvens não estão imunes a falhas tendo a Figura 6 que retrata um exemplo da imagem do satélite da série GOES-10. Os valores negativos contidos nas matrizes podem significar erros de leitura ou dados noturnos. Os dados noturnos são aqueles que ainda não receberam radiação solar, deste modo o valor de Coeficiente de Cobertura Efetiva de Nuvens não é identificado e foram definidos como NaN.

Como os dados de satélite possuem uma resolução temporal de 30 em 30 minutos diferente dos dados observados na estação meteorológica que são dados horários, foi realizada uma média para sincronizar as duas bases de dados em uma escala temporal idêntica.

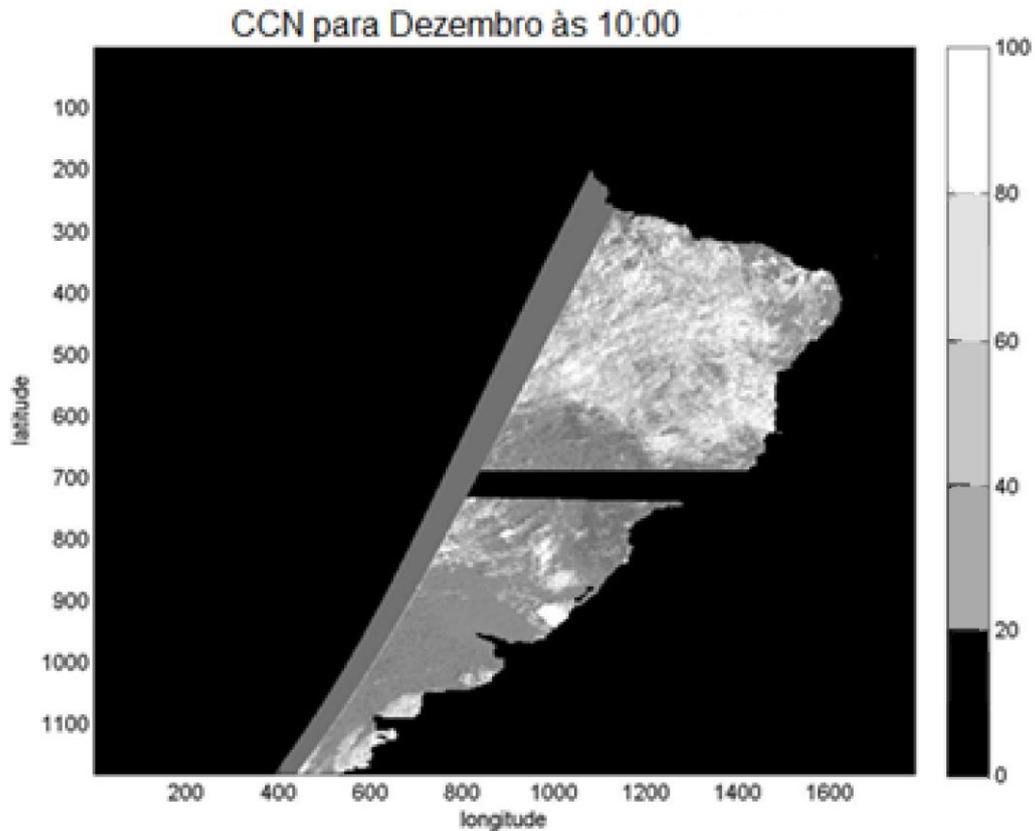


Figura 6: Imagem do Satélite GOES-10, apresentando falhas de leitura na região do estado de São Paulo. O lado esquerdo da imagem aparece escuro por não estar iluminado pelo Sol e os pixels estão identificados como noturno.

A base de dados disponibiliza o Coeficiente de Cobertura de Nuvens calculado com base nas radiâncias do canal do visível observadas pelo satélite geoestacionário. Desta forma o Coeficiente de Cobertura Efetiva de Nuvens foi obtido com o uso de dois diferentes algoritmos:

- a) Técnica máxima e mínima, usando os valores da área da estação meteorológica dos dados de satélite GOES-10 descrita na equação (8.1),
- b) Técnica percentil 5% e 95%, usando os valores da área da estação meteorológica dos dados de satélite GOES-10 descrita na equação (8.2).

$$CCN = \frac{L_R - L_{CLR}}{L_{CLD} - L_{CLR}} \quad (8.1)$$

onde:

**CCN**: Coeficiente de Cobertura de Nuvens;

**L<sub>R</sub>**: média de radiância medido pelo satélite;

**L<sub>CLR</sub>**: radiância associada à condição de céu claro que equivale ao valor mínimo de L<sub>R</sub>;

**L<sub>CLD</sub>**: radiância associada à condição de céu encoberto que equivale ao valor máximo de L<sub>R</sub>.

A utilização dos valores máximos e mínimos de radiância podem acarretar erros, por que os valores extremos de radiância observados pelo satélite podem apresentar valores que não são correspondentes aos valores reais, sendo caracterizados como “ruídos” (MARTINS et al., 2004a). Para tentar minimizar os erros causados pela utilização dos valores máximos e mínimos de radiância foi proposto neste trabalho o uso dos percentis 5% e 95%.

$$CCN_{PER} = \frac{L_R - L_{CLRPER05}}{L_{CLDPER95} - L_{CLRPER05}} \quad (8.2)$$

onde:

**CCN<sub>PER</sub>**: percentil do Coeficiente de Cobertura de Nuvens;

**L<sub>R</sub>**: média de radiância medido pelo satélite;

**L<sub>CLRPER05</sub>**: radiância associada à condição de céu claro que equivale ao percentil de 5 do L<sub>R</sub>;

**L<sub>CLDPER95</sub>**: radiância associada à condição de céu encoberto que equivale ao percentil de 95 de L<sub>R</sub>.

Os valores de CCN variam de zero a dez, sendo que valores próximos de zero correspondem à condição de céu claro e valores iguais a 10 correspondem a céu completamente nublado.

As duas técnicas demonstradas neste trabalho, apresentam necessidades de ser comparadas com dados de superfície, para validar os dados adquiridos pelo satélite.

#### 8.4. Cálculo da radiação no topo da atmosfera e índice de claridade (Kt)

O índice Kt representa a “transparência” da atmosfera para a transmissão da radiação solar e foi utilizado para comparar com dados de nebulosidade visual e obtidos por satélite. Considerando que a nebulosidade é o principal fator de modulação da irradiação solar incidente na superfície, o índice de Kt apresenta uma correlação elevada com a nebulosidade. O índice de claridade foi calculado a partir da equação (8.3) descrita por Iqbal (1983), sendo a irradiância solar global (**IG**) incidente na superfície e  $I_0$  é a radiação solar incidente no topo da atmosfera.

$$Kt = \frac{IG}{I_0} \quad (8.3)$$

Para calcular a radiação no topo da atmosfera (**I<sub>0</sub>**) são necessários dados referentes à órbita da Terra: a excentricidade ( $E_0$ ) e a declinação ( $\delta$ ). A radiação no topo da atmosfera foi obtida a partir da equação (8.4) descrita por (Iqbal, 1983):

$$I_0 = I_{sc} E_0 (\sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos \omega) \quad (8.4)$$

onde:

$I_{sc}$ : é a constante solar que equivale aproximadamente 1367 W/m<sup>2</sup>;

$\phi$ : latitude geográfica da estação meteorológica do IAG-USP (-23,65° S) - por convenção se utilizam valores positivos localizados ao hemisfério Norte e negativos no hemisfério Sul;

$\omega$ : é o ângulo horário que, segundo Vianello e Alves (2000), apresenta variação de 15° por hora e se deve ao fato que a Terra completa uma volta em seu próprio eixo no intervalo de 24 horas. Por convenção, seu valor é 0° às 12h00 horário local, com valores negativos adotados antes do meio dia, os valores positivos para as horas posteriores ao meio dia.

A radiação calculada no topo da atmosfera é atenuada ao atravessar a atmosfera, de modo que, a energia que atinge a superfície terrestre é menor do que no topo.

Portanto,  $K_t$  apresentará valores entre 0 a 1. A Figura 7 apresenta a variação dos valores de  $K_t$  e as definições adotadas para as condições de nebulosidade presente.

O índice de claridade permite estabelecer uma indicação das condições de céu claro e encoberto por nebulosidade para uma determinada área. Vale ressaltar que quando o céu estiver totalmente claro o  $(1-K_t)$  não vai apresentar o valor zero (0), pois a radiação sofre a interação com os gases e materiais particulados presentes na atmosfera. O mesmo vale para  $K_t$  com valores igual a um (1), mesmo a cobertura de nuvem estando alta ainda existe a incidência de radiação solar difusa.

