



Universidade Federal do Pará



Faculdade de Meteorologia



Instituto de Geociências

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PAULA LEIDYANNE OLIVEIRA DOS SANTOS

**CARACTERÍSTICAS DA PRECIPITAÇÃO NA COLÔMBIA OBSERVADAS
ATRAVÉS DOS DADOS DO SATÉLITE TRMM NO PERÍODO DE DEZEMBRO DE
1997 A DEZEMBRO DE 2012**

BELÉM-PA

DEZEMBRO-2014

PAULA LEIDYANNE OLIVEIRA DOS SANTOS

**CARACTERÍSTICAS DA PRECIPITAÇÃO NA COLÔMBIA OBSERVADAS
ATRAVÉS DOS DADOS DO SATELITE TRMM NO PERÍODO DE DEZEMBRO DE
1997 A DEZEMBRO DE 2012**

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

Orientador: Professor Dr. Galdino Vianna Mota.

BELÉM-PA

2014

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

S237c Santos, Paula Leidyanne Oliveira dos

Características da precipitação na Colômbia através dos dados do satélite TRMM no período de dezembro de 1997 a dezembro de 2012 / Paula Leidyanne Oliveira dos Santos. – 2014

46 f.: il.

Orientador: Galdino Viana Mota

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Meteorologia, Belém, Segundo semestre de 2014.

1. Precipitação (Meteorologia) – Colômbia. 2. Tropical Rainfall Measuring Mission. 3. Zona de convergência intertropical I. Título.

CDD 22^a ed.: 551.5770986

PAULA LEIDYANNE OLIVEIRA DOS SANTOS

**CARACTERÍSTICAS DA PRECIPITAÇÃO NA COLÔMBIA OBSERVADAS
ATRAVÉS DOS DADOS DO SATELITE TRMM NO PERÍODO DE DEZEMBRO DE
1997 A DEZEMBRO DE 2012**

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

Data de aprovação: ___/___/_____

Conceito: _____

Banca examinadora:

Prof.: Galdino Viana Mota - Orientador
Doutor em Meteorologia
Universidade Federal do Pará

Meteorologista: Vanda Maria Sales de Andrade - Membro
Doutora em Agrometeorologia
Universidade Federal Rural da Amazônia

Cláudia Priscila Wanzeler da Costa - Membro
Mestre em Meteorologia
PPG-Cliamb, INPA/UEA

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus em primeiro lugar, por todas as bênçãos e fortaleza espiritual concedida para enfrentar e superar as dificuldades encontradas.

Aos que sempre estiveram comigo desde o meu nascimento e que nunca se omitiram em colaborar e influenciar os meus passos até aqui. Aos meus queridos e amados pais que nunca pouparam esforços para que eu continuasse nessa trajetória e em tantas outras que galguei. À vocês dois todo meu amor e gratidão.

Ao meus queridos e amados irmão, graças dou a Deus pela vida de vocês: Leonice, Pablo e Thiago. Obrigada por todo amor, fraternidade, todas as alegrias sentidas e pelo privilegio se pertence-los.

Ao grande amor da minha vida que esteve presente nos anos mais difíceis da minha vida e sempre me incentivou e acreditou em mim: Diego Augusto, obrigada por seu amor, amizade e compreensão.

As minhas amigas Jacqueline, Juliana, Márcia e Vanessa por terem alegrado os meus anos de graduação. Em especial a Márcia Lobo, minha amiga confidente que esteve comigo e compartilhou tantos momentos dentro da minha vida acadêmica.

Ao corpo docente da faculdade de meteorologia e em especial ao meu orientador Professor Dr. Galdino Vianna Mota pelos anos de aprendizado e seu exemplo de dedicação ao curso de meteorologia.

RESUMO

Este estudo analisou os dados de distribuição e características da precipitação, ocorrência de relâmpagos e sistemas precipitantes (*Precipitation Features*, PFs) observados através do satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM), no período de dezembro de 1997 a dezembro de 2012 sobre a Colômbia. Os PFs são definidos pelos dados dos sensores *Precipitation Radar* (PR) e o *TRMM Microwave Imager* (TMI); e os dados de relâmpagos provenientes do *Lightning Imaging Sensor* (LIS). Os PFs precipitantes são definidos por tipos de sistemas: PFs com presença de gelo (WICE), PFs sem presença de gelo (WOICE) e PFs com sistema convectivo de mesoescala (SCM); A área estudada foi dividida em 4 regiões para realização de uma análise sobre as características da precipitação na Colômbia. As maiores quantidades de precipitação anual foram observadas na parte oeste colombiana, destacando-se a cidade de Quibdó sofre influência do Jato de baixo nível :CHOCO. Nas análises dos sistemas precipitantes percebeu-se a grande contribuição dos PFs com SCM e com espalhamento de gelo na parte central da área de estudo no período em que a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) diminui sua influência sobre o território colombiano, sendo que este é um dos principais sistemas que contribuem para a ocorrência de chuvas na Colômbia.

Palavras-chave: TRMM. Sistemas Precipitantes. Colômbia. Descargas elétricas.

ABSTRACT

This study analyzed the distribution of data and characteristics of rainfall, heavy thunderstorms and precipitation systems (Precipitation Features, PFs) observed via satellite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), from December 1997 to December 2012 on Colombia. The PFs are defined by data from sensors Precipitation Radar (PR) and TRMM Microwave Imager (TMI); and data from the lightning Imaging Sensor (LIS). The PFs are defined by precipitating types of systems: PFs the presence of ice (WICE) PFs without the presence of ice (WOICE) and PFs with mesoscale convective system (MCS); The study area was divided into four regions to conduct an analysis on the characteristics of rainfall in Colombia. The largest amounts of annual precipitation were observed in the Colombian western part, especially the city of Quibdó is influenced by the low-level jet: CHOCO. In the analyzes of precipitation systems realized the great contribution of the PFs with MCS and ice spreading in the central part of the study area in the period when the Intertropical Convergence Zone (ITCZ) decreases its influence on the Colombian territory, and this is a leading systems that contribute to the occurrence of rains in Colombia.

Keywords: TRMM. precipitation systems. Colombia. Electrical discharges.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 -Formação das nuvens.....	16
Figura 02 -Classificação dos Sistemas Convectivos de mesoescala.....	19
Figura 03-Localização geográfica da Colômbia.....	20
Figura 04-Vista geral da geometria dos sensores do TRMM.....	23
Figura 05- Localização da área de estudo.....	26
Figura 06- Precipitação por tipo de sistema.....	28
Figura 07- Precipitação mensal mm/mês.....	29
Figura 08- Precipitação mm/ano.....	31
Figura 09-Taxa de precipitação por MCS.....	33
Figura 10-Taxa de precipitação por Woices.....	34
Figura 11-Taxa de relâmpagos Km ² /ano.....	36
Figura 12 -Taxa de precipitação com raios.....	37
Figura 13-Número total de relâmpagos.....	40
Figura 14- Temperatura de brilho no canal do Infravermelho com gelo.....	41
Figura 15-Máxima altura dos sistemas com gelo.....	42
Figura 16- Máxima altura dos sistemas precipitantes nas 4 regiões estudadas.....	43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ALLPFS	Todos os sistemas precipitantes
Cm	Centímetro
Cb	Cumulonimbus
CHOCO	Jato de baixo nível
IR	Infravermelho
JFM	Janeiro, Fevereiro e Março
JJA	Junho, Julho e Setembro
KM	Quilômetro
K	Kelvin
N	Norte
mm	Milímetro
PFs	Todos os Sistemas Precipitantes
SCM	Sistema Convectivo de Mesoescala
TRMM	Tropical Rainfall Measuring Mission
W	Oeste
WOICE	Sistema precipitante sem gelo
WICE	Sistema precipitante com gelo
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
°C	Grau Celsius

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	REVISÃO DA LITERATURA	14
2.1	NUVENS.....	14
2.1.1	Eletrificação das nuvens	15
2.2	RELÂMPAGO.....	16
2.3	CLIMATOLOGIA DA COLÔMBIA.....	16
2.3.1	Zona de Convergência Intertropical	17
2.3.2	Sistema Convectivo de Mesoescala (SCM)	17
2.3.3	Topografia da Colômbia	18
2.3.4	Jato CHOCO	20
3	MATERIAIS E MÉTODOS	21
3.1	DADOS E LOCAL DE ESTUDO.....	21
3.1.1	Satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)	21
3.1.1.1	Características dos instrumentos do TRMM.....	23
3.1.1.1.1	<i>Precipitação Radar (PR)</i>	23
3.1.1.1.2	<i>TRMM Microwave Imager (TMI)</i>	23
3.1.1.1.3	<i>Visible and Infrared Scanner (VIRS)</i>	23
3.1.1.1.4	<i>Lightning Imaging Sensor (LIS)</i>	24
3.1.1.1.5	<i>Clouds & Earth's Radiant Energy System (CERES)</i>	24
4	METODOLOGIA	25
4.1	METODOLOGIA UTILIZADA NOS DADOS DO TRMM	25
5	RESULTADOS	26
6	CONCLUSÃO	43
	REFERÊNCIAS	45

1 INTRODUÇÃO

A inacessibilidade de muitas regiões da América do Sul, como as gamas de montanhas altas, densas florestas, e desertos, impedem as medições de chuvas. Felizmente, com o avanço nas tecnologias de sensoriamento remoto por satélites é possível uma melhor investigação das características e distribuição da precipitação estimada nessas regiões de difícil acesso, ainda que indiretamente.

Várias metodologias para a estimativa de precipitação através do sensoriamento remoto vêm sendo feitas, baseando-se em imagens obtidas por vários satélites, em diversas bandas do espectro eletromagnético. Pode-se destacar o satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM), este com o objetivo específico de medição da precipitação nos trópicos (COLLISCHONN, 2006).

A Colômbia é um país situado a noroeste da América do Sul, e faz fronteira ao sul com Equador e Peru, ao norte com o Panamá e Mar do Caribe, a leste com a Venezuela e Brasil e a oeste com Equador e Oceano Pacífico.

A localização estratégica da Colômbia nos trópicos, com uma ilha entre três oceanos faz com que o país receba significativas quantidades de energia do sol. Nos trópicos, a maior parte da energia solar, que é então transferida para a atmosfera, se torna um importante mecanismo de determinação do movimento do ar entre as regiões equatoriais e polares por uma circulação meridional, podendo considerar que além do Caribe e do Pacífico, a Colômbia também sofre influência da circulação atmosférica da bacia Amazônica. As condições térmicas das águas quentes do oceano Pacífico nessa área, assim como a umidade vinda deste oceano juntamente com as condições fisiográficas do Andes colombianos, forçam o movimento vertical do ar nessa região. Essas características favorecem o desenvolvimento de aglomerado de nuvens com grande atividade convectiva, que causam chuvas fortes, principalmente no período noturno seguido por tempestades que atingem não somente a parte oceânica da Colômbia como também a costa continental.

A definição de Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM) é baseada em imagens de satélites no canal infravermelho, que relacionam em poucos critérios, as características típicas do mesmo (MADDOX,1980).

Hastenrath (1977) estudou a amplitude da marcha de nuvens convectivas sobre as Américas. Ele mostrou que regiões que sofrem influência da alta frequência de nuvens convectivas associadas com a topografia do local as quais tendem a manifestar uma marcha diurna atípica. A precipitação tem variação regular no curso do dia sobre muitas regiões da terra, principalmente nos oceanos. Nos continentes tropicais, o ciclo diurno é governado pelo aquecimento da superfície durante o dia que induz evaporação e, posteriormente a chuva.

