

UFMS - UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL

CCET – CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA

**PGTA – PROGRAMA DE POS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS
AMBIENTAIS**

**DESENVOLVIMENTO DE UMA PLATAFORMA PARA ESTUDO DOS
EVENTOS EXTREMOS E DISTRIBUIÇÃO DA PRECIPITAÇÃO E
OCORRÊNCIA DE DESCARGAS ELÉTRICAS NA BACIA DO RIO PARAGUAI**

Robson Jaques

2012

UFMS - UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL

CCET – CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA

**PGTA – PROGRAMA DE POS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS
AMBIENTAIS**

**DESENVOLVIMENTO DE UMA PLATAFORMA PARA ESTUDO DOS
EVENTOS EXTREMOS E DISTRIBUIÇÃO DA PRECIPITAÇÃO E
OCORRÊNCIA DE DESCARGAS ELÉTRICAS NA BACIA DO RIO PARAGUAI**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, UFMS, em cumprimento às exigências para a obtenção do grau de mestre.

Orientador: Prof. Dr. Moacir Lacerda.

Robson Jaques

2012

AUTOR: ROBSON JAQUES

**DESENVOLVIMENTO DE UMA PLATAFORMA PARA ESTUDO DOS
EVENTOS EXTREMOS E DISTRIBUIÇÃO DA PRECIPITAÇÃO E
OCORRÊNCIA DE DESCARGAS ELÉTRICAS NA BACIA DO RIO PARAGUAI**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL, CAMPO GRANDE, MS

Data.....: _____

Resultado..: _____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Moacir Lacerda

Prof. Dr. Clovis Lasta Fritzen

Prof. Dr. Widinei Alves Fernandes

Dedico este trabalho aos meus amigos, ao meu orientador, a minha esposa e aos demais familiares que me auxiliaram durante sua realização.

AGRADECIMENTOS:

A Deus, pelas oportunidades e tempo para desenvolver este trabalho.

A meu grande amigo e orientador Moacir Lacerda, pelas horas de dedicação e trabalho.

A minha querida esposa, pelo apoio que tornou possível este trabalho.

A FUNDECT, por ceder bolsa nos primeiros meses deste projeto.

A CAPES, por ceder bolsa durante a maior parte deste projeto.

Ao IAG/USP, por fornecer dados referentes as descargas elétricas.

E a NASA, por fornecer dados referentes a precipitação.

A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original.

Albert Einstein

SUMÁRIO

RESUMO	8
ABSTRACT	9
LISTA DE FIGURAS	10
LISTA DE TABELAS	12
LISTA DE EQUAÇÕES E ALGORITMOS	13
LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES	14
1. INTRODUÇÃO	15
1.1. BACIA DO RIO PARAGUAI	15
1.2. EVENTOS EXTREMOS	16
1.3. PRECIPITAÇÃO CONVECTIVA E ESTRATIFORME	17
1.4. DESCARGAS ELÉTRICAS	19
2. METODOLOGIA	20
2.1. OBTENÇÃO DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO ESTIMADA	21
2.2. OBTENÇÃO DOS DADOS DE DESCARGAS ELÉTRICAS	22
2.3. FILTRAGEM DOS DADOS	23
2.4. CONTAGEM ESPACIAL	25
2.5. CONTAGEM TEMPORAL	25
2.6. SEPARAÇÃO DA CHUVA COM RAIOS E CHUVA SEM RAIOS	26
2.7. SEPARAÇÃO DOS PERÍODOS DE SECA E CHUVA	27
2.8. PRODUÇÃO DAS SERIES DE IMAGENS	28
2.9. DETECÇÃO DOS EVENTOS EXTREMOS	28
2.10. LEVANTAMENTO DA CONTEXTO DOS EVENTOS EXTREMOS	29
2.11. CORRELAÇÃO ENTRE PRECIPITAÇÃO E DESCARGAS ELÉTRICAS	29
3. A PLATAFORMA XPLOTT	31
3.1. O DESENVOLVIMENTO	31
3.2. INTERFACE	31
3.3. PLOTAGEM	32
4. RESULTADOS	33
4.1. DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS DESCARGAS ELÉTRICAS	33
4.2. CONTAGEM ESPACIAL	36
4.3. CONTAGEM TEMPORAL	39
4.5. DETECÇÃO DOS EVENTOS EXTREMOS	40
4.6. CORRELAÇÕES ENTRE PRECIPITAÇÃO E DESCARGAS ELÉTRICAS	44
5. CONCLUSÕES	49
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
7. APÊNDICES	53

LISTA DE FIGURAS

Nome	Conteúdo	Pag.
Figura 1.1	Extensão da Bacia do Rio Paraguai	15
Figura 2.1	Procedimentos desenvolvidos para a realização da pesquisa	20
Figura 3.1	Interface e download automatizado	32
Figura 4.1	Fevereiro de 2008: 10155 raios	33
Figura 4.2	Dezembro de 2008 – 836228 raios	34
Figura 4.3	Abril de 2009 – 475949 raios	34
Figura 4.4	Agosto de 2009 – 945021 raios	35
Figura 4.5	Outubro de 2009 – 1303146 raios	35
Figura 4.6	Distribuição espacial das descargas elétricas	36
Figura 4.7	Precipitação acumulada sobre a Bacia do Rio Paraguai	37
Figura 4.8	Descargas elétricas sobre a bacia sobre Bacia do Rio Paraguai	38
Figura 4.9	Soares e Fernandes (2008), raios sobre a região do Pantanal Sulmatogrossense.	38
Figura 4.10	Valores de precipitação acumulada por períodos de seca e chuva.	39
Figura 4.11	Raios em função do hora do dia	39
Figura 4.12	Curva de Carnegie para América do Sul	40
Figura 4.13	Localização dos eventos extremos mais significativos na Bacia do Rio Paraguai	42
Figura 4.14	Evento extremo ocorrido em 25/05/2009, 18hs - 21hs, 1604 descargas elétricas	42
Figura 4.15	Evento extremo ocorrido em 09/02/2010 9hs - 12hs, 220 mm de precipitação	43
Figura 4.16	Mapeamento dos eventos extremos na Bacia do Rio Paraguai	44
Figura 4.17	Chuva com existência de raios (azul), e total de raios (vermelho), no período de seca	45
Figura 4.18	Chuva com existência de raios (azul), e total de raios (vermelho), no período de chuva	45

Figura 4.19	Diagrama de dispersão entre chuva com existência de raios e total de raios (para o período de seca)	46
Figura 4.20	Diagrama de dispersão entre chuva com existência de raios e total de raios (para o período de chuva)	47
Figura 4.21	Chuva total dividida pela chuva com descargas elétricas em cada mês	47
Figura 4.22	Padovani (2001), Diagrama de dispersão entre chuva estimada pelo TRMM e chuva medida em pluviômetros.	48

LISTA DE TABELAS

Nome	Conteúdo	Pag.
Tabela 1.1	Chuva estratiforme e convectiva	19
Tabela 2.1	Exemplo de dados de precipitação cedidos pela NASA/TRMM	22
Tabela 2.2	Exemplo de dados de raios cedidos pelo STARTNET	23
Tabela 4.1	Relação dos eventos extremos de descargas elétricas	41
Tabela 4.2	Relação dos eventos extremos de precipitação	41