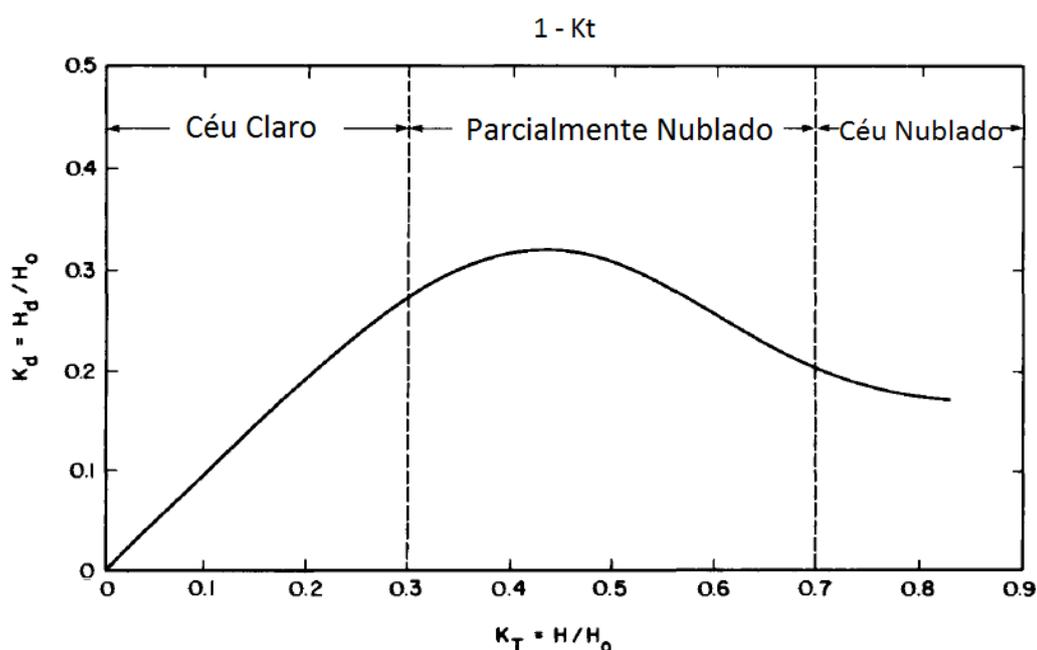


Figura 7: Variação do índice de claridade ( $1-K_t$ ), o  $K_d$  é razão entre a radiação difusa e a radiação global.  $K_t$  é a razão entre a radiação Global e a radiação no topo da atmosfera.

Fonte: Adaptado Iqbal (1983)

O cálculo do índice de claridade para a área da estação meteorológica verificará a relação dos dados de nebulosidade observados e estimados pelo satélite (que possuem dados faltantes), desta forma, tentar produzir um efeito positivo sobre essas estimativas garantindo maior confiabilidade dos dados, colaborando para a melhoria de estimativas a partir de dados já disponíveis.

## 8.5. Padronização dos dados anuais observados

Para melhor detalhamento da análise das anomalias dos episódios de El Niño e La Niña, os dados foram padronizados. Desta forma o valor padronizado representa o número de desvios-padrão, no qual o valor de  $x$  se distância da média.

Os dados observados de nebulosidade e radiação solar incidente na superfície foram padronizados através da equação (8.5). O valor da variável é subtraído da média da série climatológica e dividido pelo desvio padrão.

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (8.5)$$

onde:

Z: dado padronizado;

$\sigma$ : desvio padrão;

$x$ : média anual;

$\mu$ : média climatológica.

### 8.5.1. Avaliação de anomalias referentes aos anos de El Niño e La Niña nos dados de nebulosidade e irradiação solar

A padronização dos dados teve como objetivo verificar se em anos de El Niño ou La Niña houve uma contribuição ou não para o aumento ou redução de irradiação solar e nebulosidade para a cidade de São Paulo.

O *Oceanic Niño Index* (ONI) monitora a ocorrência de eventos de El Niño e La Niña, este índice é identificado através das anomalias da Temperatura da Superfície do Mar (TSM), na região do Niño 3.4 (5°N – 5° S e 120° - 170° W) através de uma média móvel trimestral (NOAA, 2015). Os dados disponibilizados pelo NOAA identificam a atuação dos eventos El Niño e La Niña e neutralidade climática (quando não ocorre o fenômeno El Niño e La Niña). Se o ONI for  $\leq 0,5$  para um período consecutivo de no mínimo cinco médias móveis trimestrais tem-se a fase La Niña. Entretanto se o índice for  $\geq 0,5$  para um período de no mínimo cinco vezes consecutivas, ocorre o evento El Niño sendo a fase positiva. Com base na tabela (ONI), foram separados os anos de El Niño e La Niña com intensidade forte conforme a Tabela 1.

Tabela 1: Eventos de El Niño e La Niña baseado nos dados *Oceanic Niño Index* com intensidade forte para o período de 1961 a 2013

El Niño	La Niña
1965 – 1966	1973 – 1974
1972 – 1973	1975-1976
1982 – 1983	1988 – 1989
1987-1988	1999 – 2000
1990-1993	2007 - 2008
1997-1998	

## 9. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para elaboração da análise de dados foi utilizado o pacote computacional MATLAB. É um pacote que possibilita a elaboração de scripts em linguagem de programação própria para resolução de problemas matemáticos (CHAPMAN, 2003).

### 9.1.Dados faltantes

A série histórica dos dados de radiação solar não apresentou lacunas. A porcentagem de dados de nebulosidade indisponíveis foi de 6,55% (22926 dados), para um total de 100% (349506 dados). A Tabela (2) apresenta a relação da porcentagem dos dados de nebulosidade indisponíveis para cada mês em toda a serie histórica.

Tabela 2: Porcentagem dos dados faltantes de nebulosidade

Meses	Porcentagem (%)	Meses	Porcentagem (%)
Janeiro	0,17	Julho	0,76
Fevereiro	0,56	Agosto	0,77
Março	0,31	Setembro	0,29
Abril	0,45	Outubro	0,60
Maiο	0,46	Novembro	1,13
Junho	0,29	Dezembro	0,76

## 9.2. Ciclo diário da Nebulosidade

Apresenta-se neste tópico, as médias horárias sazonais dos dados observados na estação meteorológica operada pelo IAG/USP ao longo do período de janeiro de 1961 a fevereiro de 2013, juntamente com os dados do Coeficiente de Cobertura Efetiva de Nuvens (satélite). De acordo com a organização meteorológica Mundial (OMM), a normal climatológica refere-se a valores médios de um período de no mínimo 30 anos.

Os dados do Coeficiente de Cobertura Efetiva de Nuvens obtidos a partir da análise de imagens de satélite referem-se a um período de 2 anos e, portanto, não permitam uma avaliação climatológica.

A Figura 8 ilustra os resultados obtidos com aplicação da equação 8.1 (máximo e mínimo) para o Coeficiente de Cobertura Efetiva de Nuvens ao longo do período de estudo (2007 e 2008), em comparação com as médias horárias dos valores das observações das nuvens a partir da superfície para o período de (1961 a 2013) com o cálculo do desvio padrão e média climatológica.

Há uma diferença conceitual importante entre as variáveis. O Coeficiente de Cobertura Efetiva de Nuvens é influenciado pela espessura ótica da nuvem enquanto que os dados de nebulosidade observados a partir da superfície indicam apenas qual a fração do céu encoberto sem avaliar a espessura ótica. Além disso, os valores obtidos por satélite assumem que a cobertura de nuvens está distribuída uniformemente por toda a área de 3X3 pixels. Dessa forma, procurou-se observar o comportamento entre as duas bases de dados.

Segundo Oliveira e Dias (1982) e Pivetta e Ramos (2012), as precipitações na cidade de São Paulo, ocorrem boa parte no meio para o final da tarde, pois neste período a brisa marítima, quente e úmida atinge a cidade, favorecendo a formação de nuvens de precipitação. Nas estações de primavera (setembro – outubro - novembro) e verão (dezembro - janeiro – fevereiro) a nebulosidade passa a aumentar no período da tarde e após o horário da precipitação ocorre à diminuição da nebulosidade, coincidindo com o período de precipitação na cidade após as 16 horas.