Os movimentos ascendentes sobre o continente durante o dia induzem subsidência sobre as áreas oceânicas, e quando esses movimentos de grande escala diminuem sua intensidade durante a noite a atividade convectiva sobre as regiões oceânicas aumenta. No período noturno, as chuvas têm um valor mínimo sobre a superfície continental e a amplitude do ciclo diurno pode ser considerada pequena com relação à terra, baseado na diferença da radiação.

Os Sistemas Convectivos de Mesoescala possuem grande influência no processo de chuvas nas regiões tropicais, sendo um mecanismo indispensável ao transporte de calor a níveis mais altos da atmosfera.

Poveda e Mesa (2000) investigaram as possíveis causas de fortes convecções profundas e grandes quantidades de precipitação sobre a costa do Pacífico da Colômbia e ao longo do flanco ocidental da Cordilheira dos Andes- um dos lugares mais chuvosos do planeta-onde a precipitação de 8.000 a 13.000 mm por ano com medições feitas através de pluviômetros.

A precipitação é um dos parâmetros climatológicos mais importantes para o estabelecimento do bem estar socioeconômico e ambiental de uma região. Sendo assim, é um dos parâmetros mais difíceis de ser medido dado a alta variabilidade espaço-temporal, particularmente sobre as regiões tropicais, dessa forma a precipitação é um importante indicador da qualidade de vida.

A Colômbia sofre com a ocorrência de diversos sistemas precipitantes que em sua maioria acabam causando algum prejuízo a população local,

segundo informações do site Notícias Terra, a União Nacional para Gestão do Risco de Desastre (UNGRD), registrou que a temporada de chuvas que ocorreu nos meses de outubro a novembro de 2014 deixou 38 mortos e afetou 9.157 famílias. Nesse período foram registrados no país 113 vendavais, 88 inundações, 50 deslizamentos de terra e 29 colapsos estruturais associados às chuvas.

A inacessibilidade de algumas regiões dificulta o monitoramento detalhado da precipitação, juntamente com os problemas técnicos e com a falta de investimentos. É relevante analisarmos que diante de tais problemáticas, a utilização de sensores remotos na estimativa de precipitação vem mostrando ser uma alternativa importante para se contrapor a tais problemas (NÓBREGA, 2008).

Portanto, este trabalho propõe analisar as estimativas de precipitação na Colômbia proveniente do satélite *Tropical Measuring Mission* (TRMM), sendo que esse satélite utiliza diversos sensores para estimar os sistemas precipitantes.

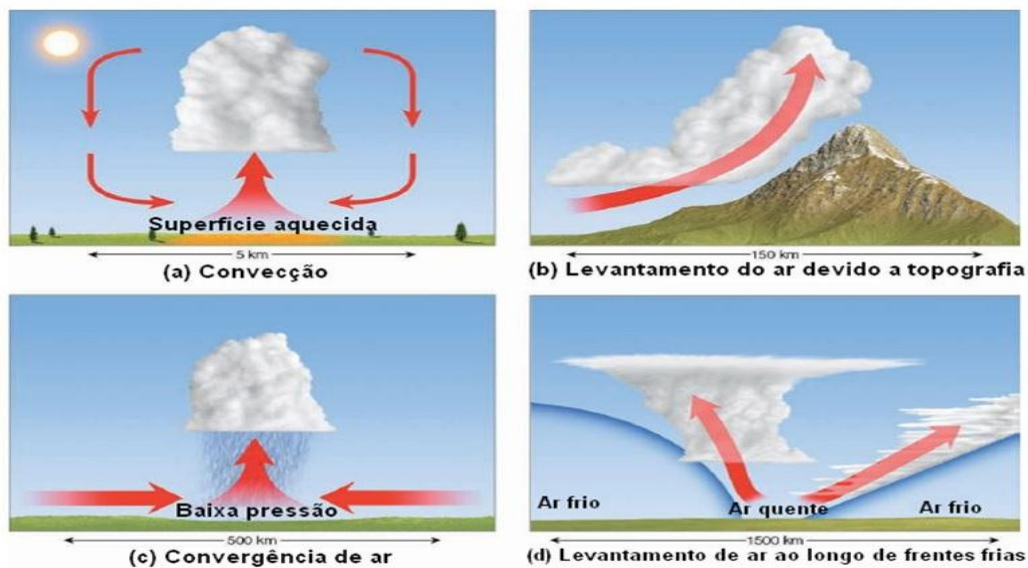
2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 NUVENS

Nuvem é qualquer conjunto visível de gotículas d'água, partícula de gelo ou de ambas, em suspensão na atmosfera. Esse aglomerado eventualmente inclui elementos de natureza hídrica e maiores dimensões, além de poeira, fumaça e mesmos resíduos industriais. Numa nuvem, a concentração de gotículas normalmente varia de 100 cm^{-3} a 1000 cm^{-3} , aproximadamente (Varejão-Silva, 2006).

As nuvens se formam na atmosfera livre, como resultado da condensação do vapor de água em correntes de ar ascendente. Para a condensação ocorrer em um baixo grau de supersaturação, deve haver uma abundância de núcleos de condensação de uma nuvem para outra com partículas de água, ou núcleos de gelo para nuvens com partículas de cristais de gelo, a temperaturas consideravelmente acima de -40°C . O tamanho das gotas da nuvem varia de um tipo de nuvem para outra, e dentro de uma determinada nuvem existe sempre um conjunto finito de dimensões. Geralmente, as gotas de nuvens (gotículas) variam dentro de uma escala de $1\text{-}100\mu\text{m}$ de diâmetro e, portanto, são muito menores que as gotas que precipitam (GLICKMAN, 2000).

Figura 1. Formação de nuvens.



Fonte: Adaptado de Ahrens (2007).

2.1.1 Eletrificação das nuvens

A eletrificação das nuvens resulta da separação de cargas elétricas e sua segregação no espaço pelos movimentos do ar e das partículas suspensas. Os mecanismos que predomina ou a proporção com que cada um atua ainda não está definido. A estrutura elétrica das nuvens cumulonimbus pode ser caracterizada como um dipolo elétrico vertical com o centro de carga positiva principal na parte superior, acima de um centro de carga negativa. Há a proposição de um centro secundário de cargas positivas abaixo de centro de cargas negativas (MACGORMAN, 1998). Sendo que existe a Hipótese Precipitativa e a Hipótese Convectiva que explicam a criação e manutenção dessa estrutura elétrica.

1. Hipótese Precipitativa: Consiste na aquisição de cargas elétricas negativas por hidrometeoros e seu movimento descendente, devido à atuação gravitacional, com relação as partículas menores (mais leves) positivamente carregadas. Nessa teoria, existe dois mecanismos microscópicos de carregamento a serem investigados: (A) transferência de cargas por indução elétrica e (B) transferência de carga por meio de colisões entre granizo, saraiva e cristais de gelo.

2. Hipótese Convectiva: Consiste no transporte de cargas de cargas elétricas e seu acúmulo seletivo em regiões específicas da nuvem. As cargas elétricas poderiam ser provenientes do movimento convectivo das cargas espaciais do efeito carona (cargas liberadas na superfície pelo efeito das pontas) e ou/ das cargas espaciais associadas aos meios com condutividade elétricas diferentes.

2.2 RELÂMPAGO

Os relâmpagos são definidos como descargas elétricas de grande extensão (alguns quilômetros) e de grande intensidade (valores máximos de corrente chegando aproximadamente a 300 KA) que ocorrem na baixa troposfera. O início das descargas elétricas ocorre pelo acúmulo de cargas elétricas dentro da nuvem até o instante da ruptura dielétrica do ar ser atingida, surgindo assim um intenso movimento de elétrons dentro da nuvem. Deste modo, os relâmpagos caracterizam-se pela existência de um longo canal ionizado tanto dentro como fora da nuvem, sendo que no segundo caso algumas vezes apresenta-se ramificações, com extensões de alguns quilômetros tanto na vertical quanto na horizontal (PINTO Jr; PINTO,2000).

2.3 CLIMATOLOGIA DA COLÔMBIA

A posição estratégica da Colômbia nos trópicos, faz com que o país receba as maiores proporções de energia que o sol emite para terra. Só nos trópicos a maioria da energia solar que é absorvida é em seguida transferida para atmosfera(ATLAS,2006).

O ciclo anual da hidro-climatologia da Colômbia é dominado por fenômenos físicos, como a migração latitudinal da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), associada com a dinâmica trans-equatorial de advecção de umidade dos ventos alísios de leste, a atividade do Jato CHOCO e dos sistemas convectivos de mesoescala. Nos referimos a esses fenômenos, mas não podemos deixar de mencionar a importância da interação solo-atmosfera na regulação do ciclo anual da hidrologia do país (CUARTAS,2002 apud POVEDA ,2004).

2.3.1 Zona de Convergência Intertropical

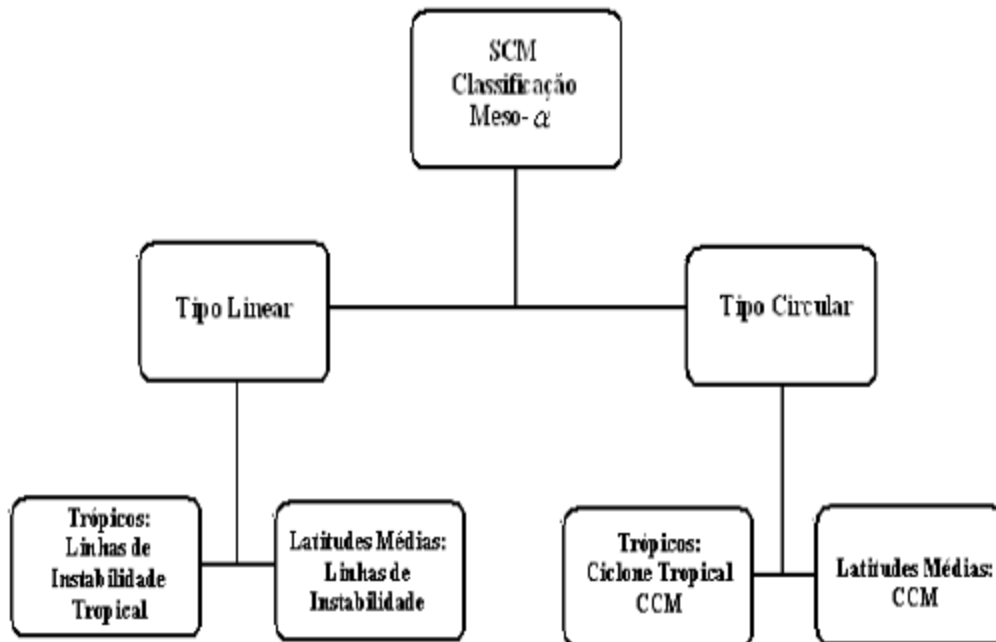
A Zona de Convergência Intertropical é um dos mais importantes sistemas meteorológicos atuando nos trópicos. A marcha anual da ZCIT tem aproximadamente, o período de um ano, alcançando sua posição mais ao norte (8°N) durante o verão no Hemisfério Norte, e sua posição mais ao sul (1°N) durante o mês de abril.

A oscilação meridional da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que resulta do ciclo anual das temperaturas superficiais pelo efeito da insolação, é o mecanismo físico mais importante para explicar o ciclo anual (ou semestral) da hidro-climatologia da Colômbia. Ao longo do centro da Colômbia ocorre duas temporadas chuvosas (abril-maio e outubro-novembro), e duas temporadas secas (dezembro-fevereiro e junho-agosto), como resultado da dupla passagem da ZCIT sobre o território (POVEDA,1998). A posição da ZCIT está associada com a intensidade dos ventos alísios de leste, a leste no hemisfério contrário, e a sua oscilação não é simétrica em torno do equador terrestre, com sua posição média em torno de 5°-10° N (PHILANDER et al.,1996).