LISTA DE EQUAÇÕES E ALGORITMOS

Nome	Conteúdo	Pag.
Algoritmo 2.1	Filtragem dos dados de raios dentro da bacia e precipitação não nula	24
Algoritmo 2.2	Contagem espacial dos raios e das descargas elétricas	25
Algoritmo 2.3	Contagem temporal dos raios e das descargas elétricas	26
Algoritmo 2.4	Discriminação da precipitação sem raios e com raios	27
Algoritmo 2.5	Detecção dos eventos extremos	29
Equação 2.1	Método dos mínimos quadrados	30
Equação 2.2	Obtenção dos coeficientes de ajuste linear	30
Equação 2.3	Equação da reta	30

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACOES

UFMS	Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
UFRGS	Universidade Federal de Rio Grande do Sul
TRMM	Tropical Rainfall Measuring Mission
IAG	Instituído de Astronomias e Geofísica
USP	Universidade de São Paulo
STARNET	Sferics Timing and Raging Network
BP	Bacia do Rio Paraguai

Resumo:

Este trabalho apresenta uma plataforma com múltiplas funções desenvolvida especialmente para o estudo da Bacia do Rio Paraguai, a plataforma X-Plot. E mostra sua aplicação no estudo dos eventos extremos, distribuição espacial e temporal da precipitação estratiforme e convectiva e também das descargas elétricas. São mostrados os principais eventos extremos ocorridos na região da bacia do Rio Paraguai entre setembro de 2007 e julho de 2010. A análise detalhada mostra que os eventos de precipitação intensa e eventos de grande incidência de descargas elétricas não ocorrem simultaneamente. Além disso, mostra a distribuição espacial da precipitação acumulada, incidência de descargas elétricas, precipitação estratiforme e precipitação convectiva na região da bacia do Rio Paraguai para o mesmo período. A análise também mostra que a distribuição espacial das descargas elétricas e da precipitação acumulada ocorrem bem menos na região central da bacia, e que a Cordilheira dos Andes é uma região com alta concentração de descargas elétricas, e que a precipitação convectiva se concentra mais na região sudeste da BP.

Este trabalho mostra ainda ótimas correlações obtidas entre Precipitação convectiva e o número de Descargas elétricas, chegando a 98,8% para o período de chuva na Bacia do Rio Paraguai (BP) e de 93,2% para o período de seca na mesma região para o período de estudo entre setembro de 2007 a julho de 2010, o que possibilita a determinação da precipitação partindo da detecção de Descargas Elétricas, fato que pode facilitar a estimativa de precipitação em toda a bacia, sem a instalação de pluviômetros.

Palavras chave: Eventos extremos; Bacia do Rio Paraguai; Precipitação; Descargas Elétricas. Distribuição Espacial.

Abstract:

This paper presents a platform - X-Plot with multiple functions designed specifically for the study of the Paraguay River Basin and shows its application to the study of extreme events, spatial and temporal distribution of stratiform and convective precipitation and also the electrical discharges. There are shown the major extreme events in the region of the basin of the Paraguay River between September 2007 and July 2010. Detailed analysis shows that intense precipitation events and events of high incidence of lightning do not occur simultaneously. Moreover, the spatial distribution of accumulated rainfall, incidence of lightning, convective precipitation and stratiform precipitation in the region of the basin of the Paraguay River for the same period. The analysis also shows that the spatial distribution of lightning and occur far less accumulated rainfall in the central basin and the Andes is a region with higher concentration of lightning, and that the convective precipitation is concentrated more in the region southeast of the basin.

This work also shows excellent correlations between convective precipitation and the number of Lightning, reaching 98.8% for the period of rain in the Paraguay River Basin and 93.2% for the period of drought in the same region for the study period between September 2007 and July 2010. This allows the determination of precipitation based on the detection of electrical discharges, which may facilitate estimation of precipitation per year across the pond, without the installation of rain gauges.

Keywords: Extreme events, the Paraguay River Basin, rainfall, Electrical Discharge. Spatial Distribution.

LISTA DE FIGURAS

Nome	Conteúdo	Pag.
Figura 1.1	Extensão da Bacia do Rio Paraguai	17
Figura 2.1	Procedimentos desenvolvidos para a realização da pesquisa	22
Figura 3.1	Interface e download automatizado	34
Figura 4.1	Fevereiro de 2008: 10155 raios	35
Figura 4.2	Dezembro de 2008 – 836228 raios	36
Figura 4.3	Abril de 2009 – 475949 raios	36
Figura 4.4	Agosto de 2009 – 945021 raios	37
Figura 4.5	Outubro de 2009 – 1303146 raios	37
Figura 4.6	Distribuição espacial das descargas elétricas	38
Figura 4.7	Precipitação acumulada sobre a Bacia do Rio Paraguai	39
Figura 4.8	Descargas elétricas sobre a bacia sobre Bacia do Rio Paraguai	40
Figura 4.9	Soares e Fernandes (2008), raios sobre a região do Pantanal Sulmatogrossense.	40
Figura 4.10	Valores de precipitação acumulada por períodos de seca e chuva.	41
Figura 4.11	Raios em função do hora do dia	41
Figura 4.12	Curva de Carnegie para América do Sul	42
Figura 4.13	Localização dos eventos extremos mais significativos na Bacia do Rio Paraguai	44
Figura 4.14	Evento extremo ocorrido em 25/05/2009, 18hs - 21hs, 1604 descargas elétricas	44
Figura 4.15	Evento extremo ocorrido em 09/02/2010 9hs - 12hs, 220 mm de precipitação	45
Figura 4.16	Mapeamento dos eventos extremos na Bacia do Rio Paraguai	46
Figura 4.17	Chuva com existência de raios (azul), e total de raios (vermelho), no período de seca	47
Figura 4.18	Chuva com existência de raios (azul), e total de raios (vermelho), no	47

	período de chuva	
Figura 4.19	Diagrama de dispersão entre chuva com existência de raios e total de raios (para o período de seca)	48
Figura 4.20	Diagrama de dispersão entre chuva com existência de raios e total de raios (para o período de chuva)	49
Figura 4.21	Chuva total dividida pela chuva com descargas elétricas em cada mês	49
Figura 4.22	Padovani (2001), Diagrama de dispersão entre chuva estimada pelo TRMM e chuva medida em pluviômetros.	50

LISTA DE TABELAS

Nome	Conteúdo	Pag.
Tabela 1.1	Chuva estratiforme e convectiva	21
Tabela 2.1	Exemplo de dados de precipitação cedidos pela NASA/TRMM	24
Tabela 2.2	Exemplo de dados de raios cedidos pelo STARTNET	25
Tabela 4.3	Relação dos eventos extremos de descargas elétricas	27
Tabela 4.4	Relação dos eventos extremos de precipitação	27

LISTA DE EQUAÇÕES E ALGORITMOS

Nome	Conteúdo	Pag.
Algoritmo 2.1	Filtragem dos dados de raios dentro da bacia e precipitação não nula	26
Algoritmo 2.2	Contagem espacial dos raios e das descargas elétricas	27
Algoritmo 2.3	Contagem temporal dos raios e das descargas elétricas	28
Algoritmo 2.4	Discriminação da precipitação sem raios e com raios	29
Algoritmo 2.5	Detecção dos eventos extremos	31
Equação 2.1	Método dos mínimos quadrados	32
Equação 2.2	Obtenção dos coeficientes de ajuste linear	32
Equação 2.3	Equação da reta	32