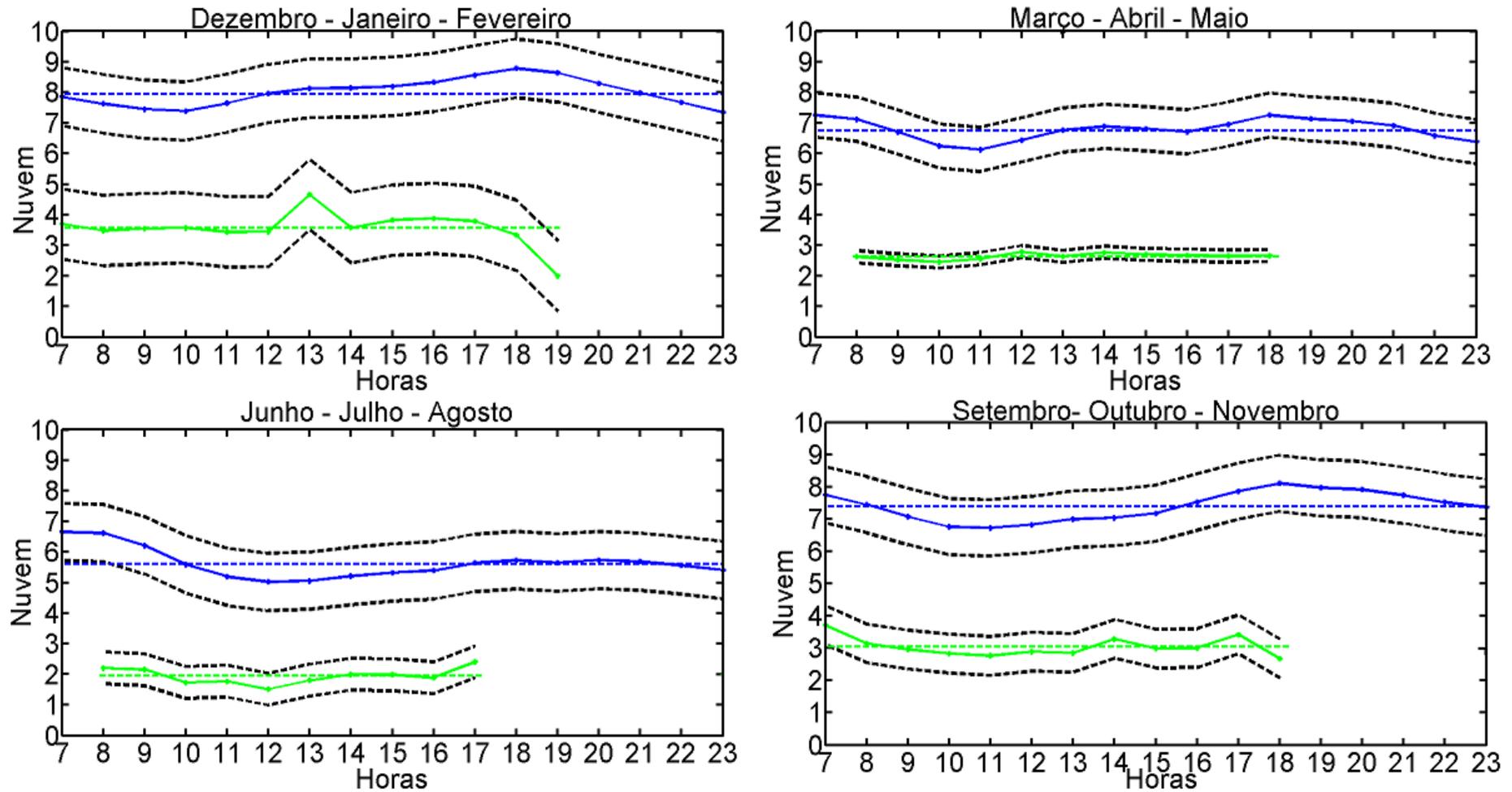


Figura 8: Comparação entre as médias horarias sazonais do Coeficiente de Cobertura Efetivo de Nuvens (máximo e mínimo) representado pela cor (verde com traço contínuo) com os dados visuais de nebulosidade (azul contínuo) coletados na estação meteorológica do IG/USP na cidade de São Paulo. A normal climatológica para os dados visuais estão em (azul --) e a média do Coeficiente de Cobertura Efetiva de Nuvens em (verde --), o desvio padrão para ambas variáveis são (preto --).

Ao adotar os valores mínimos horários de radiância no canal do visível, os dados do Coeficiente de Cobertura Efetiva de Nuvens estão sujeitos a desvios causados por sombras de nuvens em dias parcialmente nublados e a possíveis erros de navegação (MARTINS et al., 2004a). A fim de minimizar os possíveis erros utilizou os valores de percentis 5% e 95% em substituição dos valores extremos de mínimo e máximo conforme descrito na eq. 8.2. A Figura 9 apresenta a evolução dos valores médios diários dos dados de Cobertura Efetiva de Nuvens e os dados de nebulosidade observados na superfície.

Ao comparar visualmente as médias horárias da Figura 8 e Figura 9, verificou-se que os dados de CCN e  $CCN_{PER}$  são equivalentes e não houve uma diferença considerável com a utilização do percentil. O período de inverno, outono e primavera obtiveram menores variações; isto pode estar ocorrendo, pois o satélite pode ter tido menores interferências na coleta de dados. As médias horárias para o período de verão para o CCN (máximo e mínimo) estão mais dispersos em relação ao  $CCN_{PER}$  (5% e 95%). Desta forma optou-se por utilizar para os demais horários os dados do Coeficiente de Cobertura de Nuvens em relação aos valores máximos e mínimos de radiância.

O comportamento das médias horárias dos valores observados e valores estimados pelo satélite na Figura 8 e Figura 9 são semelhantes para as estações de outono, inverno e primavera. Para o período de verão o comportamento não foi semelhante. Estes resultados foram influenciados pela interferência da nebulosidade, que pode prejudicar a coleta dos dados de satélite que utilizam a leitura de radiância no canal do visível. Pode-se verificar que o desvio padrão na técnica de mínimo e máximo foi elevado em relação aos demais períodos, caracterizando leituras com valores dispersos. Para tentar minimizar possíveis dados errôneos utiliza-se a técnica do percentil 5% e 95%, porém para esta época do ano o comportamento continuou distinto em relação aos dados observados.

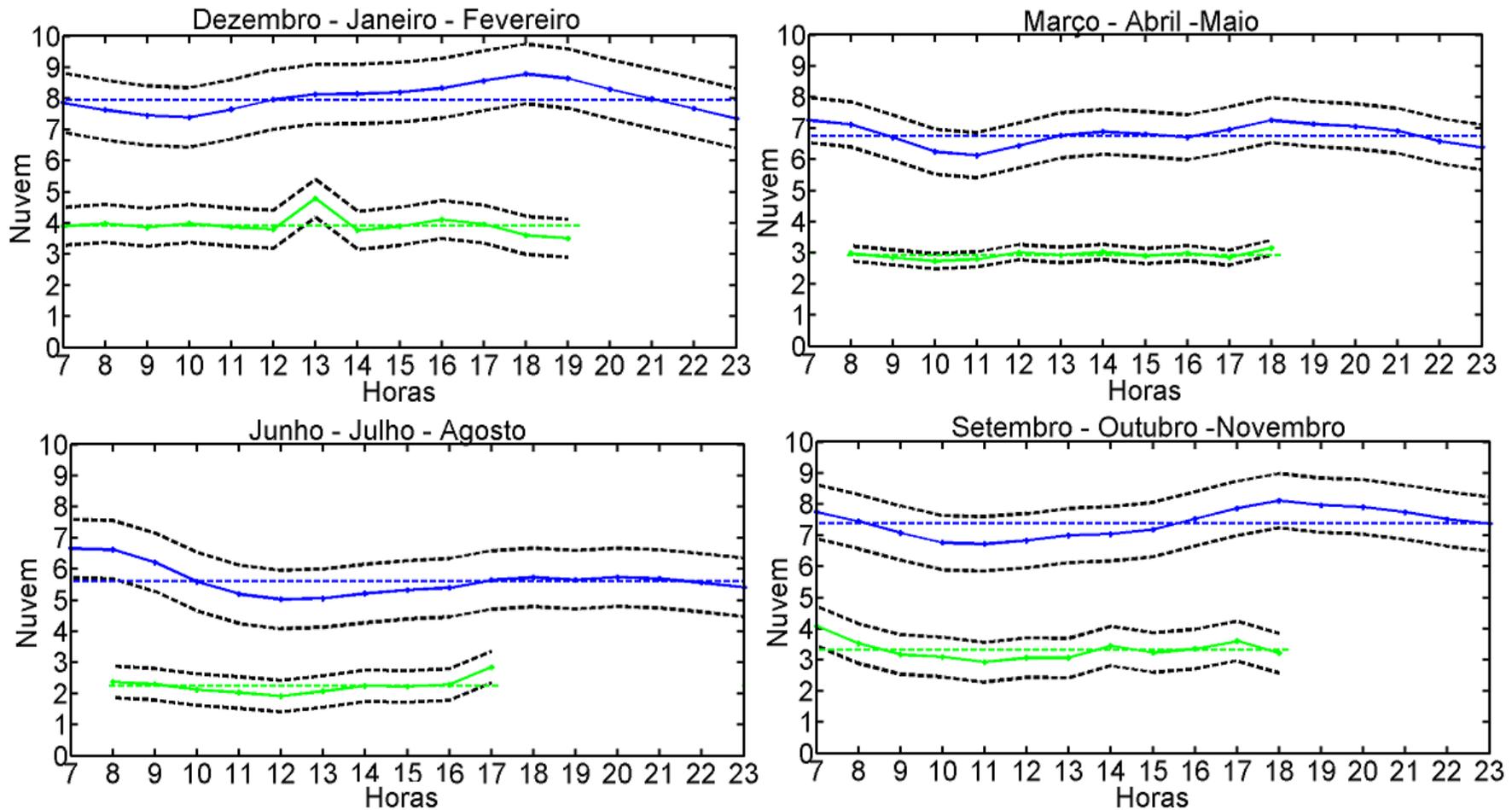


Figura 9: Comparação entre as médias horárias sazonais do Coeficiente de Cobertura Efetivo de Nuvens (Percentil 5% e 95%) representado pela cor (verde com traço contínuo) com os dados observacionais de nebulosidade (azul contínuo) coletados na estação meteorológica do IG/USP na cidade de São Paulo. A normal climatológica para os dados observados estão em (azul --) e a média do Coeficiente de Cobertura Efetiva de Nuvens em (verde --), o desvio padrão para ambas variáveis são (preto --).