2.3.2 Sistema Convectivo de Mesoescala (SCM)

Os Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM), conhecido também como tempestades organizadas, são aglomerados de nuvens convectivas profundas e mais largas que tempestades individuais, acompanhados frequentemente de extensa nuvem estratiforme na baixa troposfera em forma de bigorna de centenas de quilômetros. Estes sistemas possuem períodos típicos de vida em torno de 6 a 12 horas e as tempestades embebidas em seu interior frequentemente são fontes de intensa precipitação, fortes ventos, tornados, granizo e intensa atividade elétrica. Na América do Sul, os SCM são responsáveis pela maior parte da precipitação nos trópicos e em várias regiões de latitudes médias durante a estação quente (VELASCO; FRITSCH,1987).

Figura 2. Classificação dos SCM para sistemas de meso-alfa (250-2500 km) com duração maior que 6 horas e de acordo com suas características físicas e localização.



Fonte: Adaptada de Maddox (1980).

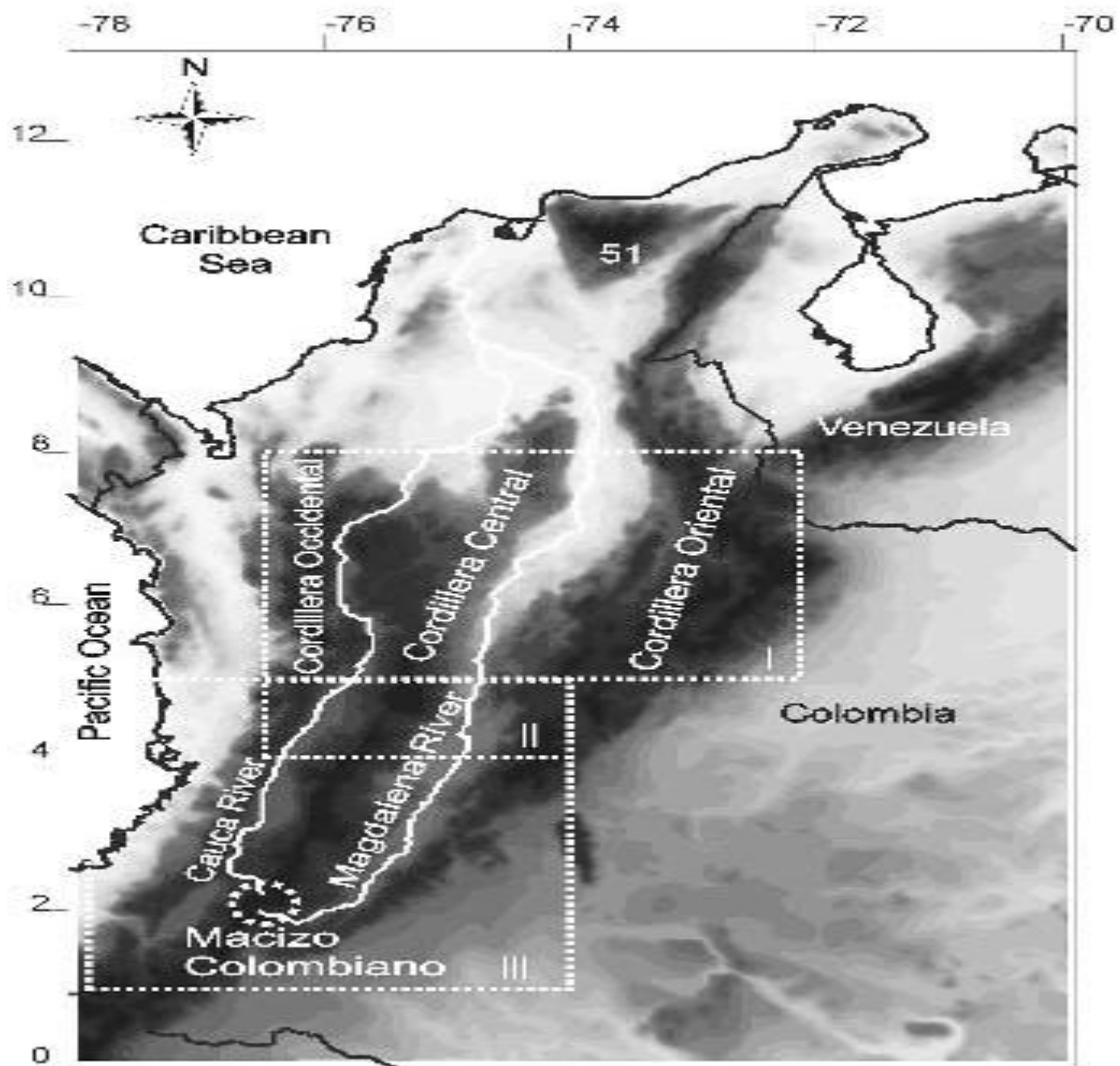
O conceito de CCM foi introduzido por Maddox (1980) durante uma análise de imagens de satélite no IR sobre os EUA central em 1978. Estes sistemas foram classificados como os maiores membros dos SCM, possuindo forma quase circular e diâmetros típicos de 300 a 400 Km, com centenas de tempestades individuais interligadas em seu interior, cobertas por uma extensa camada de nuvens *Cirrus*, oriundas de nuvens Cb maduras. Neste tipo de SCM, a forma de organização das células convectivas não é de grande importância, e os mesmos ocorrem principalmente à noite com duração em torno de 10 a 12 horas (MADDOX, 1980).

2.3.3 Topografia da Colômbia

A umidade transportada para a bacia Amazônica encontra a barreira orográfica dos Andes, contribuindo para o aumento da convecção profunda e precipitação no flanco oriental da Cordilheira. A presença dos três ramos da Cordilheira dos Andes com altitude superando 5000m, contendo as geleiras tropicais, incluindo diversos vales intra-andinos numa direção sul-norte predominante,

introduzem a circulação atmosférica e convecção profunda com chuvas fortes. Ao longo da costa do Pacífico na Colômbia ocorrem taxas de precipitação extremas e sendo considerada uma das regiões mais chuvosas do planeta (POVEDA; MESA,2000).

Figura 3. Localização geográfica da Colômbia.



Fonte: Poveda et al., (2003).

2.3.4 Jato CHOCO

O Oceano Pacífico tem grande importância sobre o hidro-climatologia da Colômbia, particularmente no lado ocidente e central do país (POVEDA,1998), porém as chuvas ao longo dos Andes da Colômbia têm efeito significativo sobre a precipitação no pacífico em frente à costa colombiana (MAPES, 2003apud POVEDA,2004). Os ventos que penetram no oeste da Colômbia como um jato oeste de baixo nível, é denominado de “Jato CHOCO” (Jato Ocidental colombiano e Jato Oeste colombiano). O núcleo do Jato CHOCO está localizado em torno de 5°N ao longo do ano. Os ventos deste Jato enfraquecem-se durante os meses de fevereiro-março, e atingem velocidades máximas durante os meses de outubro –novembro, e diminuem depois (POVEDA,1998).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 DADOS E LOCAL DE ESTUDO

Para elaboração deste trabalho foram utilizados dados diários de sistemas precipitantes amostrados pelo satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) no período de dezembro de 1997 a dezembro de 2012. Os dados analisados fornecem informações sobre a localização, tamanho, intensidade, máxima altura do sistema precipitante, máxima refletividade do sistema precipitante próxima da superfície, temperatura de brilho no canal de micro-ondas, entre outras características dos sistemas.

O trabalho em questão fornece dados e informações da Colômbia, abrangendo a latitude 5° e 11° N; e longitude 72° e 78° W, essa área em questão foi dividida em quatro regiões. Região 1 (longitude 72° e 75°W; latitude 5° e 8° N), com as cidades de Yopal, San Andrés, Tunja, Segovia e Caucásia; Região 2 (longitude 72° e 75°W; latitude 8° e 11° N), abrangendo as cidades de El banco, SinceValedupar e Pivijay; Região 3 (longitude 75° e 78°W; latitude 8°e 11° N), com as cidades de Monteria, Sincelejo, e Cartagena; Região 4 (longitude 75° e 78°W; latitude 5° e 8° N), abrangendo as cidades de Manizales, Quibdó, Medellin, Yarumal, Valdívia, Juradó e Tierralta.

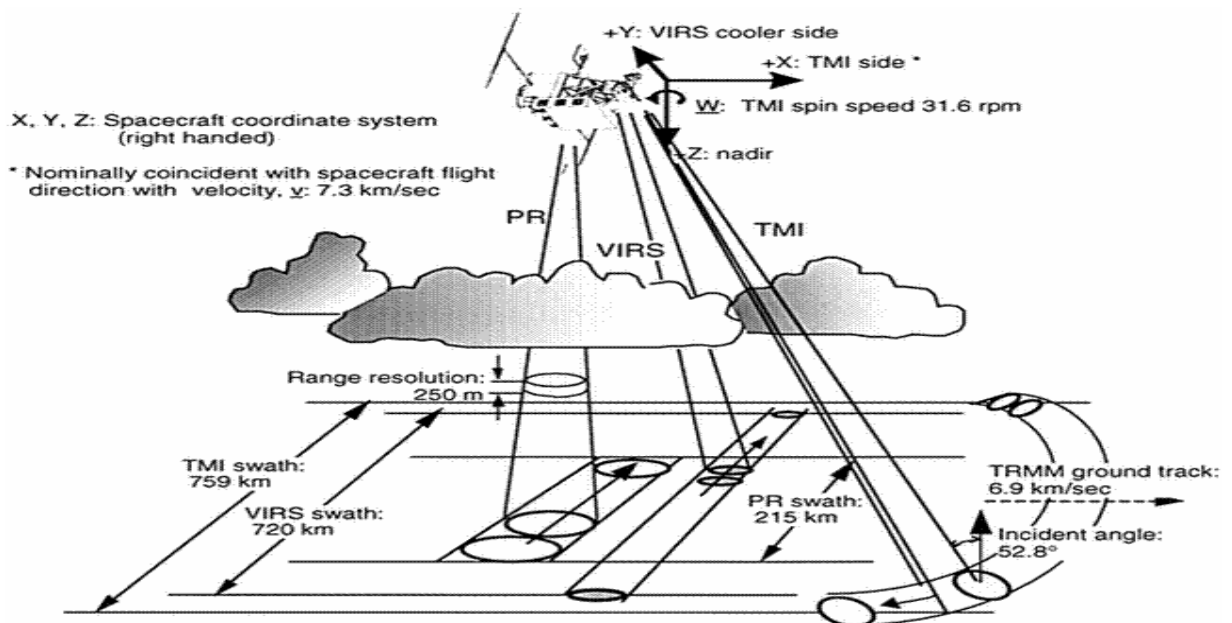
3.1.1 SATÉLITE TROPICAL RAINFALL MEASURING MISSION (TRMM)

O TRMM é uma missão comum entre a Administração Nacional Aeronáutica e do Espaço dos Estados Unidos (NASA) e da Agência de Exploração Aeroespacial do Japão(JAXA) que objetivou a estimativa de precipitação e respectiva liberação de Energia pelo calor latente da condensação de regiões tropicais e subtropicais do planeta terra. Esse satélite possui cinco instrumentos a bordo: o *Precipitation Radar*

(PR), TRMM *Microwave Image* (TMI), *Visible Infrared Scanner* (VIRS), *Clouds & Earths Radiant Energy System* (CERES) e o *Lightning Imaging Sensor* (LIS).