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACOES

UFMS	Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
UFRGS	Universidade Federal de Rio Grande do Sul
TRMM	Tropical Rainfall Measuring Mission
IAG	Instituído de Astronomias e Geofísica
USP	Universidade de São Paulo
STARNET	Sferics Timing and Raging Network
BP	Bacia do Rio Paraguai

1. INTRODUÇÃO

1.1. BACIA DO RIO PARAGUAI

A bacia do rio Paraguai é uma das doze regiões hidrográficas do território brasileiro (Clarke et al. 2003). Possui uma área de 1,1 milhão de km², abrangendo não apenas os estados do Mato Grosso e do Mato Grosso do Sul como também outros países vizinhos do Brasil, como a Argentina, o Paraguai e a Bolívia. A vazão média conjunta da bacia é de 363.445 m³/s. A Figura 1.1 mostra um mapa da bacia do Rio Paraguai, demarcada com uma linha vermelha.

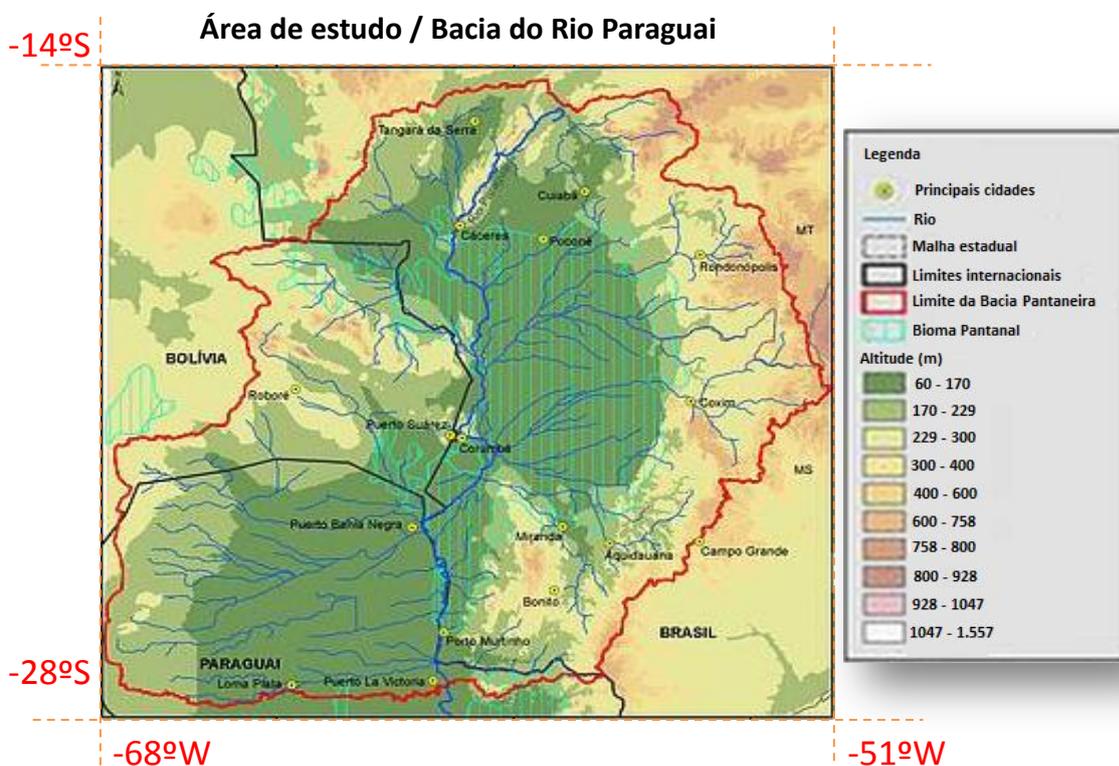


Figura 1.1 – Extensão da Bacia do Rio Paraguai

A bacia do Paraguai pode ser dividida em duas regiões distintas: o Planalto, com terras acima de 200 m de altitude, e o Pantanal, de terras com menos de 200 m de altitude e sujeitas a inundações periódicas, funcionando como um grande reservatório regularizador das vazões dos rios da bacia (Clarke et al. 2003). A precipitação média anual varia entre

aproximadamente 800 mm em algumas regiões da fronteira entre o Brasil e a Bolívia e quase 2000 mm em algumas áreas no norte da bacia.

Estas mudanças afetam significativamente os biomas existentes nesta região e condicionam os eventos de povoação, migração e reprodução de muitas espécies que vivem neste habitat. Da mesma forma estes eventos afetam de forma direta a população humana ali existente.

1.2. EVENTOS EXTREMOS

Ao falarmos de eventos extremos, destacamos fenômenos isolados que estão se tornando mais presentes em nosso dia a dia. Seus efeitos, tanto na natureza quanto nas grandes cidades é preocupante.

Os eventos extremos ocorrem de muitas formas, como enchentes, secas prolongadas, ondas de calor, tufões e tornados. Através dos séculos, a humanidade desenvolveu uma boa percepção da frequência dos eventos extremos e das localizações geográficas onde eles têm mais probabilidade de ocorrer. Mas isso está mudando. Como resultado das mudanças climáticas, a frequência dos eventos extremos aumentou, tanto em termos de quantidade quanto de intensidade. Isso passou a ser observado de modo mais nítido a partir da segunda metade do século 20.

Segundo Marengo (2007) no Brasil, ocorreram diversos eventos extremos nos últimos anos. Condições meteorológicas extremas também danificaram os dutos de gás que ligam o sul do Brasil à Bolívia, o que gerou consequências significativas para a população os estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

Os eventos climáticos extremos estão sendo cada vez mais estudados nos últimos anos devido a uma preocupação crescente de que eles podem se tornar cada vez mais frequentes, mais extensos ou mais intensos no seu curso natural e de mudanças climáticas antropogênicas.

Baseado nos estudos de Dotzek (2009) sobre o processo de separação de nuvens, identificadas por cargas não indutivas, existem evidências convincentes que tempestades severas iniciam-se frequentemente de tempestades convectivas e atividade de relâmpagos anômalos. Entre todos esses eventos, aqueles que produzem relâmpagos são normalmente encontrados na mesoescala: sistemas Complexos de Mesoescala Convectivo (Mesoscale

Convective Complexes - MCC), sistemas convectivos de mesoescala linear (MCS – linear mesoscale convective systems) e até tempestades individuais que por si só cobrem um espectro do tamanho da intensidade e organização interna.

Segundo Barbosa (2000), os eventos extremos de chuva são aqueles em que os totais num certo período - seja anual, sazonal, diário ou outro - apresentaram desvios de chuva muito superiores ou muito inferiores ao comportamento habitual da área, no período analisado. Podemos defini-los como sendo uma ocorrência que apresenta uma incidência rara, se distanciando da média, variando em sua magnitude.

Um estudo feito por Aranha (2008), mostra na cidade de Manaus/AM, que a climatologia desta região recebe muita energia e umidade, e do ponto de vista meteorológico essa região sofre a ação de variados fenômenos que podem ser classificados extremos.