### 9.3. Ciclo anual da Nebulosidade

De acordo com Pereira filho et al. (2007), a região metropolitana de São Paulo apresenta o período mais seco do ano no período de outono/inverno. Os meses mais úmidos ocorrem no período de verão/primavera, quando há possibilidade de eventos mais intensos de chuvas e enchentes em diversas regiões da cidade.

A Figura 10 ilustra a climatologia média mensal de nebulosidade observada em comparação com o valor complementar do índice de claridade (1-Kt). Os dados do Coeficiente de Cobertura Efetiva de Nuvens (satélite) também estão apresentados na Figura 10

Observou-se uma sincronia entre o índice de claridade e a nebulosidade ao longo dos meses do ano:

- A nebulosidade máxima ocorre no verão com valores acima da normal climatológica;
- A nebulosidade passa a diminuir no outono e atinge os valores mínimos (abaixo da normal climatológica) no inverno quando ocorrem dias de baixa umidade;
- O aumento da nebulosidade tem início na primavera.

A justificativa para maior média de nebulosidade ao longo de verão são as influências locais, como forte atividade convectiva associada com ilha de calor e brisa marítima. Também há ocorrência de fenômenos de maior escala como a ação do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul, que nesta época do ano favorece a entrada de umidade no Sudeste brasileiro e a ocorrência da Zona de Convergência do Atlântico Sul, transportando umidade da Amazônia para o Sudeste (Barbieri et al., 2014). No inverno ocorre o enfraquecimento dos dois fenômenos diminuindo a entrada de umidade e o enfraquecimento da convecção local (PEREIRA FILHO et al., 2007; REBOITA et al., 2010). De acordo com Vianello e Alves (2000), a região Sudeste apresenta precipitações durante o ano todo. No período de inverno a ocorrência de chuva tende a acontecer devido aos sistemas frontais.

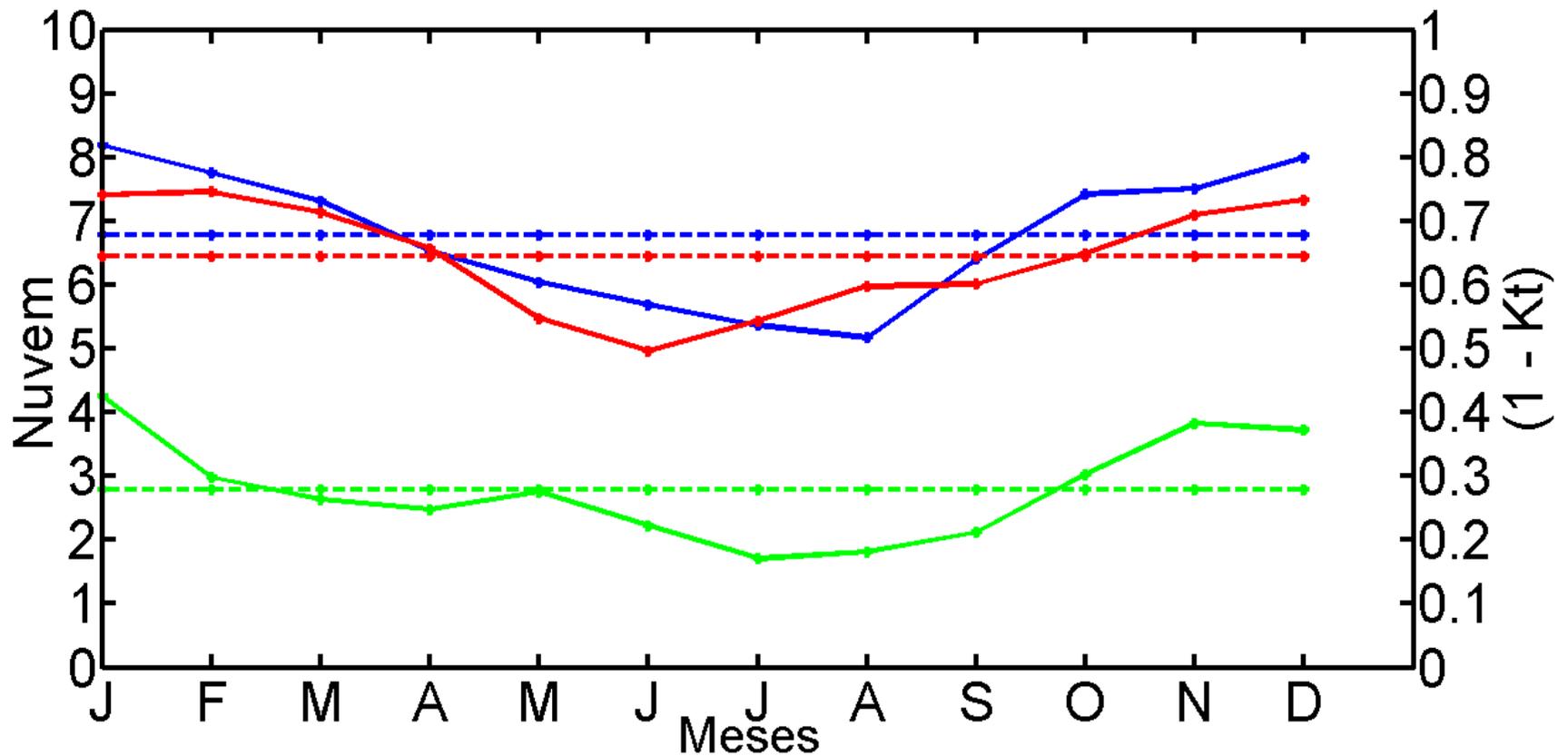


Figura 10 – Comparação dos valores médios mensais dos dados de nebulosidade observados (em azul contínuo) e do valor complementar do índice de claridade (1 - Kt) (vermelho contínuo) adquiridos na estação IAG-USP durante o período de 1961 a 2013. As médias climatológicas estão indicadas pelas linhas tracejadas. A média mensal do Coeficiente de Cobertura Efetiva de Nuvens (verde contínuo) e a média (verde tracejado) para os anos de 2007 e 2008

As nuvens baixas são responsáveis por refletir radiação solar incidente provocando o resfriamento do sistema Terra-atmosfera. As nuvens altas são constituídas por cristais de gelo como a nuvem Cirrus, favorecem a absorção da radiação emitida pela superfície, ocasionando o aquecimento Terra/Atmosfera (WENDISCH et al., 2005).

Na Figura 11 os dados de nebulosidade estão separados por nuvens baixas (azul claro), médias (vermelho) e altas (preto). O total de nuvens está indicado pela cor (azul escuro), os dados em (verde) indicam os valores médios do Coeficiente de Cobertura Efetiva de Nuvens estimados a partir do satélite GOES-10. Observa-se que mais da metade da Cobertura Total de Nuvens é constituído por nuvens baixas, que refletem mais radiação solar de volta ao espaço. Isso ocorre porque as nuvens baixas são mais densas e existe mais vapor d'água disponível nas altitudes baixas e médias ao contrário para as nuvens altas que são nuvens mais finas. Quanto maior for à área de nuvens baixas menor vai ser a radiação solar que incide sobre a superfície terrestre.

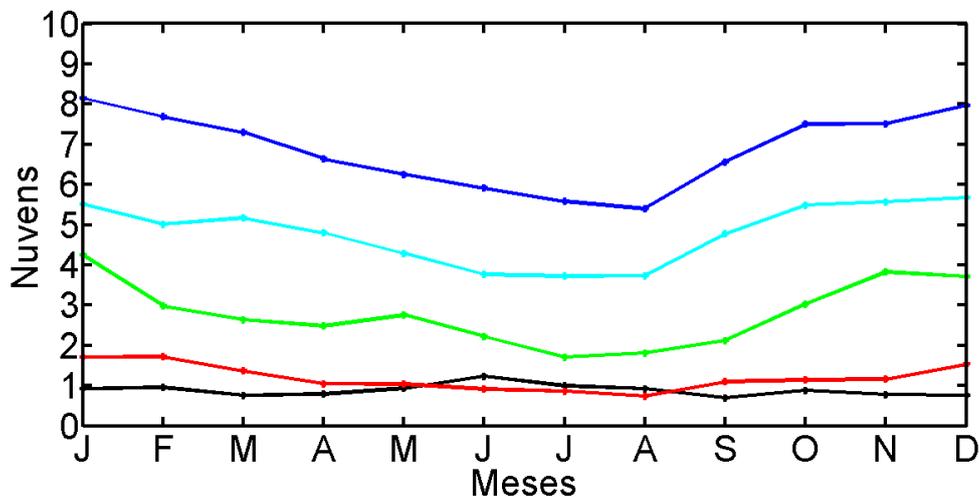


Figura 11: Média mensal dos dados de nebulosidade total (azul escuro), nuvens baixas (azul claro), nuvens médias (vermelho) e nuvens altas (preto). A linha verde representa o Coeficiente de Cobertura Efetiva de Nuvens calculada a partir da análise das imagens do canal visível do satélite GOES-10.