Abordo do satélite TRMM existem sensores que fazem coletas de dados e monitoram nuvens, precipitações, fluxo de calor, raios e outros aspectos do ciclo da água, tais como o Radar de Precipitação (PR), o Imageador de micro-ondas (TMI), o radiômetro no visível e no infravermelho (VIRS), sensor de energia radiante da superfície terrestre e das nuvens (CERES), e o sensor para imageamento de relâmpagos (LIS). Entre as diversas funções dos sensores do satélite TRMM a figura abaixo mostra a vista geral da geometria de exploração desses instrumentos.

Figura 4. Vista geral da geometria de exploração da nave espacial que mostra as posições relativas do Sensor Precipitação por (PR) e do TMI.



Fonte: Kummerow et al., (1998).

3.1.1.1 CARACTERÍSTICAS DOS INSTRUMENTOS DO TRMM

3.1.1.1.1 Precipitação Radar (PR)

O PR é o primeiro radar meteorológico no espaço que teve como principal objetivo fornecer mapas tridimensionais da estrutura das chuvas, especificamente, a distribuição vertical; obtenção de alta qualidade e medições quantitativas da precipitação sobre a terra, através do uso combinado do radar de precipitação (PR) e os sensores no canal passivo (TMI e VIRS).

3.1.1.1.2 TRMM Microwave Imager (TMI)

O TMI é um radiômetro de micro-ondas com nove canais passivos, sua antena se desloca em parábola com uma abertura do tamanho de 61 centímetros (projetada ao longo da direção de propagação) e uma distância focal de 50,8 cm. O feixe de antena atinge a superfície da terra com um ângulo de incidência de 52,8°. A antena do TMI gira sobre um eixo nadir com uma velocidade constante de 31,6 rpm (rotação por minuto). Sendo que, somente 130° círculo completo realizado pela antena do TMI é utilizado para obtenção dos dados, o restante é usado para calibrações. Essa calibração é feita por um processo que consiste basicamente em visualizar os dados amostrados utilizando como base temperaturas de brilho de referência “quente” e “frio” (KUMMEROW et al., 1998).

3.1.1.1.3 Visible and Infrared Scanner (VIRS)

O VIRS é um espectro radiômetro que mede a radiação emitida da terra em cinco bandas espectrais do visível ao infravermelho, variando dentro da faixa de comprimento de onda de 0,6 a 12 μm . Os dados do VIRS são usados para obter informações sobre nuvens usando técnicas no visível e no IR, afim de fornecer um contexto para formação das nuvens.

3.1.1.1.4 Lightning Imaging Sensor (LIS)

O LIS é constituído por um gerador de imagens ópticas que observa os raios com uma taxa de amostragem ligeiramente superior a 500 quadros por segundo, e permite que ele localize os raios através das mudanças momentâneas no brilho das nuvens causadas pelas descargas elétricas. Devido à sensibilidade e ao alcance do sensor ótico, o LIS torna-se capaz de identificar um raio até mesmo em nuvens luminosas, ou seja, iluminadas pelo sol.

Apesar da curta duração de observação, este tempo é suficiente para estimar a taxa de raios das tempestades. O aparelho registra o tempo de ocorrência, mede a energia radiante, e determina a localização dos ventos de raio dentro do seu campo de visão. O LIS detecta todos os tipos de raios, os nuvem-solo, intra-nuvem, nuvem-ar. Isso é possível por que nuvens eletrificadas produzem pulsos ópticos que são visíveis do espaço.

3.1.1.1.5 Clouds& Earths Radiant Energy System (CERES)

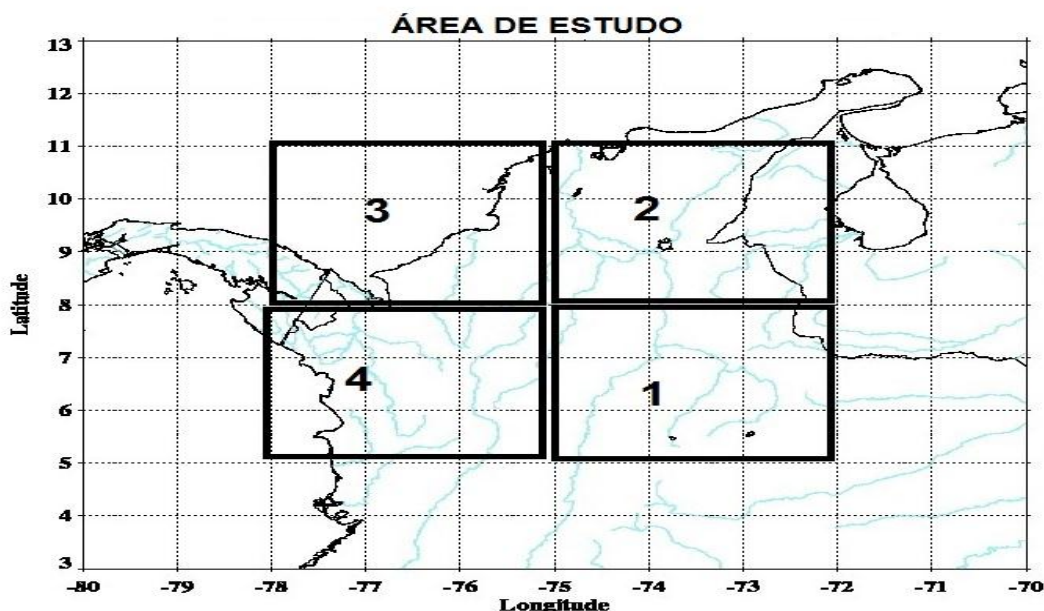
O CERES mede a energia radiativa emitida e refletida pela superfície terrestre, pela atmosfera e pelos seus constituintes.

4 METODOLOGIA

4.1 Metodologia Utilizada nos Dados do TRMM

Para realização desse trabalho, foi selecionado primeiramente uma região de estudo, compreendida entre 72° W a 78° W e 5° N a 11° N (Figura 5), e a utilização de 15 anos de dados diários de precipitação provenientes do satélite TRMM no período de dezembro de 1997 a dezembro de 2012. Com os dados do satélite TRMM foi possível gerar gráficos das distribuições totais anuais, trimestrais e mensais de todos os ALLPFS (Todos os sistemas precipitantes), como também de temperatura de brilho, refletividade da superfície, altura dos sistemas e precipitação com raios. Os PFs foram classificados de acordo com a metodologia de Nesbitt et al., (2000), onde PFs sem gelo tem $PCT \geq 250$ K, PFs com gelo $PCT \leq 250$ K e PFs com MCS tem $PCT \leq 200$ K. Os dados foram manipulados através do software *Interface Definition Language* (IDL), e os gráficos foram criados utilizando o software Excel, com dados amostrados em áreas de 1°x 1° de longitude e latitude.

Figura 5. Localização da área de estudo.



Fonte: Da autora.

5 RESULTADOS

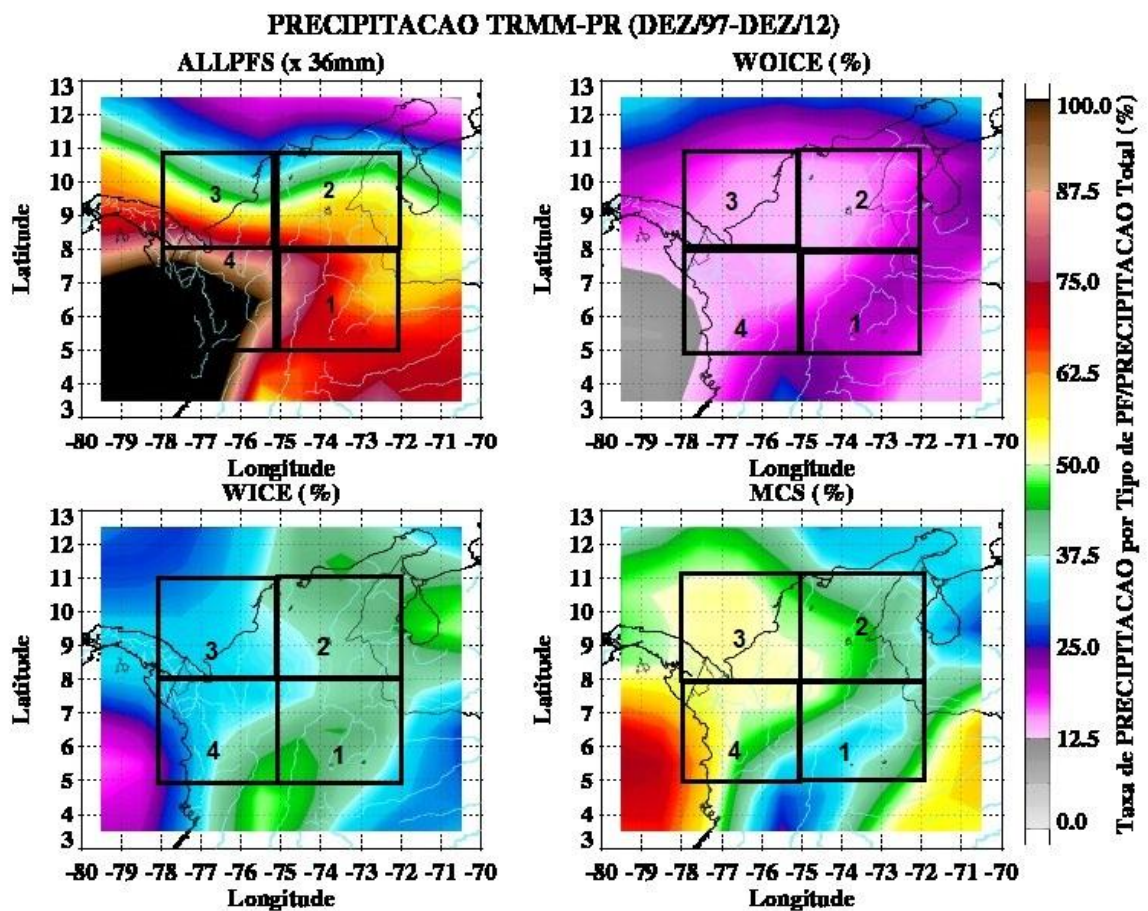
A Figura 6 descreve a taxa de precipitação por tipo de sistemas precipitantes no período de dezembro de 1997 à dezembro de 2012 na região 72W-78 W a 5N-11N na região de estudo englobando os sistemas precipitantes (ALLPFS), sistemas com presença de gelo (WICE), sistemas precipitantes sem gelo (WOICE) e os sistemas convectivos de mesoescala (SCM), destacando o volume de precipitação obtida através do satélite TRMM.

A relação de ALLPFS (Figura 6) mostra a ocorrência da precipitação, onde na região 1 próximo da cidade de Cúcuta, fronteira com a Venezuela, foi registrada a menor taxa de precipitação, em torno de 60 % e a maior taxa na cidade de Caucásia chegando próximo dos 80%. Na região 2, a menor taxa de precipitação em torno de 45% ocorreu nas cidades de Pivijay, Valedupar e Since e a maior em torno de 75%, na cidade de Caucásia. Na região 3, a menor taxa foi na cidade de Cartagena, com aproximadamente 30% da taxa de precipitação, já a maior taxa foi observada nas proximidades da cidade de Sincelejo com quase 70%. Na região 4, foi encontrada área com a maior taxa de precipitação em torno de 100%, nas proximidades das cidades de Manizales, Quibdó, Medellín, Yarumal, Juradó, Tierralta e Valdívia. Os valores de máxima taxa de precipitação por ALLPFS podem ser justificados através da migração meridional da Zona de Convergência Intertropical visto que sua posição está associada com a intensidade dos ventos alísios de leste, a leste entre os hemisférios norte e sul.