A previsão dos eventos extremos associada a outros fenômenos pode se mostrar uma tarefa difícil. Revfeim, (1991) apresenta uma teoria plausível que trata da distribuição de parâmetros físicos significativos com dados de previsão de eventos extremos em intervalos de longa duração, mais apropriados que os métodos tradicionais. Em seu trabalho, verificou-se que a precipitação máxima realística é dominante em um curto intervalo de tempo. Os eventos intensos dão uma ordem natural para os parâmetros físicos das medidas, podendo-se classificar ou não um evento extremo comparando sua magnitude e duração com a média das amostras da região.

Collischonn (2001) dá um parâmetro claro para a classificação de eventos extremos em bacias de precipitação, quando afirma que podemos considerar extremos, eventos em que a média de precipitação atinge 100 mm diários quando a precipitação diária média fica em torno de 30mm.

1.3. PRECIPITAÇÃO CONVECTIVA E ESTRATIFORME

Albrecht, (2002) Afirma que a precipitação estratiforme existe quando o movimento vertical no interior da nuvem satisfaz a condição $|w| \ll |v_t|$, onde w é a velocidade vertical do vento e v_t é a velocidade terminal das partículas de neve (~1 – 3 ms). Nestas condições, partículas de gelo nas regiões mais altas da nuvem devem precipitar, pois não podem ser sustentadas ou carregadas para cima pelos movimentos

verticais, enquanto crescem. Todo processo estratiforme está relacionada com processos de formação de gelo

Segundo Biazeto (2007) os sistemas convectivos são responsáveis pela maior parte da precipitação nos trópicos e em várias localidades de latitudes médias durante a estação quente.. Em seu estudo, Biazeto também afirma que a precipitação associada às nuvens estratiformes possui caráter leve e contínuo.

Quanto à distribuição espacial, as nuvens estratiformes normalmente se apresentam como estruturas de grandes extensões horizontais, e de duração prolongada. Por outro lado, a precipitação convectiva possui caráter forte e de curta duração. Outra característica marcante dos sistemas convectivos é o fato de serem dispostos e células ou torres verticais, com cerca de 500 m a 1 km de diâmetro, e separadas em média por cerca 20 a 25 km.

Segundo Oliveira (2011), tempestades caracterizadas como “pancadas de chuva” apresentam um ciclo de vida bem típico manifestando três fases distintas. A primeira é a fase de cumulus congestus caracterizada por correntes ascendentes verticais que sustentam o desenvolvimento da nuvem. A segunda fase da célula convectiva ocorre quando as correntes ascendentes atingem a tropopausa, divergindo e espalhando-se lateralmente fazendo com que os hidrometeoros formem a bigorna da tempestade. É nesta fase de desenvolvimento que ocorre a formação da precipitação e assim a nuvem torna-se uma cumulonimbus. Como este tipo de tempestade se desenvolve num ambiente desprovido de cisalhamento vertical do vento. A precipitação ao cair sobre a corrente ascendente da célula convectiva forma uma piscina fria e uma frente de rajada em baixos níveis que corta o influxo de ar quente e úmido, levando ao terceiro estágio de desenvolvimento que é a dissipação da tempestade. Nesta fase de enfraquecimento renasce a bigorna com alguma precipitação estratiforme. A tabela 1.1 resume as diferenças nuvens de natureza estratiforme e convectiva.

	ESTRATIFORME	CONVECTIVA
Velocidade do vento e do gelo	$ w \ll v_t $	$ w < v_t ; w \geq v_t $
Intensidade	Media ou baixa	Forte
Duração	Longo	Curto
Extensão	Grandes extensões	Células ou torres com 500m a 1km de diâmetro, separadas em média por 20 a 25km
Abrangência	Horizontal	Vertical
Evolução	Lenta	Rápida
Contribuição	Menor parte	Maior parte

Tabela 1.1 – Chuva estratiforme e convectiva

1.4. DESCARGAS ELÉTRICAS

Segundo MacGorman (1998) não existe ainda uma teoria definitiva sobre uma descarga pois esse é um processo bastante complexo (MacGorman, 1998, p. 93). As correntes elétricas produzidas por ocasião das tempestades, fluem para fora da nuvem seja para a ionosfera ou para o solo, o que implica em escalas de dezenas e até centenas de quilômetros. Por um lado, espacialmente, a estrutura dinâmica alterando os hidrometeoros existe numa escala de quilômetros enquanto o diâmetro do canal está confinado a uma escala centímetros ($\leq 1\text{m}$).

Por outro lado, em termos de escalas temporais, o tempo de vida de uma tempestade está na faixa de uma hora enquanto as escalas temporais associadas com a ruptura da rigidez dielétrica são menores que microssegundo (Hager et al. 1989).

Sabe-se, contudo que raios são processos de transferências de cargas durante a formação ou movimentação das nuvens, e estas descargas podem ocorrer de nuvem para nuvem, de nuvem para atmosfera ou da nuvem para o solo.

Livingston e Krider (1978), afirmam que raios são movimentações de cargas elétricas obtidas durante a movimentação das nuvens, e associaram à magnitude das variações do campo elétrico as taxas de descarga durante a tempestade. Concluem que no

início há baixa taxa de descarga associadas a pequenas e médias variações do campo elétrico, no meio, alta taxa de descargas e médias a altas taxas de descargas.

2. METODOLOGIA

O desenvolvimento deste trabalho se deu por meio da realização de dez tarefas não sequenciais descritas na Figura 2.1, onde se encontra um fluxograma com as tarefas realizadas em etapa.