As médias mensais sazonais dos dados observados, precipitação e temperatura, para o período de janeiro de 1961 a fevereiro de 2013 estão ilustradas na Figura 12. Verifica-se que os maiores índices de precipitação ocorrem nos meses de dezembro a março, quando existem os maiores valores médios de temperaturas e nebulosidade. Os meses que apresentam menor média de nebulosidade são os meses de inverno e possuem os menores índices de precipitação e temperatura. O ciclo anual da cobertura

total de nuvens (observado) é visualmente similar ao ciclo apresentado pela precipitação:

- Com valores máximos no período de janeiro quando os dias são mais longos e existe uma atividade convectiva maior;
- Com valores mínimos no período de agosto quando as noites são mais longas e, nesta época do ano, o Hemisfério Sul recebe menos energia diminuindo a atividade convectiva.

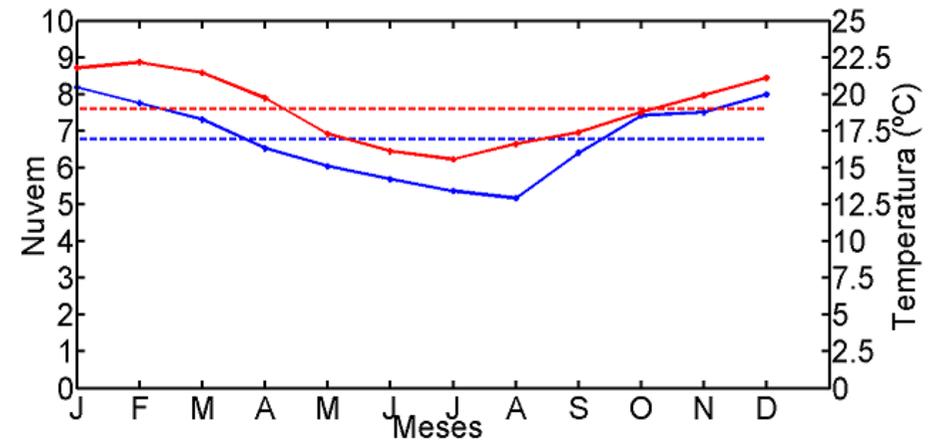
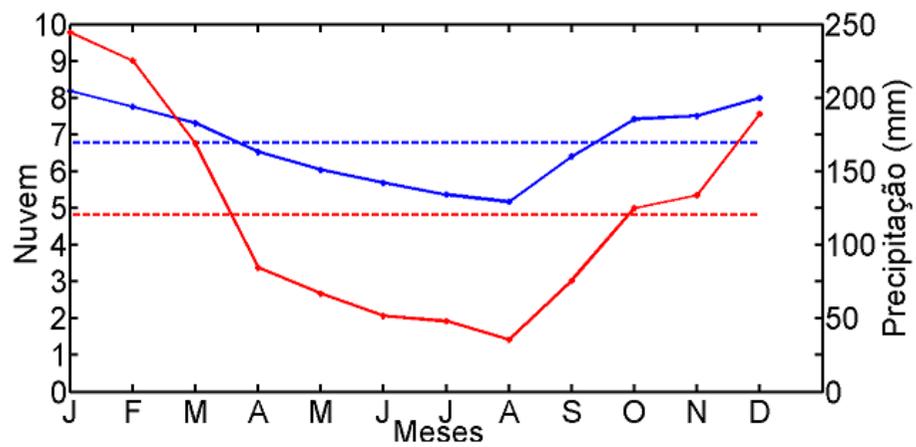


Figura 12: a) Comparação mensal dos dados de nebulosidade total (azul contínuo) e precipitação (vermelho contínuo) com suas respectivas médias climatológicas em (tracejado) b) Comparação mensal dos dados de nebulosidade total (azul contínuo) e temperatura (vermelho contínuo) com as suas respectivas médias climatológicas para a cidade de São Paulo.

#### **9.4. Anomalia nos dados anuais de nebulosidade**

Estudos anteriores indicam que os fenômenos El Niño e La Niña possuem pouca influência sobre a região Sudeste do Brasil (SOARES et al., 2008). Os efeitos de La Niña para a região Sudeste são caracterizados por temperaturas um pouco abaixo ou próximas da normal climatológica no período de inverno (MARENGO e OLIVEIRA, 1998).

A fim de observar se esses fenômenos interferem na quantidade de cobertura e nuvens para a cidade de São Paulo, a Figura 13 ilustra as médias padronizadas dos dados de nebulosidade visual. Os pontos em preto identificam a ocorrência de El Niño e os pontos em rosa indicam os anos de ocorrência de La Niña. No ano de 1986, para o período de Setembro, Outubro e Novembro, não houve observação visual de nuvens.

Segundo Nimer (1979), os índices pluviométricos para as regiões tropicais são caracterizados por irregularidade nas chuvas, apresentando comportamentos distintos de ano para ano de modo que os dados anuais podem se afastar bastante da média. A Figura 13 indica que o mesmo fenômeno pode ser verificado para os dados de nebulosidade que apresenta valores não lineares.

Segundo estudos de Minuzzi et al. (2007a), boa parte do estado de São Paulo, em anos de La Niña, ocorre um aumento na precipitação para o período de novembro a março. A nebulosidade, para o período de verão exceto o ano de 2007 se manteve com valores positivos para os anos La Niña em relação à média padronizada, é uma estação que sofre muitas influências locais e externas, podendo haver pouca relação com o período desses eventos.

No período de verão em anos de La Niña, os índices de nebulosidade se apresentaram próximos ou acima da média. Observa-se que normalmente a nebulosidade é menor no primeiro ano de ocorrência de La Niña, seguido por um ano mais intenso de nebulosidade. No período de 1973 a 1976 foi registrado o evento de La Niña por quatro anos consecutivos com intensidade forte. Nos dois últimos anos, durante a primavera e verão, ocorreu um alto índice de nebulosidade, atingindo o pico da série histórica.

Segundo Coelho et al. (1999), no outono os eventos de El Niño a região Sudeste apresenta anomalias positivas, para os dados de nebulosidade deste mesmo período em anos de El Niño houve resultados positivos e negativos. Em anos de La Niña há uma

diminuição de nebulosidade no período de outono em relação ao período de verão, tais resultados coincidem com os estudos de precipitação de Coelho et al. (1999).

De acordo com Coelho et al. (1999), na estação de inverno em anos de El Niño com intensidade fraca, todo o país não apresenta uma mudança no comportamento da precipitação, o mesmo ocorre para os dados de nebulosidade com intensidade forte, não há um aumento ou diminuição nos dados de nebulosidade para o mesmo período.

Os dados de Coelho et al. (1999), para a estação da primavera descrevem que em anos de El Niño com intensidade forte, os resultados apresentam maior oscilação entre anomalias positivas, negativas e próxima da normal, os dados de nebulosidade possuem este mesmo padrão com anomalias positivas, negativas e próximas da média padronizada.

Os efeitos causados pela ilha de calor e brisa marítima podem estar relacionados ao alto índice de precipitação causando enchentes. A causa das enchentes se deve a falta de infiltração que ocorre pela cidade. Os sistemas locais atuam sobre a cidade de São Paulo, independente dos fenômenos meteorológicos de escala globais como o El Niño e La Niña (PEREIRA FILHO et al., 2007).