A descrição dos sistemas precipitantes sem gelo (WOICE) é observada em todas as 4 regiões estudadas (Figura 6). Nela, é possível observar que as taxas de precipitação variam de 12,5% a 25% na região 2,3 e 4 e alcançando aproximadamente 25% na região 1. Analisando os sistemas precipitantes com espalhamento de gelo (WICE) na figura 6, observa-se que eles contribuíram de 25 % a quase 50 % da taxa de precipitação dentro das 4 regiões estudadas, com aproximadamente 50% a sudoeste da região 1, próximo da cidade de Tunja, e a sudeste da região 4 nas proximidades das cidades de Manizales e Quibdó, com cerca de 40% da precipitação. Os sistemas convectivos de mesoescala (SCM) foram responsáveis por grande parte da precipitação ocorrida durante o período de estudo nas quatro regiões estudadas, sendo que o menor valor foi registrado a nordeste e

sudoeste da região 1, cerca de 37,7% do total de precipitação e valor máximo em torno de 70% na região 4, destacando-se a cidade de Quibdó umas das cidades colombiana com maior índice anual de precipitação, visto que as chuvas ao longo dos Andes da Colômbia possui um efeito significativo sobre a ocorrência de chuvas no Pacífico ao longo da costa colombiana como se observa na região 4.

Figura 6. Precipitação por tipo de sistema.



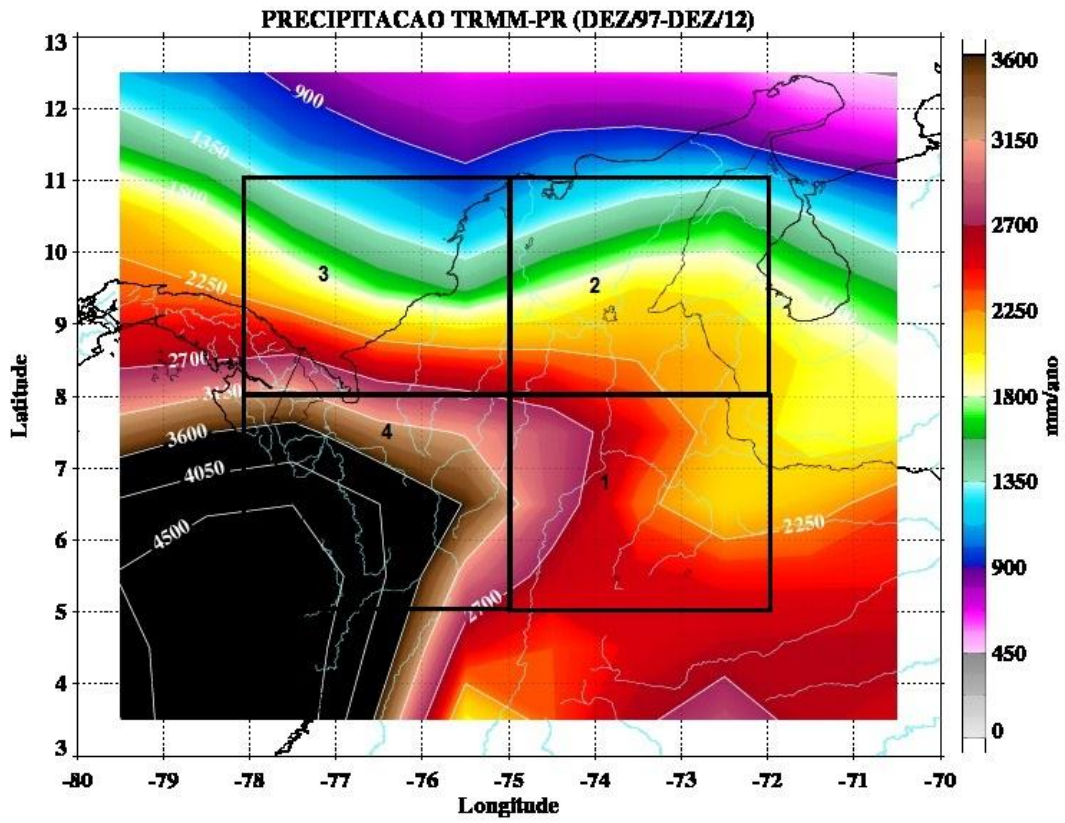
Fonte: Da autora.

O ciclo anual das chuvas na Colômbia é influenciado por diversos fenômenos físicos (ZCIT, advecção de umidade dos ventos alísios de leste, Jato CHOCÓ e os sistemas convectivos, assim como também a interação solo-atmosfera). A oscilação meridional da ZCIT pode ser entendida como um dos principais fatores responsáveis pela precipitação que ocorre na Colômbia, sendo que as chuvas na parte central do país ocorrem em dois períodos, com a primeira temporada nos meses de abril-maio e a segunda temporada, com os maiores índices de precipitação, nos meses de outubro a novembro. Já a temporada de secas ocorrem nos meses de dezembro a fevereiro e junho a agosto.

A Figura 7 mostra a distribuição mensal da precipitação na Colômbia com destaque para a região 4 no qual ocorrem duas temporadas de chuvas na costa colombiana e nas proximidades da cidade de Quibdó ($6^{\circ}\text{N}-76^{\circ}\text{W}$) como descrito na climatologia dessa cidade, com a primeira temporada iniciando no mês de abril (525 mm/mês) e finalizando em maio com aproximadamente 600 mm/mês. Já a segunda temporada, inicia-se no mês de outubro, com cerca de 570 mm/mês, e termina em novembro com aproximadamente 525 mm/mês. O período menos chuvoso que ocorre na parte central da Colômbia (regiões 1 e 2) se inicia a partir do mês de dezembro com precipitação em torno de 200 mm/mês, e alcançando os menores valores no mês de janeiro (75 mm/mês).

Através da tabela 1, juntamente com a figura 8 é possível destacar numa análise geral a região 4, que apresenta a maior quantidade de chuvas anuais, sendo que essa área no qual está a cidade de Quibdó é considerada uma das mais chuvosas do planeta (ESLAVA,1994 apud POVEDA,2003). Os máximos de precipitação foram nas proximidades das cidade de Manizales situada a noroeste ($5^{\circ}\text{N}-76^{\circ}\text{W}$) e Quibdó também situada a noroeste ($6^{\circ}\text{N}-76^{\circ}\text{W}$) com cerca de 4050mm/ano. A interação oceano-terra-atmosfera juntamente com a possível presença de um jato de baixo nível de oeste (CHOCO), e a elevação orográfica do Andes sobre a Colômbia podem ser responsável pela significativa quantidade de chuva na região 4.

Figura 8. Precipitação mm/ano.



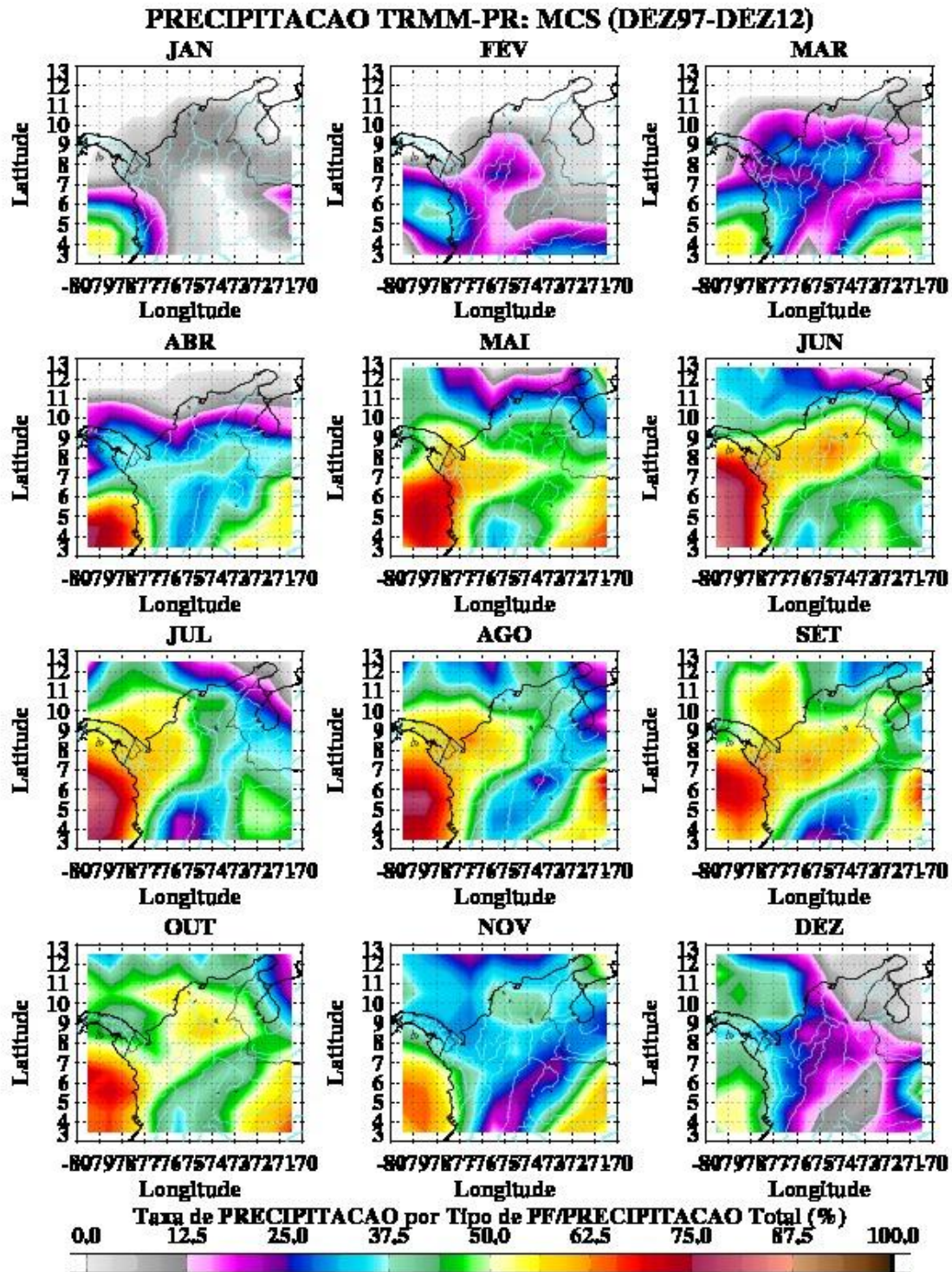
Fonte: Da autora.

Tabela 01. Precipitação TRMM (mm/ano).

PRECIPITAÇÃO TRMM				
MESES	REGIÃO 01	REGIÃO 02	REGIÃO 03	REGIÃO 04
JANEIRO	71,75	33,2	20,13	174,09
FEVEREIRO	86,97	38,87	16,13	183,52
MARÇO	172,75	107,19	50,32	243,8
ABRIL	272,61	185,08	91,9	318,98
MAIO	305,66	258,35	184,35	485,9
JUNHO	176,57	211,89	178,17	388,21
JULHO	186,66	148,03	179,49	415,74
AGOSTO	201,15	219,67	191,25	401,84
SETEMBRO	224,19	239,26	246,38	422,52
OUTUBRO	277,16	267,83	243,3	426,17
NOVEMBRO	219,05	230,5	167,32	332,03
DEZEMBRO	127,24	98,77	134,37	273,3
mm/ano	2321,76	2038,64	1703,11	4066,1

Fonte: Da autora.