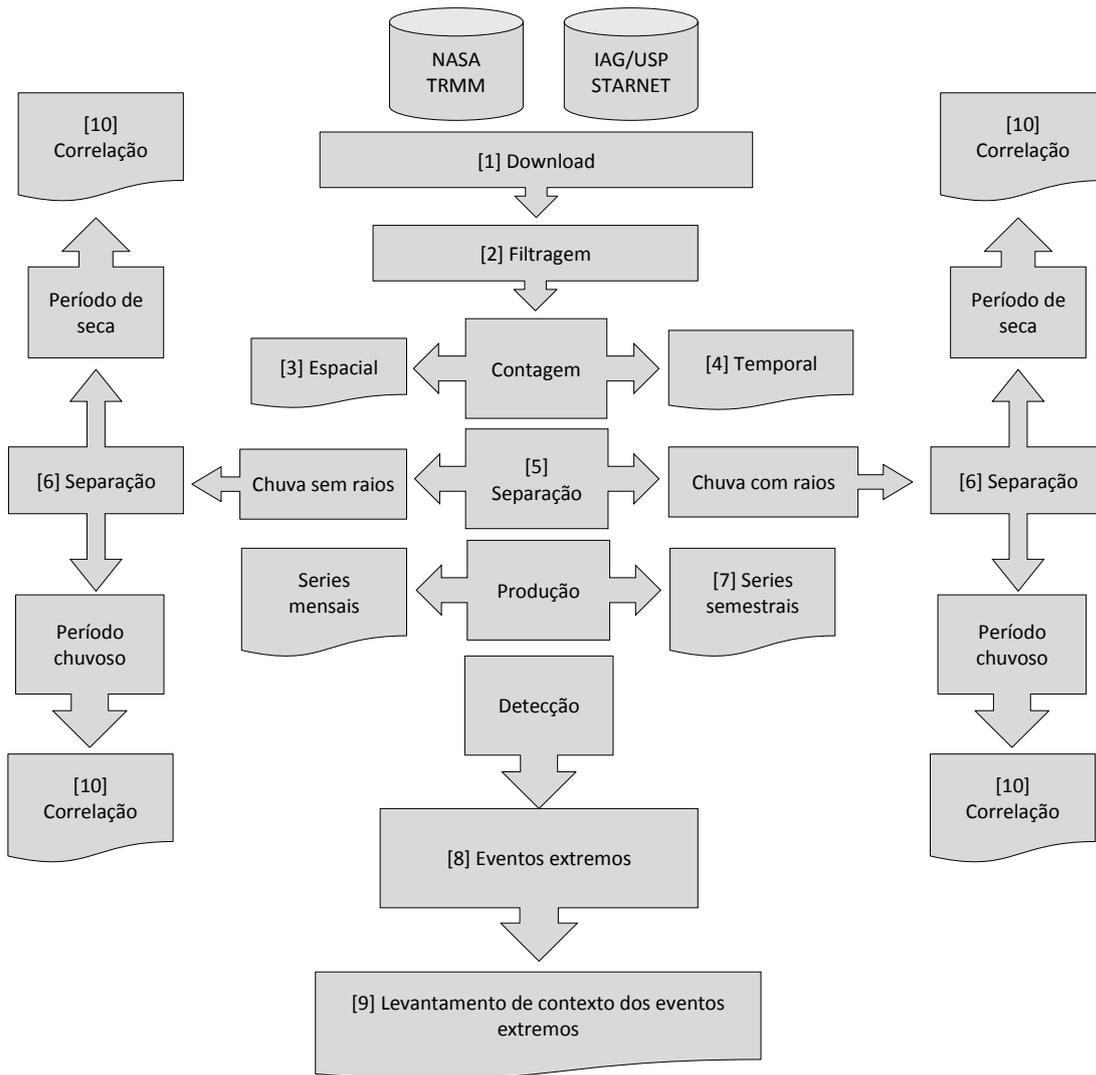


Figura 2.1 - Procedimentos desenvolvidos para a realização da pesquisa

2.1. OBTENÇÃO DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO ESTIMADA

Nesta primeira etapa da pesquisa foi feita a obtenção dos dados de chuva provenientes da NASA/TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*).

O satélite TRMM é um projeto em parceria entre a NASA e a Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial (JAXA), e foi lançado em 27 de novembro de 1997 com o objetivo específico de monitorar e estudar a precipitação nos trópicos, além de verificar como a mesma influencia o clima global (Kummerow et al. 2000).

O satélite possui órbita oblíqua não-heliossíncrona bastante baixa (inicialmente 350km, desde 2001 cerca de 403km), de forma que o período de translação é bastante curto (91 minutos), permitindo resoluções espacial e temporal comparativamente altas. Os instrumentos a bordo do TRMM são: imageador de microondas (TMI), radar de precipitação (PR), radiômetro no visível e no infravermelho (VIRS), sensor de energia radiante da superfície terrestre e das nuvens (CERES), e sensor para imageamento de relâmpagos (LIS). Para refinar as estimativas, existe um programa paralelo de validação em campo (Ground Validation ou GV), contando com radares meteorológicos em diversas estações ao longo da faixa intertropical.

A grande vantagem deste produto em especial é sua alta resolução temporal, de 3 horas, e espacial, de 0.25° , na faixa entre 50°S e 50°N . Por outro lado, a desvantagem é a complexidade do algoritmo e o número de dados necessários para gerar o produto, de forma que os dados não são distribuídos de forma imediata. Mesmo assim, atualmente as estimativas de um mês qualquer são disponibilizadas até o dia 15 do mês seguinte, prazo que pode ser considerado relativamente curto.

Os dados do sensor TRMM são disponibilizados através do link (<http://disc2.nascom.nasa.gov/Giovanni/tovas/>). A janela de estudo sobre a referida bacia corresponde a área compreendida entre as Latitudes 14°S e 28°S e Longitudes 51°W e 68°W , e o período de estudo se inicia em setembro de 2007 até julho de 2010. A Tabela 2.1 mostra parte de um arquivo obtido pelo TRMM apresentando a chuva acumulada (AccRain) por quadrícula de $0.25^\circ \times 0.25^\circ$.

Tabela 2.1 – Exemplo de dados de precipitação cedidos pela NASA/TRMM

PARTE DO ARQUIVO: AR_2007_9_1_0.DAT

Selected parameter: 3-hourly TRMM 3B42(V6) Accumulated Rainfall
 Selected area: lat=[28S,14S], lon=[68W,51W]
 Selected time period: (01Z01Sep2007-01Z01Sep2007)
 Undefined/Missing Value: -9999
 Unit: (mm)

Latitude	Longitude	AccRain
-28.000	-68.000	0.0000
-28.000	-67.750	0.0000
-28.000	-67.500	0.0000
-28.000	-67.250	0.0000
-28.000	-67.000	0.0000
-28.000	-66.750	0.0000
-28.000	-66.500	0.0000
-28.000	-66.250	0.0313

2.2. OBTENÇÃO DOS DADOS DE DESCARGAS ELÉTRICAS

Também foram baixados, nesta etapa da pesquisa os dados de descargas elétricas que foram obtidos pela rede STARNET/IAG/USP (Sferics Timing and Raging Network).

A rede STARNET é uma rede mundial de telemetria para detecção de ondas eletromagnéticas características produzidas durante a ocorrência de descargas elétricas. A rede é mantida pelo Departamento de Ciências Atmosféricas do Instituto de Astronomia e Geofísica da Universidade de São Paulo (DCA-IAG-USP).

Sensores instalados em diferentes partes do globo terrestre pertencentes a rede registram a chegada, e intensidade do sinal produzido por uma descarga elétrica. Com esta informação o sistema determina por cálculos de triangulação a posição em que a descarga elétrica ocorreu e também a magnitude dos parâmetros como corrente elétrica e polaridade.

Os dados da rede STARNET podem ser adquiridos através do link (<http://www.zeus.iag.usp.br/>). São oferecidos dados diários de descargas elétricas no

mundo todo. Na Tabela 2.2 se encontra um exemplo de arquivo cedido pelo STARNET, onde, nas colunas de dados se encontram: ANO, MÊS, DIA, HORA(GMT), MIN, SEG, LATITUDE, LONGITUDE, respectivamente separados por espaço. Os demais valores são parâmetros associados à descarga e à precisão de aquisição dos dados e não serão usados nesse trabalho. É importante ressaltar que todas as horas mostradas nas figuras do trabalho também são GMT, conforme os dados fornecidos.