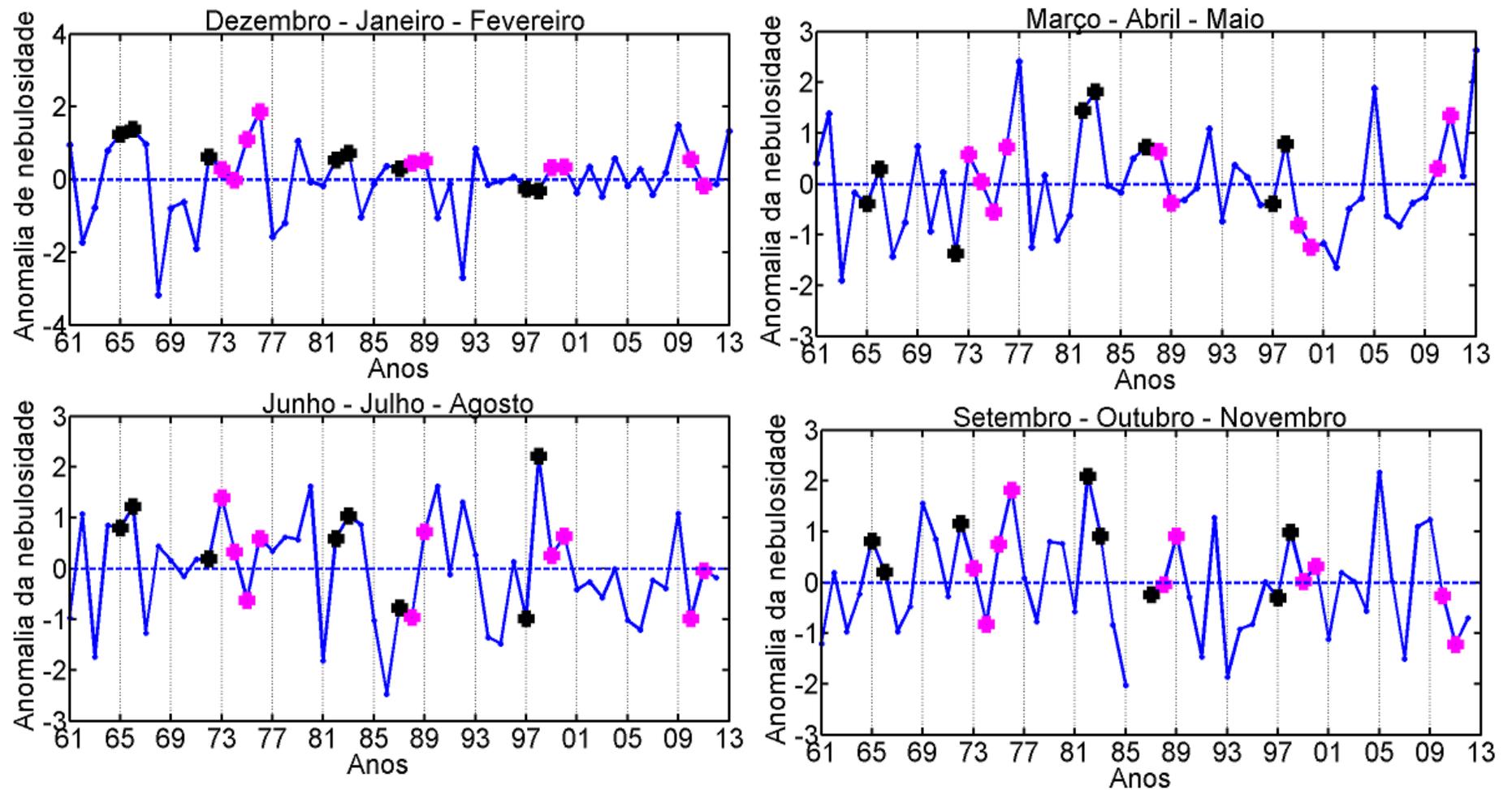


Figura 13: Média padronizada anual dos dados de nebulosidade observados identificado em preto os anos de El Niño; os anos de La Niña estão marcados pela cor rosa. Os demais anos representam o período neutro que não houve a ocorrência do fenômeno El Niño e La Niña. Devido a padronização dos dados a média é igual a zero (0) identificada pela linha tracejada azul.

A Figura 14 ilustra a média padronizada dos dados anuais de irradiação solar para a cidade de São Paulo. Os pontos em preto estão identificados pela ocorrência de anos com El Niño, e em rosa os anos de La Niña com intensidade forte.

No período de verão em anos de La Niña, os índices de radiação global verificados na análise anterior se mantiveram próximos ou acima da média padronizada. Comparando os dados de radiação solar incidente na superfície para o período de verão, verificou-se que para um alto índice de nebulosidade os dados de irradiação solar são baixos (vice versa).

Diferente da análise anterior o período consecutivo de 4 anos de La Niña (1973-1976) considerando os dois últimos anos das estações de primavera-verão não foram observados altos índices de radiação global. Entre os anos de 1973-1974 os dados de radiação global permaneceram abaixo da média. No verão ocorreu um aumento nos dois últimos anos, porém não foi um dos valores mais alto da série histórica. Os dados de primavera se mantiveram próximos à média padronizada, diferentemente dos dados de nebulosidade que oscilaram em anos positivos e negativos. Esta diferença pode estar relacionada devido à interação entre a radiação e nebulosidade pela capacidade de absorção e reflexão desta última.

Na análise anterior Coelho et al. (1999), que em ano de El Niño no período de inverno não apresenta um padrão no comportamento nos índices de precipitação, os dados de nebulosidade e radiação global obtiveram resultados equivalentes para o mesmo período não apresentou um padrão de anomalia positiva ou negativa para a estação de inverno.

Em anos de El Niño na primavera, os resultados de Coelho et al (1999), indicam que não há um padrão no comportamento, ou seja, ocorre anomalias positivas, negativas e próximas da normal, os dados de radiação solar global obtiveram resultados equivalentes para o mesmo período, porém em anos com nebulosidade alta os dados de radiação global se apresentaram abaixo (vice-versa).

No outono os dados de radiação global em anos de El Niño, não apresentam um comportamento como o descrito por Coelho et al. (1999), em anos de El Niño a região Sudeste não apresentou somente anomalias positivas, houve anomalias positivas e negativas. Em anos de La Niña Coelho et al. (1999), observam que há uma diminuição nos dados de precipitação para o período de outono em relação ao de verão, para os dados de radiação global o período de outono em relação ao período de verão, não apresentaram o mesmo comportamento que os dados precipitação citados por Coelho et al. (1999).

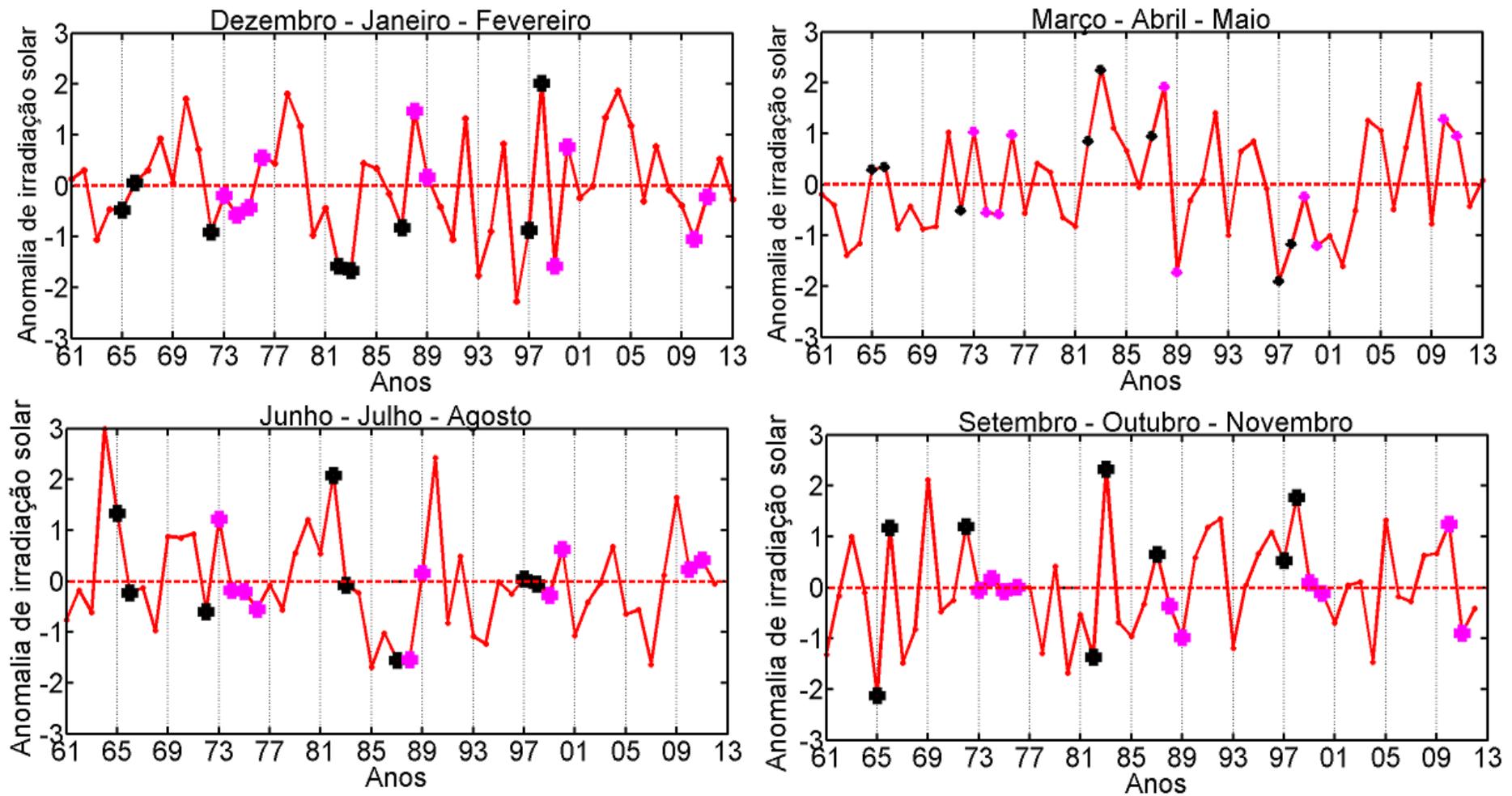


Figura 14: Média anual dos dados padronizados de radiação global, em rosa são os anos de La Niña e em preto El Niño. Devido a padronização dos dados a média é igual a zero (0) identificada pela linha tracejada vermelha

## 10. CONCLUSÃO

Esta pesquisa utiliza os dados observados ao longo do período de janeiro de 1961 a fevereiro de 2013 na estação meteorológica operada pelo IAG/USP na metrópole de São Paulo para compreender e caracterizar a variabilidade da nebulosidade na maior região metropolitana do país. Os dados faltantes da observação visual de nuvens foram de 6,6% o que é uma porcentagem pequena para uma série de dados de aproximadamente 53 anos, desta forma os dados faltantes não devem interferir nos resultados desta pesquisa.