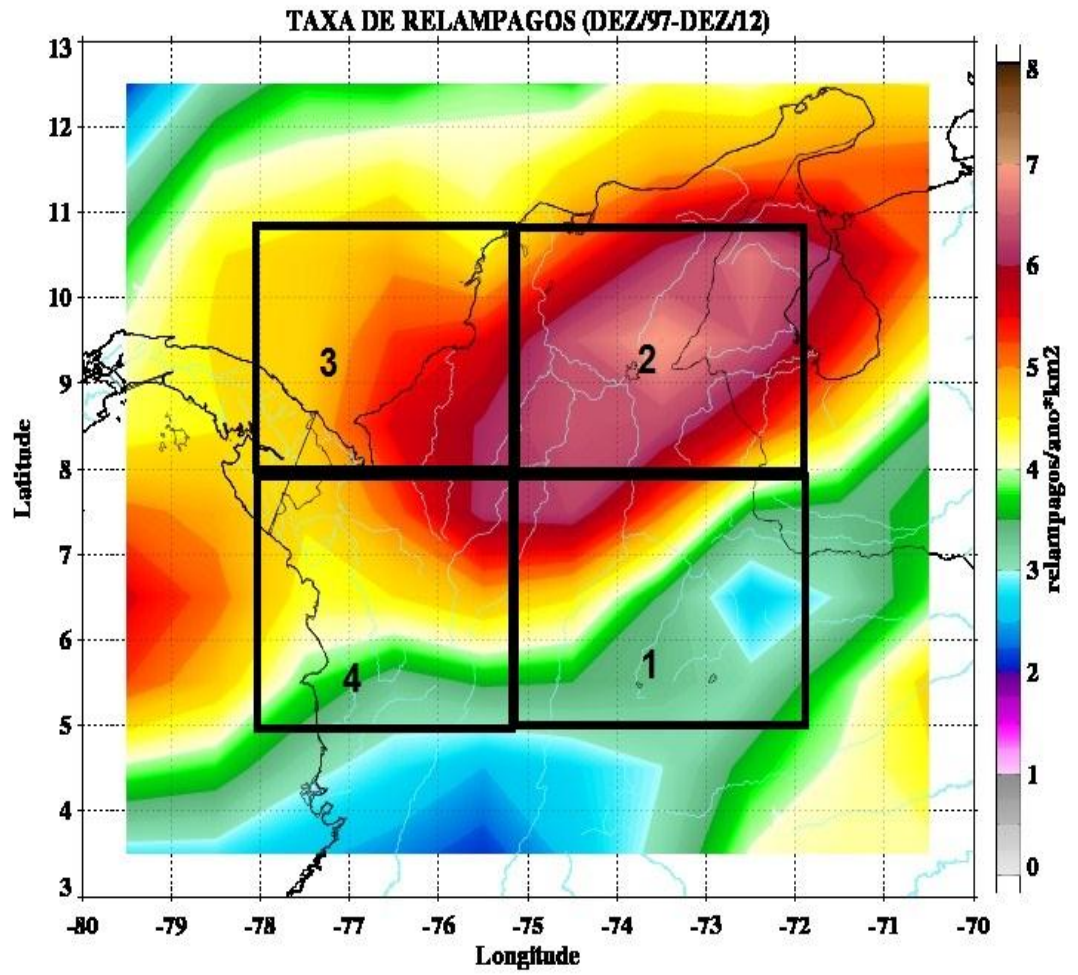
Figura 9. Taxa de precipitação por MCS.



Fonte: Da autora.

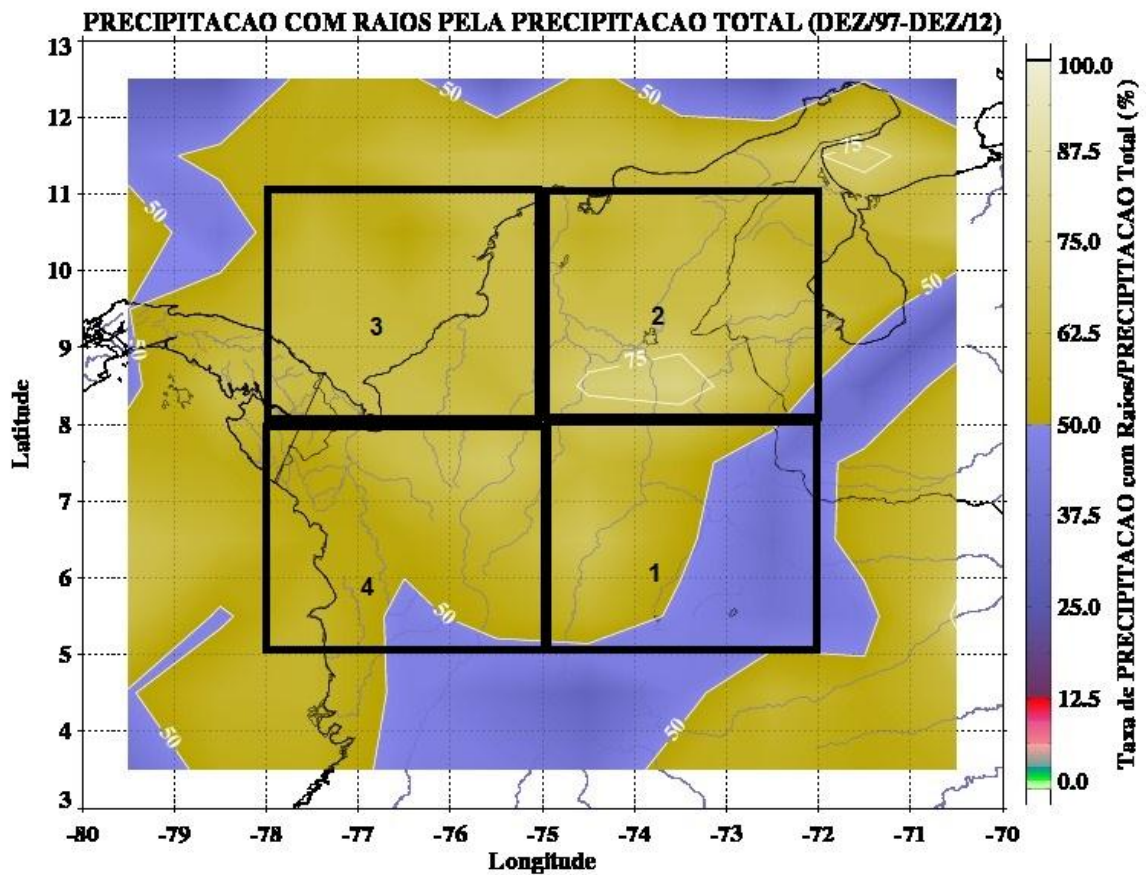
Os trópicos são de grande importância global como fonte de calor por meio da circulação meridional e o transporte de calor das baixas latitudes para as médias latitudes. A convecção é um dos principais mecanismos de ocorrência de chuvas nos trópicos, contribuindo para o transporte de calor para os níveis mais elevados da atmosfera. Os sistemas meteorológicos são frequentemente classificados de acordo com suas escalas, que segundo Orlanski (1975), dimensão típica entre 2 e 2000 km e duração entre minutos e dias. Estes se subdividem em: meso- α (200-2000 km), meso- β (20-200 km) e meso- γ (2-20 km). Os Sistemas Convectivos (SC) ou aglomerados de nuvens são responsáveis por grande parte da precipitação nos trópicos e em várias localidades de latitudes médias durante a estação quente.

A figura 9 mostra a taxa de precipitação por MCS no período de dezembro de 1997 a dezembro de 2012. Nesta figura observa-se que no trimestre de janeiro a março a taxa de precipitação por MCS é a menor ao longo do ano, variando de 12,5 % na parte central da Colômbia e de quase 50 % na parte oeste colombiana (região 4), porém a contribuição dos PFs sem gelo (Figura 10) nos meses de JFM (Janeiro, Fevereiro e Março), chegam a quase 62,5% na área central da Colômbia (regiões 2 e 3), e na área oeste do país com 37 %, com destaque para a parte norte das regiões 2 e 3 com a maior taxa de sistemas sem espalhamento de gelo, quase 100 %. Através das figuras 9 e 10 pode-se perceber que a maior ocorrência de MCS (figura 9) está na região oeste da Colômbia (maior ocorrência no Oceano Pacífico) em contraste com os PFs sem espalhamento de gelo (figura 10) com maior ocorrência na parte norte do país (cidade de Cartagena, 11°N-76°W).

Figura 11. Taxa de relâmpagos Km²/ano.

Fonte: Da autora.

Figura 12. Taxa de precipitação com raios.



Fonte: Da autora.

Os dados de relâmpagos medidos pelo LIS a bordo do satélite TRMM permitem examinar a intensidade dos sistemas e comparar as sub-regiões com maior influência de descargas elétricas. É comum em sistemas precipitantes a ocorrência de descargas elétricas, visto que esses sistemas são carregados de cristais de gelo. A formação de uma nuvem de tempestade se inicia com a elevação de uma parcela de ar quente e úmido, seja por correntes ascendentes, topografia ou outras forçantes.

Na distribuição espacial do número de relâmpagos por Km² (figura 11) medidas pelo sensor LIS, nota-se a maior incidência de descargas elétricas nas regiões 1 e 2, com taxa de quase 8 relâmpagos por Km²/ano. Sendo que a figura 12 mostra que a maior incidência de PFs com raios ocorre justamente nas regiões 1 e 2, destacando-

se a área central da Colômbia, onde 75% da precipitação ocorrem descargas elétricas.

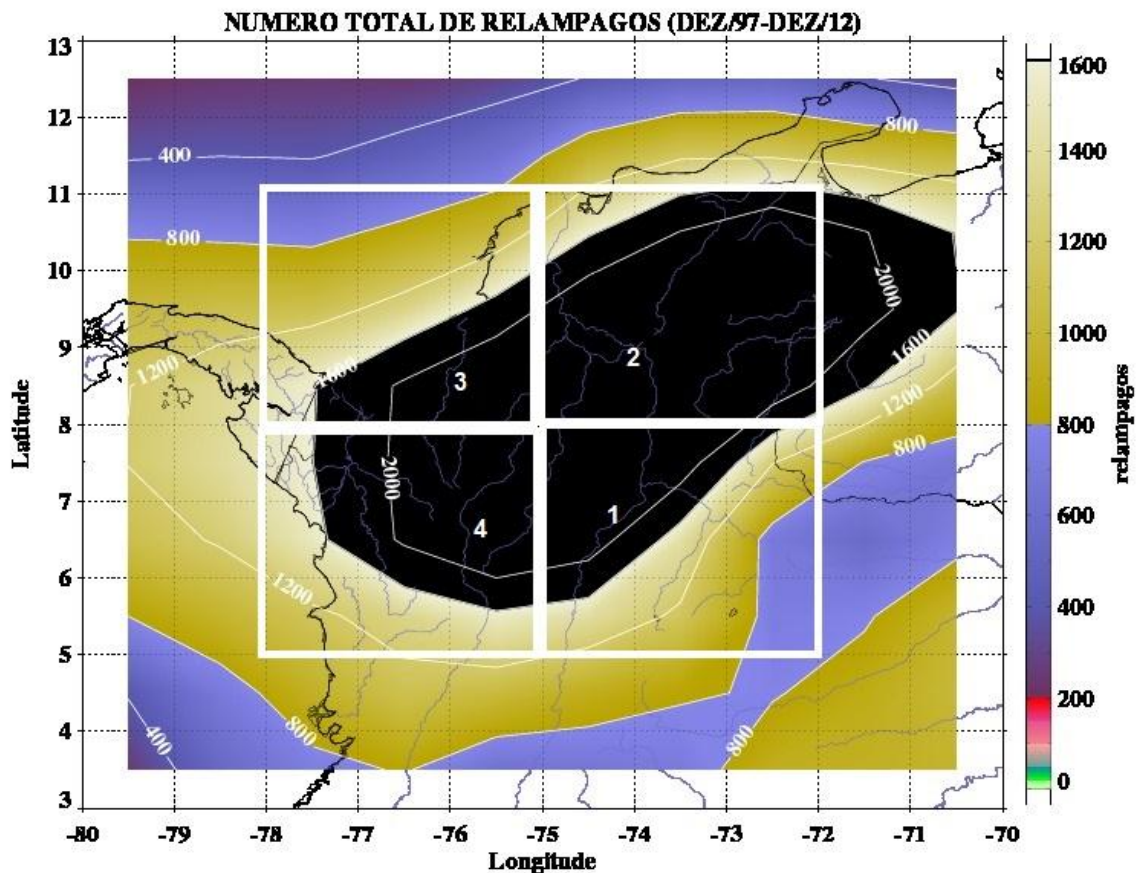
De acordo com a Tabela 2, onde mostra a distribuição dos sistemas precipitantes sobre a área de estudo, em geral observa-se que a região 3 apresenta o maior número de sistemas precipitantes amostrados em 15 anos de dados, e total de mais de 53 mil sistemas precipitantes, sendo a região com maior ocorrência de MCS (508 Sistemas Convectivos de Mesoescala), e com o maior número de sistemas eletrificados. Os sistemas que são formados dentro do continente sofrem ascensão e conseqüentemente são mais fortes, e conseguem manter-se por mais tempo junto as partículas de água, que ao penetrar em camadas mais frias ganham grande desenvolvimento vertical e viram nuvens com presença de cristais de gelo e granizo. Ao comparar a Tabela 2 com a Figura 13, nota-se que a maior incidência de raios acontece na área central da Colômbia, porém a maior parte dos raios ocorrem mais precisamente na região 2, assim como a maior incidência de PFs com gelo, cerca de 11450 sistemas com gelo.