Tabela 2.2 – Exemplo de dados de raios cedidos pelo STARNET

PARTE DO ARQUIVO: 2008-02-21_1313.DAT																												
2008	2	21	12	59	58	363963	-4.38480	157.41177	4917	58.6	2	5	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1
2008	2	21	13	0	4	751720	31.47495	-68.06075	35809	2.2	0	4	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1
2008	2	21	13	0	11	868651	-22.71039	-61.82716	4956	4.5	0	4	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1
2008	2	21	13	0	12	266031	-22.70582	-61.83058	4986	5.0	0	4	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1
2008	2	21	13	0	12	332041	-22.68930	-61.81115	4915	3.8	0	4	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1
2008	2	21	13	0	13	103648	-20.99466	179.93985	13568	22.9	1	4	6	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1
2008	2	21	13	0	16	237997	-21.88902	-179.32469	4444	6.1	0	5	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1

Parte deste trabalho foi desenvolvida manualmente durante meses de trabalho, a outra parte foi desempenhada automaticamente por um algoritmo escrito somente para baixar automaticamente os dados das suas respectivas fontes.

2.3. FILTRAGEM DOS DADOS

Como os dados referentes a descargas elétricas são disponibilizados em arquivos mensais ou anuais de dados que contêm a descrição das descargas elétricas incidentes sobre toda a superfície do planeta, foi necessário aplicar um filtro de dados prévio, a fim de separar pelos limites da bacia somente os raios que incidiram sobre a bacia. Para este fim foi desenvolvido um algoritmo cuja única finalidade era filtrar e agrupar somente as descargas elétricas ocorridas dentro da bacia durante o intervalo de estudo. Isto é entre as

latitudes 14° S e 28° S e entre também as longitudes 51° W e 68° W. Por outro lado também foi necessário filtrar os períodos com contagem de descargas maiores que zero para agilizar os próximos processos de tratamento. O procedimento matemático adotado pelo algoritmo para filtragem dos dados se encontra no algoritmo 2.1.

Algoritmo 2.1 – Filtragem dos dados de raios dentro da bacia e precipitação não nula

```

Sejam  $\phi_0, \phi_1, \theta_0, \theta_1 = -28, -14, -68, -51$ ;
Seja  $n, m = 0, 0$ ;
 $\forall k \mid 1 \leq k \leq Total_{Raios}$  {
    Seja  $DADOS_{STARNET}[k] = \begin{pmatrix} Raio\_Ano_{mundo}[k] \\ Raio\_Mes_{mundo}[k] \\ Raio\_Dia_{mundo}[k] \\ Raio\_Hora_{mundo}[k] \\ Raio\_Min_{mundo}[k] \\ Raio\_Seg_{mundo}[k] \\ Raio\_Lat_{mundo}[k] \\ Raio\_Long_{mundo}[k] \end{pmatrix}$ ;
    Se  $\phi_0 \leq Raio_{Lat_{mundo}[k]} \leq \phi_1$  e se  $\theta_0 \leq Raio_{Long_{mundo}[k]} \leq \theta_1$  {
         $n = n + 1$ ;
         $Raio_{bacia}[n] = DADOS_{STARNET}[k]$ 
         $\therefore \begin{pmatrix} Raio\_Ano_{bacia}[n] \\ Raio\_Mes_{bacia}[n] \\ Raio\_Dia_{bacia}[n] \\ Raio\_Hora_{bacia}[n] \\ Raio\_Min_{bacia}[n] \\ Raio\_Seg_{bacia}[n] \\ Raio\_Lat_{bacia}[n] \\ Raio\_Long_{bacia}[n] \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Raio\_Ano_{mundo}[k] \\ Raio\_Mes_{mundo}[k] \\ Raio\_Dia_{mundo}[k] \\ Raio\_Hora_{mundo}[k] \\ Raio\_Min_{mundo}[k] \\ Raio\_Seg_{mundo}[k] \\ Raio\_Lat_{mundo}[k] \\ Raio\_Long_{mundo}[k] \end{pmatrix}$ ;
    }
}
 $\forall k \mid 1 \leq k \leq Medidas_{precipita\c{c}ao}$  {
    Seja  $DADOS_{TRMM}[k] = \begin{pmatrix} Chuva\_Ano_{bacia}[k] \\ Chuva\_Mes_{bacia}[k] \\ Chuva\_Dia_{bacia}[k] \\ Chuva\_Hora_{bacia}[k] \\ Chuva\_Lat_{bacia}[k] \\ Chuva\_Long_{bacia}[k] \\ Chuva\_mm_{bacia}[k] \end{pmatrix}$ ;
    Se  $Chuva_{mm_{bacia}[k]} > 0$  {
         $m = m + 1$ ;
         $Chuva_{bacia}[m] = DADOS_{TRMM}[k]$ ;
         $\therefore \begin{pmatrix} Chuva\_Ano_{bacia}[m] \\ Chuva\_Mes_{bacia}[m] \\ Chuva\_Dia_{bacia}[m] \\ Chuva\_Hora_{bacia}[m] \\ Chuva\_Lat_{bacia}[m] \\ Chuva\_Long_{bacia}[m] \\ Chuva\_mm_{bacia}[m] \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Chuva\_Ano_{bacia}[k] \\ Chuva\_Mes_{bacia}[k] \\ Chuva\_Dia_{bacia}[k] \\ Chuva\_Hora_{bacia}[k] \\ Chuva\_Lat_{bacia}[k] \\ Chuva\_Long_{bacia}[k] \\ Chuva\_mm_{bacia}[k] \end{pmatrix}$ ;
    }
}
}

```

2.4. CONTAGEM ESPACIAL

Em seguida foi feita a contagem espacial da chuva, para cada quadrado compreendido entre as coordenadas: ϕ_i , ϕ_f , θ_i e θ_f de latitude (inicial e final) e longitude (inicial e final) que delimitam a Bacia do Rio Paraguai, e cada quadrado medindo $0,25^\circ$, o que resultou em uma divisão da área total da bacia em 3808 partes menores, sendo 56 divisões na vertical e 68 divisões na horizontal. O Algoritmo 2.2 descreve o procedimento matemático utilizado pelo algoritmo para realizar a contagem em função da posição.

Algoritmo 2.2 – Contagem espacial dos raios e das descargas elétricas

```
Sejam  $\phi_0, \phi_1, \theta_0, \theta_1 = -28, -14, -68, -51$ ;  
Sejam  $d_x, d_y = 0.25, 0.25$ ;  
Sejam  $q_x, q_y = \frac{\Delta\theta}{d_x}, \frac{\Delta\phi}{d_y}$ ;  
 $\forall k \mid 1 \leq k \leq n$  {  
     $i = \frac{\text{Raio\_Long}_{\text{bacia}}[k] + q_x}{d_x}$ ;  
     $j = \frac{\text{Raio\_Lat}_{\text{bacia}}[k] + q_y}{d_y}$ ;  
     $\text{Raios}_{\text{superficie}}[i, j] = \text{Raios}_{\text{superficie}}[i, j] + 1$ ;  
}  
 $\forall k \mid 1 \leq k \leq m$  : {  
     $i = \frac{\text{Chuva\_Long}_{\text{bacia}}[k] + q_x}{d_x}$ ;  
     $j = \frac{\text{Chuva\_Lat}_{\text{bacia}}[k] + q_y}{d_y}$ ;  
     $\text{Chuva}_{\text{superficie}}[i, j] = \text{Chuva}_{\text{superficie}}[i, j] + \text{Chuva\_mm}_{\text{bacia}}[k]$  ;  
}
```

2.5. CONTAGEM TEMPORAL

Nesta etapa do processo foi feita a soma das descargas elétricas em função da hora do dia, de forma que para cada mês, e semestre do período de estudo fosse determinado quantos raios ocorreram na bacia em cada hora do dia. Este processo foi feito na escala de horas, minutos e posteriormente também segundos. O Algoritmo 2.3 descreve o procedimento matemático utilizado para realizar esta tarefa.