Os dados de Cobertura Efetiva de Nuvens obtidos a partir de imagens de satélite GOES-10 também foram utilizados neste estudo. A determinação deste índice necessita a identificação das condições de céu claro e céu completamente encoberto por nuvens. Duas metodologias foram adotadas para esta identificação: a) utilizando valores extremos (máximo e mínimo) de radiância visível observada pelo satélite e b) utilizando valores de percentis de 5% e 95%. Ambas as metodologias apresentaram um comportamento semelhante ao longo do período de dois anos de dados de satélite disponíveis. O desvio padrão da cobertura efetiva de nuvens diminuiu para o período de verão com a utilização do percentil 5 e 95.

Os dados obtidos através das duas metodologias foram comparados com dados de nebulosidade observados visualmente em superfície e apresentaram comportamento semelhante com máxima nebulosidade no período de verão e mínima no inverno.

Os dados mensais de nebulosidade (observados e estimados pelo satélite) foram comparados com o índice de claridade (1-Kt). Mostrou-se que os meses de outubro a março apresentam maior nebulosidade, com valores mais elevados para o mês de janeiro. Os meses que apresentam menores valores estão entre abril a setembro, na qual a estação de inverno que ocorre os menores valores, coincidindo com os dados mensais de precipitação.

Os dados anuais de temperatura apresentam valores máximos para o período de outubro a abril, com valor mais elevado para fevereiro. Os menores valores estão para os meses de maio a setembro, sendo julho o mês com o menor valor.

Os dados anuais possuem concordâncias com valores acima da normal climatológica para a estação de verão, e valores abaixo da normal climatológica para a estação de inverno.

A nebulosidade na cidade de São Paulo é pouco influenciada pelos eventos de El Niño e La Niña. A padronização dos dados anuais mostrou nas estações de inverno, primavera e outono, que não houve um padrão de aumento ou diminuição de nebulosidade nos dados apresentados. O mesmo ocorreu para os dados de radiação global. Na estação de verão em anos de El Niño e La Niña a nebulosidade se manteve acima ou próxima da média padronizada.

É importante continuar a pesquisa sobre cobertura de nuvens devido aos dados obtidos através do satélite estarem, tão vulneráveis a possíveis erros. Através de pesquisas é possível tornar a aquisição dos dados mais confiáveis. A utilização dos dados terrestres de nebulosidade são as mais confiáveis apesar de serem dados observados e estarem propícios a erros uma vez que são dados adquiridos por um observador.

Apesar da consistência observada entre as bases de dados utilizadas no estudo, o aprimoramento contínuo se faz necessário para investigar a variabilidade climática associada com os impactos das emissões dos gases de efeito estufa. Através de pesquisas é possível tornar a aquisição dos dados mais confiáveis e com menor sensibilidade à aspectos como subjetividade da avaliação das condições pelo observador. As bases de dados terrestres de nebulosidade observados no local de interesse são as mais confiáveis apesar de estarem propícios a erros uma vez que são dados.

Este estudo contribuiu para um maior conhecimento da variabilidade da cobertura de nuvens na cidade de São Paulo.

Por fim como sugestão para trabalhos futuros, analisar os dados de superfície com os dados do satélite geoestacionário da série GOES, para os outros canais como o infravermelho. Verificar o comportamento da nebulosidade para outras cidades da região Sudeste e compará-los com os dados da cidade de São Paulo. Analisar os anos que ocorreram os eventos de El Niño e La Niña com intensidade forte, com os dados das componentes de radiação global sendo elas radiação difusa e direta tentando verificar a influência de alguma componente nos eventos de El Niño e La Niña.

## 11. REFERÊNCIAS

AHRENS, A.D. *Essentials of Meteorology: an invitation to the atmosphere*. West Publishing, New York, 1993. Tradução de: Maria Gertrudes Alvarez Justi da Silva e Marcelo Belassiano. Universidade Federal do Rio de Janeiro: Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza. Departamento de Meteorologia, 1998.

AHRENS, C. D. **Meteorology today**: an introduction to weather, climate, and the environment. Belmont, CA: Brooks/Cole, 2009. 621 p.

ASSIREU, A. T.; REBOITA, M. S.; CORRÊA, M. de P. Observando o céu, quantificando as nuvens e praticando modelagem: Um exercício de apoio ao aprendizado das ciências atmosféricas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. v. 34, n. 1, p.1501 – 1501-6, 2011. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/341501.pdf>>. Acesso em: 31 jan. 2014.

AYOADE, J. O. **Introdução à Climatologia para os trópicos**. 15. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil Ltda., 2011. 332 p. Tradução de: Maria Juraci Zani dos Santos.

BARBIERI, P. R. B.; RAO, V. B.; FRANCHITO, S. H. **Estudo do Início e Fim da Estação Chuvosa na Região Sudeste do Brasil**. 2014.

BLAIR, T.A. **Meteorologia**. Centro de Publicações Técnico de Aliança, Rio de Janeiro, 1964. 405p.

CARVALHO, L. M. V., JONES, C., LIEBMANN, B. The South Atlantic Convergence Zone: persistence, intensity, form, extreme precipitation and relationships with intraseasonal activity. **Journal of Climate**, v.17, p. 88-108. 2004.

CAVALCANTI, I.F. de A.; FERREIRA, N.J.; SILVA, M.G.A.J. da; DIAS, M.A.F. da S. (Org) **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 463p.

CESS, R.D.; BRIEGLEB, B. P.; LIAN, M. S. Low-latitude cloudiness and climate feedback: Comparative estimates from satellite data. *JAS.*, v.39.p.53-9,1982.

CHAPMAN, S. J. **Programação em MATLAB para engenheiros**; tradução técnica Flávio Soares Correa da Silva. São Paulo, 2003.

COELHO, C.A.S.; DRUMOND, A.R. de M.; AMBRIZZI, T. Estudo climatológico sazonal da precipitação sobre o Brasil em episódios extremos da Oscilação Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 14, n. 1, p. 49-65, 1999

CPTEC-INPE. **SATÉLITES METEOROLÓGICOS**. 2015. Site. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br/glossario.shtml>>. Acesso em: 23 fev. (2015).

CONTI, J. B. . *Clima e Meio Ambiente*. 1ª. ed. São Paulo: Editora Atual, 2011. 96p

Earth Observatory. **Clouds e Radiation**. 2014. Site. Disponível em: <<http://earthobservatory.nasa.gov/Features/Clouds/clouds2.php>>. Acesso em: 05 jun. 2014.

ECHER, M. S.; MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. A importância dos dados de cobertura de nuvens e de sua variabilidade: Metodologias para aquisição de dados. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. v. 23, n. 3, p.341-352, 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v28n3/a11v28n3.pdf>>. Acesso em: 09 fev. 2014.

FERREIRA, A. G. Meteorologia prática, 2006, oficina de textos, São Paulo.

FERREIRA, N. J. **Utilização de imagens transmitidas por satélites meteorológicos**. 2005. Capítulo 10. Disponível em: <<http://mtc-m16.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/marciana/2005/01.06.11.41/doc/cap10.pdf>>. Acesso em: 12 maio 2015.

FLORENZANO, T.G. **Os Satélites e suas Aplicações**. São José dos Campos: Sindct, 2008. 49 p. Disponível em: <<http://www.sindct.org.br/files/livro.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2014.

GOODY, Richard M; WALKER, J C G. **Atmosferas Planetárias**. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1975. 139 p. Tradução de: Antonio Christofolletti.

GRIMM, A. M. Variabilidade Interanual do Clima no Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J.; DIAS, M. A. F. S. Tempo e clima no Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, 2009, cap. 22, p. 333-374.

GUEDES, R. L.; MACHADO, L. A. T. Cobertura de Nuvens e Temperatura Observadas à Superfície e Obtidas por Satélite: Uma Comparação de 1984 à 1990. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Brasil, v. 15, n. 1, p.15-25, 2000.

IAG/USP. **Relatório Técnico da Estação Meteorológica do IAG\USP: Instrumentos e Procedimentos**. São Paulo: IAG/USP, 2010. 25 p. Disponível em: <[http://www.estacao.iag.usp.br/Relatorios/relat\\_2010\\_1.pdf](http://www.estacao.iag.usp.br/Relatorios/relat_2010_1.pdf)>. Acesso em: 24 nov. 2014.

IBGE. **São Paulo**. 2015. Site. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=355030&search=sao-paulo|sao-paulo>>. Acesso em: 27 set. 2015.

IQBAL, M. **An Introduction to Solar Radiation**, Toronto, Academic Press Canada, 390p., 1983.