Tabela 2. Distribuição do número total de Sistemas Precipitante e Raios. (Dez/97-Dez/12).

Distribuição do Número Total de Sistemas Precipitantes e Raios					
Nº de Sistemas	Região 01	Região 02	Região 03	Região 04	Total
ALLPFS	37718	29554	53573	26981	147826
PFS	37552	29479	53396	26914	147341
WOICE	34092	26099	48524	24351	133066
WICE	32204	3064	4364	2319	41951
MCS	256	316	508	244	1324
Nº de Sistemas Eletrificados	Região 01	Região 02	Região 03	Região 04	Total
ALLPFS	1517	1668	1842	1134	6161
PFS	95	1667	1814	1134	4710
WOICE	1213	85	97	56	1451
WICE	1514	1295	1336	873	5018
MCS	206	287	408	205	1106
Nº de Raios	Região 01	Região 02	Região 03	Região 04	Total
ALLPFS	12808	24820	18548	11680	67856
PFS	12796	24818	18547	11680	67841
WOICE	131	139	126	85	481
WICE	6734	11450	6727	5399	30310
MCS	5931	13229	11694	6196	37050

Fonte: Da autora.

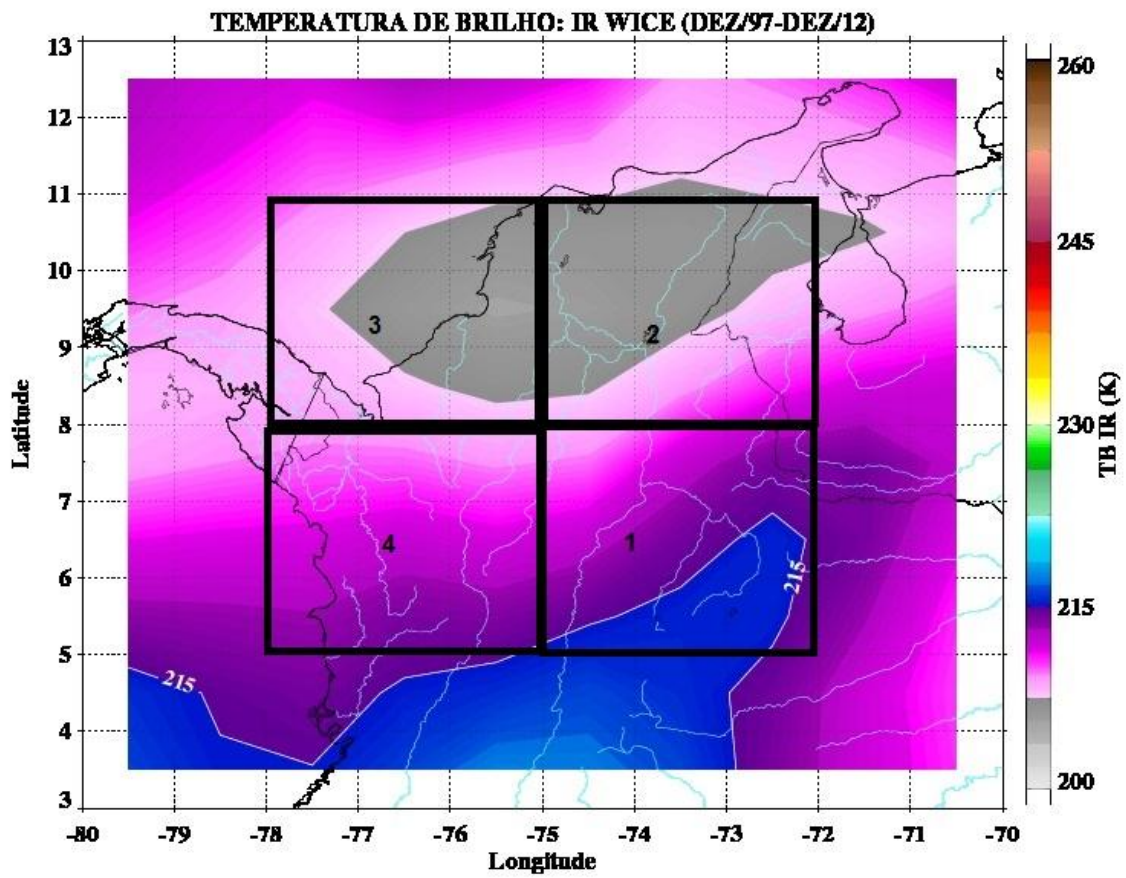
Figura 13. Número total de relâmpagos.



Fonte: Da autora.

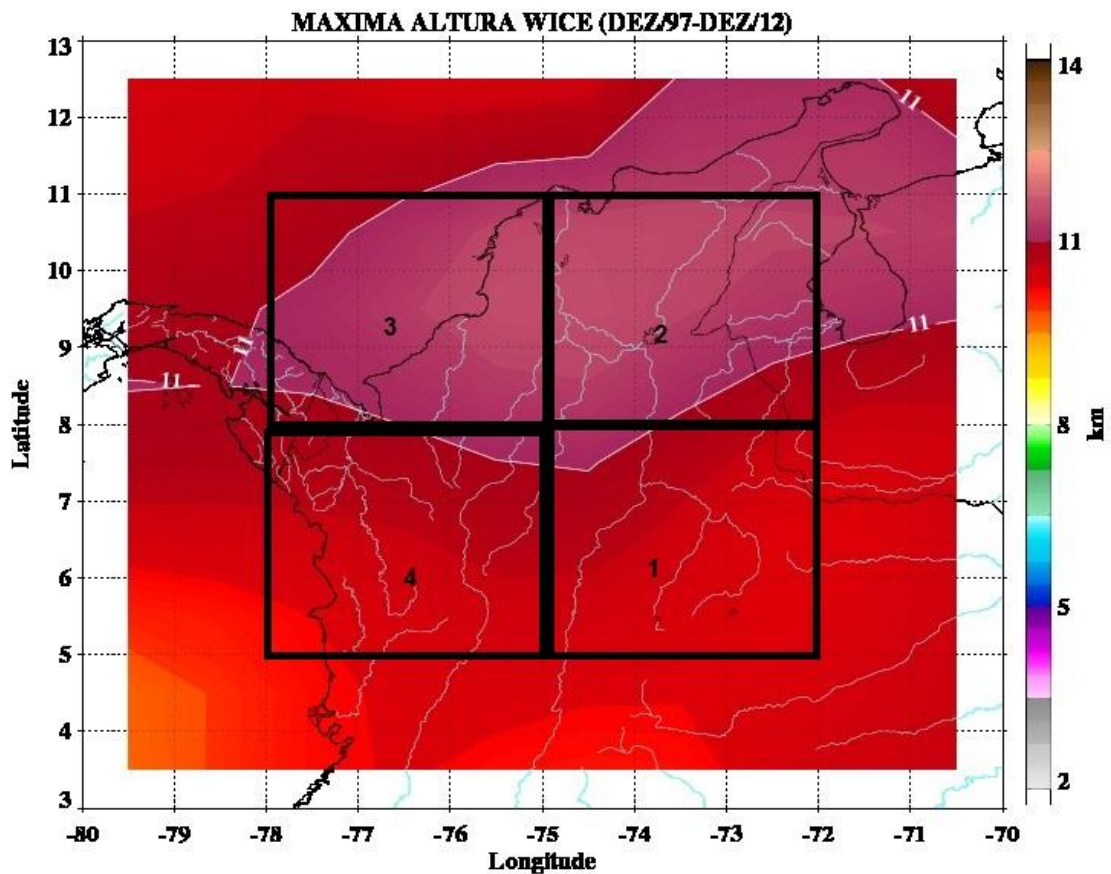
A elevação topográfica, a transferência de calor e umidade para os altos níveis da atmosfera contribuem para condensação de partículas de água e posterior formação de nuvem com presença de gelo, e com grande desenvolvimento vertical, a junção desses fatores favorecem a ocorrência de chuvas nos meses em que a ZCIT não está sobre a Colômbia. Através da análise da Temperatura de brilho no canal de infravermelho é possível identificar as nuvens com profundidade, a Figura 14 mostra o comportamento médio da temperatura do topo de nuvens nas áreas estudadas. A região 2 e a parte central da região 3 apresentam a menor temperatura (200 K), sendo que na figura 15 nota-se a maior profundidade de nuvens (11Km) com espalhamento de gelo nas mesmas regiões, o que justifica a ocorrência das chuvas em alguns períodos onde não existe a influência de sistema de escala sinótica.

Figura 14. Temperatura de brilho no canal de infravermelho de sistemas com gelo.



Fonte: Da autora.

Figura 15. Máxima altura de sistema com gelo.