Algoritmo 2.3 – Contagem temporal dos raios e das descargas elétricas

```

∀ k | 1 ≤ k ≤ n {
    i =  $\frac{\text{Raio\_Long}_{\text{bacia}}[k]+q_x}{d_x}$ ;
    j =  $\frac{\text{Raio\_Lat}_{\text{bacia}}[k]+q_y}{d_y}$ ;
    ano = Raio_Anobacia[k];
    mes = Raio_Mesbacia[k];
    dia = Raio_Diabacia[k];
    hora = Raio_Diabacia[k];
    t = hora + dia × 24 + mes × 31 × 24 + ano × 12 × 31 × 24;
    Raiostempo[i, j, t] = Raiostempo[i, j, t] + 1;
}
∀ k | 1 ≤ k ≤ m {
    i =  $\frac{\text{Chuva\_Long}_{\text{bacia}}[k]+q_x}{d_x}$ ;
    j =  $\frac{\text{Chuva\_Lat}_{\text{bacia}}[k]+q_y}{d_y}$ ;
    ano = Chuva_Anobacia[k];
    mes = Chuva_Mesbacia[k];
    dia = Chuva_Diabacia[k];
    hora = Chuva_Diabacia[k];
    t = hora + dia × 24 + mes × 31 × 24 + ano × 12 × 31 × 24;
    Chuvatempo[i, j, t] = Chuvatempo[i, j, t] + Chuva_mmbacia[k];
}

```

2.6. SEPARAÇÃO DA CHUVA COM RAIOS E CHUVA SEM RAIOS.

Nesta etapa da pesquisa, foi realizada a separação da chuva onde foram detectadas descargas elétricas e da chuva onde não foram detectadas descargas. O critério para classificação foi verificar se no período e posição de cada medida de precipitação também foram registradas descargas elétricas atmosféricas. Se sim, então a precipitação foi classificada em chuva com descargas elétricas, se não em chuva sem descargas elétricas. Esta separação foi feita para que a correlação entre chuva e descargas elétricas se tornasse possível. O procedimento aplicado se encontra descrito no algoritmo 2.4.

Algoritmo 2.4 – Discriminação da precipitação sem raios e com raios

```
Sejam ano0, mes0, dia0, hora0 = 2007,9,1,0;

Sejam ano1, mes1, dia1, hora1 = 2010,7,1,0;

t0 = hora0 + dia0 × 24 + mes0 × 31 × 24 + ano0 × 12 × 31 × 24;

t1 = hora1 + dia1 × 24 + mes1 × 31 × 24 + ano1 × 12 × 31 × 24;

∀ i | 0 ≤ i ≤ qy { ∀ j | 0 ≤ j ≤ qy { ∀ t | t0 ≤ t ≤ t1 {

    Se Chuvatempo[i, j, t] > 0 {

        Chuvatotal[i, j] = Chuvatotal[i, j] + Chuvatempo[i, j, t];

        Se Raiostempo[i, j, t] > 0 {

            ChuvaCR[i, j] = ChuvaCR[i, j] + Chuvatempo[i, j, t];

        }

        Se não {

            ChuvaSR[i, j] = ChuvaSR[i, j] + Chuvatempo[i, j, t];

        }

    }

}
```

2.7. SEPARAÇÃO DOS PERÍODOS DE SECA E CHUVA

Sendo que o período de seca da bacia ocorre entre março a agosto, quando a precipitação é baixa e a formação de nuvens não se assemelha ao período de setembro a fevereiro do ano seguinte, quando ocorre intensa precipitação e o comportamento climático da bacia, os dados originados no processo anterior foram separados mensalmente, e também semestralmente para caracterizar os períodos de seca e chuva separadamente. Esses resultados são apresentados na seção 4.4 deste trabalho.

2.8. PRODUÇÃO DAS SERIES DE IMAGENS.

Em seguida todos os dados numéricos produzidos pelos processos anteriores foram transformados em gráficos de superfície, de linha ou de barras. Estes gráficos descrevem de forma geral a concentração da precipitação e também das descargas elétricas na área de estudo. Estes resultados são apresentados nas sessões 4 e 5 deste trabalho.

2.9. DETECÇÃO DOS EVENTOS EXTREMOS

O método utilizado para detecção dos eventos extremos neste trabalho foi baseado no trabalho de Collischonn (2001). Segundo esse autor, podemos considerar extremos, os períodos em que a média de precipitação atinge 100 mm diários e quando a precipitação diária média fica em torno de 30 mm. O Algoritmo 2.5 descreve o procedimento utilizado para busca dos eventos extremos.

Clarke (2003) também mostrou em seu trabalho, em uma simulação do regime hidrológico da Bacia do Rio Paraguai, que bacias como estas, apresentam em torno 30 mm de precipitação diária. Com base nestes resultados obtemos um parâmetro para classificação dos eventos extremos neste trabalho.

Algoritmo 2.5 – Detecção dos eventos extremos

```

Sejam ano0, mes0, dia0, hora0 = 2007,9,1,0;
Sejam ano1, mes1, dia1, hora1 = 2010,7,1,0;
nextremo = critério;
t0 = hora0 + dia0 × 24 + mes0 × 31 × 24 + ano0 × 12 × 31 × 24;
t1 = hora1 + dia1 × 24 + mes1 × 31 × 24 + ano1 × 12 × 31 × 24;
Médiaraios =  $\frac{\sum_{i=0}^{68} \sum_{j=0}^{56} \sum_{t=t_0}^{t_1} Raios_{tempo}[i,j,t]}{n}$ ; Médiachuva =  $\frac{\sum_{i=0}^{68} \sum_{j=0}^{56} \sum_{t=t_0}^{t_1} Chuva_{tempo}[i,j,t]}{m}$ ;
Sejam ne, me = 0,0;
∀ i | 0 ≤ i ≤ qy / ∀ i | 0 ≤ j ≤ qx / ∀ t | t0 ≤ t ≤ t1 /
    Se Raiostempo[i, j, t] > Médiaraios × nextremo {
        ne = ne + 1; Extremoraios[ne] = ∴  $\begin{pmatrix} i \times d_y - q_y \\ j \times d_x - q_x \\ t \\ Raios_{tempo}[i, j, t] \end{pmatrix}$ ;
    }
    Se Chuvatempo[i, j, t] > Médiachuva × nextremo {
        me = me + 1; Extremoraios[me] = ∴  $\begin{pmatrix} i \times d_y - q_y \\ j \times d_x - q_x \\ t \\ Chuva_{tempo}[i, j, t] \end{pmatrix}$ ;
    }
} } } }

```

2.10. LEVANTAMENTO DO CONTEXTO DOS EVENTOS EXTREMOS

Para exemplificar, foram separadas as imagens mostrando a evolução e o contexto em que os quatro maiores eventos extremos de precipitação e descargas elétricas ocorreram. Isto permitiu uma visão mais abrangente sobre onde e como ocorrem estes eventos. A plataforma XPlot desenvolvida para esse trabalho e descrita na seção 3, fornece a evolução das imagens de precipitação juntamente com as imagens de descargas elétricas. Esses resultados são apresentados na seção 4 deste trabalho.