KODAMA, Y.M. Large-scale common features of sub-tropical precipitation zones (the Baiu Frontal Zone, the SPCZ, and the SACZ). Part I: characteristics of subtropical frontal zones. **J.Meteorol. Soc. JP.**, v.70, p.813-35, 1992.

KODAMA, Y.M. Large-scale common features of sub-tropical precipitation zones (the Baiu Frontal Zone, the SPCZ, and the SACZ). Part II: Conditions of the circulations for generating the STCZs. **J.Meteorol. Soc.J.P.**, v.71, p.581-610, 1993.

KOUSKY, V. E. Pentad outgoing longwave radiation climatology for the South American sector. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 3, p. 217-231, 1988.

LLOPART, Marta. **Sistemas Meteorológicos Atuantes na América do Sul**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2012. 35 p. Apostila.

LOMBARDO, M. A. **Ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo**. São Paulo: Hucitec, 1985. 244p.

MACHADO FILHO, J. A. N.; ARAUJO, R. T.; PINTO, M.L.A.; DAMACEMO, M.A.; CORRÊA, C.S. Variabilidade da cobertura de nuvens registradas pela inspeção visual na estação meteorológica de superfície de Galeão (SBGL). In: XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2006, Florianópolis. Site. Disponível em: <[http://www.redemet.aer.mil.br/Artigos/nuvens\\_gl.pdf](http://www.redemet.aer.mil.br/Artigos/nuvens_gl.pdf)>. Acesso em: 27 mar. 2015.

MARENGO, J.A.; OLIVEIRA, G.S. de. Impactos do fenômeno La Niña no tempo e clima do Brasil: desenvolvimento e intensificação do La Niña 1998/99. X Congresso Brasileiro de Meteorologia, Brasília, DF. 1998.

MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B.; ABREU, S. L. de. Influência do índice de cobertura de nuvens obtido a partir de imagens de satélite na precisão das estimativas de energia solar incidente na superfície. In: XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2004, Fortaleza. Anais do XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2004a.

MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B.; ECHER, M. P.de S. Levantamento dos recursos de energia solar no Brasil com o emprego de satélite geostacionário o Projeto-Swera. **Revista Brasileira de Ensino da Física**, São José dos Campos, v. 26, n. 2, p.145-159, 2004. Site. Disponível em: <[http://sonda.ccst.inpe.br/publicacoes/periodicos/RevBrasileiraEnsinoFisica\\_2004\\_26\\_2\\_P145\\_FRMartins\\_etal.pdf](http://sonda.ccst.inpe.br/publicacoes/periodicos/RevBrasileiraEnsinoFisica_2004_26_2_P145_FRMartins_etal.pdf)>. Acesso em: 21 maio 2014.

MINUZZI, R. B.; SEDIYAMA, G. C.; BARBOSA, E.M.; MELO JUNIOR, J.C.F de. Climatologia do comportamento do período chuvoso da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 22, n. 3, p. 338-344, 2007. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0102-77862007000300007&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-77862007000300007&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em 14 dezembro 2015.

MINUZZI, R.B.; SEDIYAMA, G. C.; COSTA, J. M. N.; VIANELLO, R. L. Influência da La Niña na estação chuvosa da Região Sudeste, **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v.22, n. 3 p.345-353, 2007a.

MOL, J. M. D. **Estimativa de precipitação por meio de Sensoriamento Remoto**. 2005. 103 f. Monografia (Mestrado) - Curso de Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Universidade de Brasília, Brasília, 2005. Cap. 1. Disponível em:

<[http://vsites.unb.br/ft/enc/recursos\\_hidricos/diss-ptarh/Dissertacao%20086%20-%20JULIANA%20MOL.pdf](http://vsites.unb.br/ft/enc/recursos_hidricos/diss-ptarh/Dissertacao%20086%20-%20JULIANA%20MOL.pdf)>. Acesso em: 11 junho 2014.

MOOJEN, T. M. B.; CAVALCANTE, R. B. L.; MENDES, C. A. B. Avaliação Da Radiação Solar Com Base Em Dados De Nebulosidade. **Portal de Periódicos Científicos da Uel: Geografia**, Londrina, v. 8, n. 3, p.41-55, 02 set. 2013. Disponível em: <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/geografia/article/view/10346/13762>>. Acesso em: 24 abr. 2014.

NASA. **Sensor Specifications:GOES**. Site. Disponível em: <<http://geo.arc.nasa.gov/sge/health/sensor/sensors/goes.html>>. Acesso em: 03 nov. 2015.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA). **Changes to the Oceanic Niño Index (ONI)**, 2015, Estados Unidos. Disponível em: <[http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml)>.

NIMER, Edmon. **Climatologia do Brasil**. 4. ed. Rio de Janeiro: Ibge, 1979. 422 p.

OLIVEIRA, A. P.; DIAS, P. L.S; 1982: Aspectos Observacionais da brisa marítima em São Paulo; In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2o, Pelotas, 1982, v.1, p 129 – 161.

OLIVEIRA FILHO, K. de S.; SARAIVA, M. de F. O. **Movimento anual do Sol e as estações do ano**. 2012. Site UFRGS. Disponível em: <<http://astro.if.ufrgs.br/tempo/mas.htm>>. Acesso em: 05 abr. 2015.

PEREIRA, E. B.; COLLE, S. A energia que vem do Sol. **Ciência Hoje**. V.22, n 130, p. 24-35. 1997.

PEREIRA FILHO A. J.; SANTOS, P.M. dos., XAVIER, T. de M.B.S. (org.). 2007. **Evolução do Tempo e do Clima na Região Metropolitana de São Paulo**. São Paulo: Linear B; IAG/USP, 282p.

PHINLANDER, S G. **El Niño, La Niña, and the Southern Oscillation**. New York: Academic Press, 1990. 293 p.

PINHO, J. T. et al (Org.). **Sistemas Híbridos: Soluções Energéticas para a Amazônia**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2008.

PIRES, P. B. et al. **Energia Solar Paulista: Levantamento Do Potencial Renováveis**. São Paulo: Governo do Estado de São Paulo, 2013. 28 p. Disponível em: <<http://www.energia.sp.gov.br/a2sitebox/arquivos/documentos/455.pdf>>. Acesso em: 29 abr. 2014.

PIVETTA, M.; RAMOS, L. **Da Garoa à Tempestade: Temporais se tornam mais frequentes e chuva aumenta 30% em São Paulo em 80 anos**. 2012. Site. Disponível em: <[http://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2012/05/Pesquisa\\_195-18.pdf?9c0f11/](http://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2012/05/Pesquisa_195-18.pdf?9c0f11/)>. Acesso em: 11 jun. 2014.

REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; ROCHA, R. P. da; AMBRIZZI, T. Regimes de Precipitação na América do Sul: Uma Revisão Bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Brasil, v. 25, n. 2, p.185-204,2010, Site. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0102-77862010000200004](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-77862010000200004)>. Acesso em: 03 junho 2014.

REBOITA, M. S.; KRUSCHE, N.; AMBRIZZI, T.; ROCHA, R. P. da. Entendendo o Tempo e o Clima na América do Sul. **Terra e Didática**, Campinas, v. 1, n. 8, p.34-50, 2012. Disponível em: <<http://www.ige.unicamp.br/terraedidatica/v8-1/pdf81/s3.pdf>>. Acesso em: 03 junho 2014.

RIELAND. M.; STUHLMANN R., J. **Appl. Meteorol.** 32, 825 (1993).).

SOARES, S. C.; MOURA, C.R.W.; COLTRI, P.P.; MACEDO, J.C. **Efeitos do El Niño e da La Niña na Agricultura Brasileira**. 2008. Site. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br/noticias/noticia/8530>>. Acesso em: 01 abr. 2015.

TERAMOTO, E. T. **Distribuição de frequência das condições de céu em função das variações climáticas em Botucatu-SP**. 2010. 65 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Departamento de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010. Disponível em: <<http://www.pg.fca.unesp.br/Teses/PDFs/Arq0521.pdf>>. Acesso em: 20 maio 2014.

USP/IAG. **A História da Estação Meteorológica**. 2014. Site. Disponível em: <<http://www.estacao.iag.usp.br/historia.php>>. Acesso em: 03 jun. 2014.

Varejão-Silva, M. A., 2006: Meteorologia e Climatologia. Versão Digital. 449 pp.

Vianello, R. L.; A. R. Alves, 2000: Meteorologia básica e aplicações. Editora UFV. 449 pp.

WENDISCH, M.; PILEWSKE, P.; POMMIER, J.; HOWARD, S.; YANG, P.; HWYMSFIELD, A.; SCHMITT, G.; BAUMGARDNER, D.; MAYER, B. Impact of cirrus Crystal shape on solar spectral irradiance: A case study for subtropical cirrus. **Journal of Geophysical Research**, v.110, 2005. Site. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2004JD005294/full>> Acesso em: 25 maio 2015.

WMO n°407, Atlas Internacional de Nuvens: Volume I. [Genebra], 1975.

WMO. **Satellite: GOES-10 (S-America)**. 2015. Site. Disponível em: <<http://www.wmo-sat.info/oscar/satellites/view/537>>. Acesso em: 04 abr. 2015.