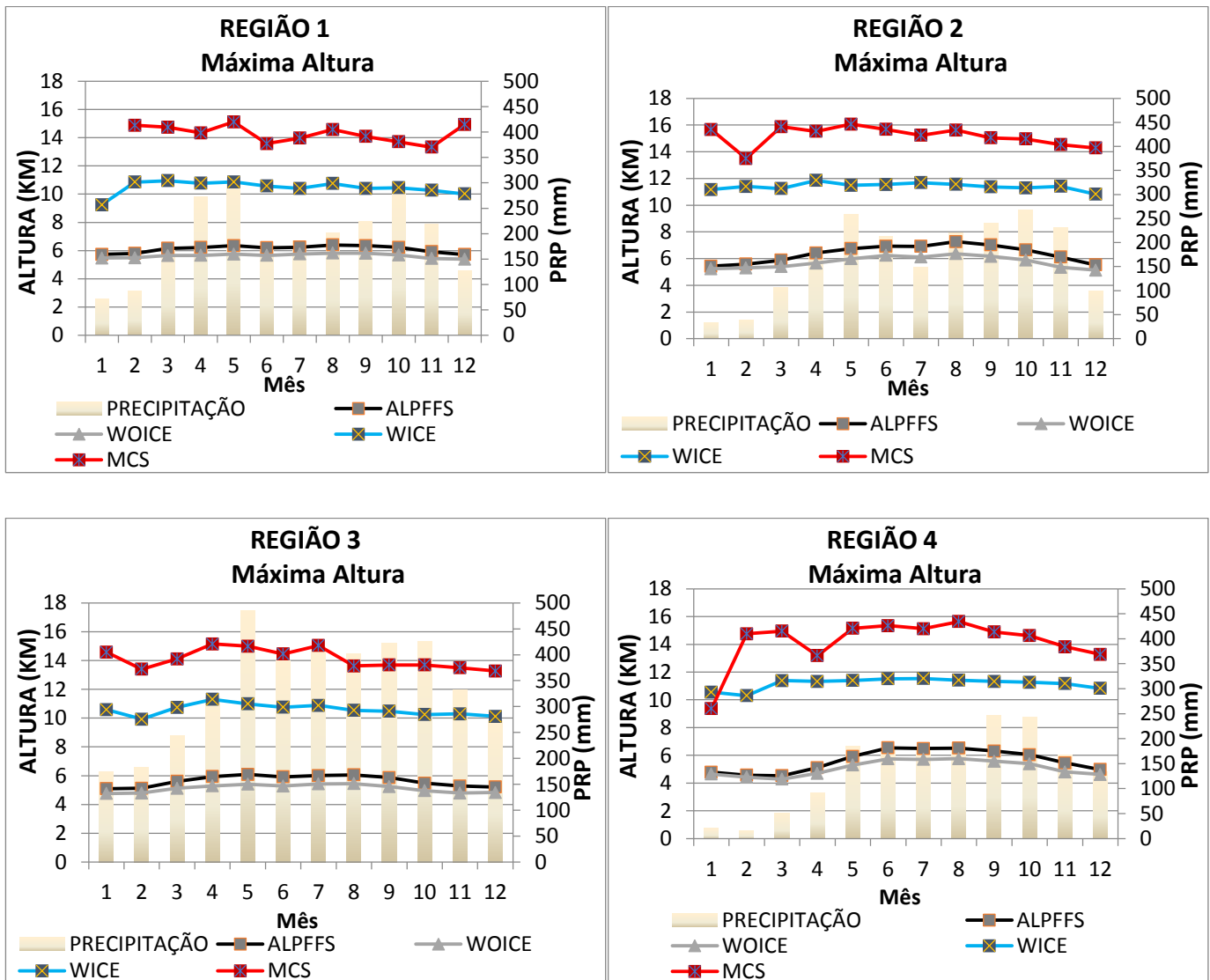
Fonte: Da autora.

A figura 16 mostra a Máxima Altura dos Sistemas precipitantes no período de dezembro de 1997 a dezembro de 2012, onde as linhas são a altura (Km) dos PFs e as barras são o volume médio de chuvas em cada mês(mm). Nota-se que a influência da ZCIT contribui para a intensificação, no primeiro período chuvoso da Colômbia (abril-maio), onde os PFs com gelo e MCS são os que apresentam maior altura assim como maior contribuição na ocorrência de precipitação. É possível também observar que nos meses em que a ZCIT encontra mais ao norte(julho-agosto) em torno de 10°N de latitude, a maior ocorrência de chuvas ocorre justamente na região 3.

Os sistemas precipitante com gelo e os MCS como observado na figura 16, são os de maior altura e conseqüentemente os que mais contribuem para as chuvas da Colômbia em todas as 4 regiões estudadas, sendo que esses PFs sofrem além da influência da ZCIT também das condições físicas como topografia, vegetação,

presença da terra-água, sendo que todos esses fatores influenciam a formação e intensificação desses PFs, o que justifica o grande volume de chuvas durante todo o ano.

Figura 16. Máxima altura dos sistemas precipitantes.



Fonte:

Da autora.

6 CONCLUSÃO

A combinação dos distintos sistemas meteorológicos com a singular topografia e climatologia da Colômbia, assim como sua posição geográfica aumenta o nível de complexidade dos sistemas precipitantes. Os resultados obtidos nos 15 anos de dados sobre as 4 regiões analisadas, permitem concluir que a Colômbia apresenta um dos maiores índices pluviométricos do planeta. A climatologia da precipitação na Colômbia mostra grande variabilidade espacial entre as suas regiões, sendo que a oeste do país na cidade de Quibdó (região 4) e Manizales (região 4), o acumulado anual atinge cerca de 4050 mm/ano. Na análise dos 15 anos de dados mensais de precipitação, nota-se que na região 4 (praticamente todas as cidades) o período chuvoso começou a partir do mês de abril e se estendeu até o mês de outubro, sendo que a estação menos chuvosa iniciou em dezembro e se estendeu até o mês de março. Os estudos feitos nessa região por Eslava *et al.*, 2002, afirmaram que o ciclo anual dominado pela oscilação meridional da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), contribui para a dinâmica do transporte de umidade através dos ventos alísios de leste, assim como os ventos do Jato de baixo nível CHOCO, que ao interagir com os sistemas convectivos de mesoescala (SCM) aumentam a ocorrência de chuvas nessa região.

Os sistemas precipitantes com espalhamento de gelo contribuíram de 25% a quase 50% nas 4 áreas de estudo, sendo que aproximadamente 50% da precipitação ocorrida a sudoeste da região 1 e com 40 % a sudeste da região 4 no período de estudo, foi decorrente de PFs com gelo. Numa análise geral pode-se afirmar que as chuvas originadas de sistemas com espalhamento de gelo são as que mais contribuem (mesmo que em pequena porcentagem) o ano todo para a ocorrência de chuvas, sendo que esses PFs geralmente vem acompanhados de descargas elétricas, sendo que grande parte da incidência de raios ocorreu na região 2 com 11450 raios registrados. Porém na análise feita dos sistemas convectivos de mesoescala (SCM), conclui-se que esses PFs são responsáveis pela ocorrência de chuvas em praticamente o ano todo, com os trimestres AMJ e JAS os meses com maior ocorrência de sistemas convectivos de mesoescala ,com aproximadamente 62,5 % na parte central da Colômbia (abrangendo grande parte

das regiões 1 e 2),esses PFs geralmente são acompanhados de descargas elétricas e o maior registros de SCM com raios(13229 raios) ocorreu na área central colombiana, abrangendo quase toda região 2 (13229 raios) e 3 (11694 raios),dessa forma esses sistemas são os de maior contribuição no volume de chuvas anuais da Colômbia, principalmente nos período em que a ZCIT não está sob o território colombiano, porém os meses de Janeiro, Fevereiro e Março os de menor ocorrência de SCM com máximo de 12 % (Janeiro) em quase toda as 4 regiões de estudo. Os PFs sem espalhamento de gelo foram os que menos influenciaram anualmente para ocorrência de chuvas, mas os meses de Janeiro, Fevereiro e Março os de maior incidência de sistemas sem gelo com máximo de quase 100% na parte norte das regiões 2 e 3, sendo que a proximidade com o Mar do Caribe pode justificar essa grande incidência, visto que na área continental são registrados os menores volumes anuais de precipitação decorrente de PFs sem espalhamento de gelo.

Os dados de relâmpagos medidos através do sensor LIS abordo do satélite TRMM nos permite concluir que a maior incidência de sistemas precipitantes com raios acontece nas regiões 1 e 2, sendo que na área central da Colômbia 75 % da precipitação ocorrida possui descargas elétricas. Numa distribuição espacial dos PFs com raio percebe-se a ocorrência de quase 8 relâmpagos por Km²/ano nas regiões 1 e 2. Na análise da Temperatura de brilho no canal do infravermelho foi possível identificar as nuvens com profundidades nas áreas estudadas, sendo que na a região 2 e a parte central da região 3 apresentou temperaturas de 200 K, e nuvens com espalhamento de gelo com profundidade de 11 Km na região 2 e na parte central da região 3.

REFERÊNCIAS

- AHRENS, C. D. **Meteorology Today**. 9. ed. USA, 2007. 528p.
- ATLAS climatológico nacional. Colômbia: IDEAM, 2006. Anual.
- COLLISCHONN, B. **Uso de precipitação estimada pelo satélite TRMM em modelo hidrológico distribuído**. 2006. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006..
- GLICKMAN, T. S. (ed.). **Glossary of Meteorology**. 2. ed. [S.l.]: Amer. Meteor. Soc., 2000. 855 p.
- HASTENRATH, S.; LAMB. **Climatic Atlas of the Tropical Atlantic and Eastern Pacific Oceans**. [S.l.]: University of Wisconsin Press, 1977. 177 p.
- KUMMEROW, C.; BARNES W.; KOZU T.; SHIUE J.; SIMPSON J. The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) sensor package, **J. Atmos. Oceanic Technol.**, v. 15, p. 809–817, 1998.
- MACGORMAN, D. R.; RUST, W. D. **The Electrical Nature of Storms**. New York: Oxford University Press, 1998.
- MADDOX, R. A. Mesoscale convective complexes. **Bull. Amer. Met. Soc.**, v. 61, p. 1374-1387, 1980.
- MOTA, G. V. **Characteristics of rainfall and precipitation features defined by the tropical rainfall-measuring mission over South America**. 2003. 201 f. Tese (Doutorado em Meteorologia) - University of Utah, Utah, 2003.
- NESBITT, S. W.; ZIPSER E. J.; CECIL, D. J. A Census Of Precipitation Features In The Tropics Using TRMM; Radar, Ice Scattering, And Lightning Observations. **Journal Climate**, v. 13, n. 23, p. 4087-4106, dec. 2000.
- NÓBREGA, R. S. **Modelagem de impactos do desmatamento nos recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Jamari (RO) utilizando dados de superfície e do TRMM**. 2008. 184 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2008.
- NOTÍCIAS TERRA. **União Nacional para Gestão do Risco de Desastre**. Disponível em: <<http://noticias.terra.com.br/mundo/america-latina/colombia-chuvas-deixam-38-mortos-e-9-mil-familias-afetadas,0ffd3671af289410VgnCLD200000b1bf46d0RCRD.html>>. Acesso em: 10 dez. 2014.
- ORLANSKI, I. A rational subdivision of scales for atmospheric processes. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 56, p. 527-530, 1975.
- PHILANDER, S. G. H. et al. Why the ITCZ is mostly north of the Equator. **J. Climate**, v. 9, p. 2958-2972, 1996.

PINTO Jr, O.; PINTO, I. R. C. B. **Tempestades e Relâmpagos no Brasil**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2000.

POVEDA, G. La hidroclimatología de Colombia: una síntesis desde la escala inter-decadal hasta la escala diurna. **Rev. Acad. Colomb. Cienc.**, v. XXVIII, n. 107, jun. 2004.

POVEDA, G. **Retroalimentación dinámica entre el fenómeno El Niño-Oscilación del Sur y la hidrología de Colombia**. 1998. Tesis (Doctor en Ingeniería en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos) - Universidad Nacional de Colombia, 1998.

POVEDA, G.; MESA, O.J. Feedbacks between hydrological processes in tropical South America and large-scale ocean-atmospheric phenomena. **J. Climate**, v. 10, p. 2690-2702, 1997.

POVEDA, G.; MESA, O.J. On the existence of Lloró (the rainiest locality on earth): enhanced ocean land atmosphere interaction by a low-level jet. **Geophysical Research Letters**, v. 27, n. 11, p. 1675- 1678, 2000.

POVEDA, G. et al. The Diurnal of Precipitation in the Tropical Andes of Colombia. **Monthly Weather Review**, v. 133, mar. 2003.

TRMM: Bringing remote sensing of precipitation into your classroom **Terra e Didática**, v.6, n. 1, p. 3-8, 2010.

VAREJÃO-SILVA, M.A. **Meteorologia e Climatologia**. Brasília: Inmet, 2006. 364p.

VELASCO, I.; FRISCH, M. Mesoscale convective complexes in the Americas. **J. Geophysics. Res.**, v.92, (D8), p. 9591–9613. 1987.