2.11. CORRELAÇÃO ENTRE PRECIPITAÇÃO E DESCARGAS ELÉTRICAS

Foram feitas correlações entre as medidas de precipitação e as contagens de descargas elétricas. O que resultou em duas equações que correlacionam precipitação e descargas elétricas, uma no período de chuva e outra no período de seca.

O método utilizado para correlação linear foi o de mínimos quadrados, onde o ajuste da reta é feito a fim de minimizar o valor de desvio em todos os pares (x,y). A quantidade de raios e precipitação foram dispostos respectivamente nos eixos x e y, e então, pelas equações descritas em 2.1 foram determinados os coeficientes: α : (intercepto), valor esperado para a variável dependente y_i quando x_i é igual a zero, e β : (coeficiente angular). A equação 2.2 descreve o calculo do desvio quadrático mínimo.

$$\hat{\alpha} = \bar{y} - \hat{\beta}\bar{x} \quad e \quad \hat{\beta} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - n\bar{x}\bar{y}}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - n\bar{x}^2} \quad (2.1)$$

$$SQ(\alpha, \beta) = \sum (y_i - \alpha - \beta x_i)^2 \quad (2.2)$$

Ao fim temos para quantidade de descargas elétricas atmosféricas impostos em x, um valor de precipitação em y, em uma relação linear conforme a equação 2.3:

$$\hat{y}_i = \hat{\alpha} + \hat{\beta}x_i \quad (2.3)$$

3. A PLATAFORMA XPLOT

3.1. O DESENVOLVIMENTO

A plataforma XPlot foi idealizada e concebida como ferramenta de pesquisa a ser disponibilizada a todos os pesquisadores que necessitassem de dados da BP. Esperava-se que a princípio fosse capaz de fornecer facilmente informações importantes como a distribuição superficial da precipitação em forma de gráficos, bem como a distribuição espacial das descargas elétricas. Pouco depois da sua primeira implementação, notou-se que seria possível fazer algo mais robusto, possibilitando, por exemplo, que se obtivesse e integrasse automaticamente dados provenientes da NASA/TRMM (precipitação) e IAG/USP (descargas elétricas atmosféricas).

Esta plataforma na sua versão final, possui a função de plotagem das somatórias para cada ponto da área estudada da precipitação acumulada, precipitação preponderantemente convectiva, precipitação preponderantemente estratiforme e incidência de descargas elétricas, o que permite verificar padrões de distribuição para cada tipo de evento em cada período de chuva ou seca. Os itens a seguir descrevem a plataforma XPlot, bem como suas funcionalidades.

3.2. INTERFACE

Uma das primeiras funções inseridas na Plataforma XPlot foi um navegador que baixa automaticamente os dados de precipitação e opcionalmente, caso o usuário tenha autorização de acesso aos sites respectivos, as descargas elétricas. Esta interface, que agora acompanha a plataforma como uma de suas funções desempenha um importante papel ao liberar o pesquisador do trabalho de preencher repetidamente formulários variando a data e hora nos sites onde são obtidos os dados climatológicos.

Para fazer o download automatizado de dados do TRMM/NASA e STARNET, basta que o pesquisador forneça o período e as coordenadas do quadrante desejado, clique em Download. Então o download de todos os dados do período se dará automaticamente. Na Figura 3.1, vemos três telas características do software.

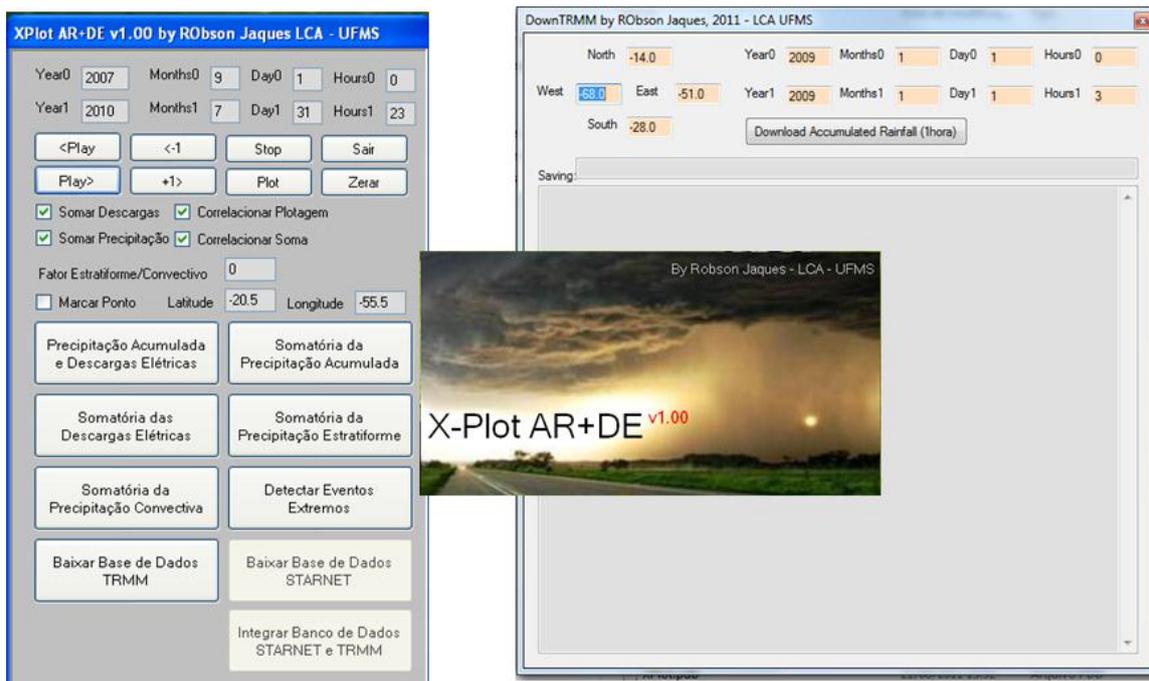


Figura 3.1 – Interface e download automatizado

3.3. PLOTAGEM

Desenvolveu-se uma interface de plotagem simples, permitindo que o pesquisador tenha acesso a informação desejada com poucos cliques.

Foram inseridos na interface principal botões que permitem ao usuário escolher o período desejado, e abrir o gráfico que contenha as informações que deseja. Além disso, cada gráfico dispõe de um pequeno botão para exportação dos dados numéricos correspondentes ao gráfico, isto permite a fácil exportação dos valores para outros tipos de análises.

Entre os tipos de gráficos possíveis de se gerar estão: distribuição espacial da precipitação acumulada; distribuição espacial da precipitação; distribuição espacial das descargas elétricas; distribuição temporal da precipitação; distribuição temporal das descargas elétricas e pontos de ocorrência de eventos extremos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS DESCARGAS ELÉTRICAS

As imagens obtidas de imagens pela plataforma permitiram o mapeamento detalhado da quantidade de raios detectados no período de estudo. As série de Figuras (4.1 a 4.5) descrevem os padrões predominantes em todo o período.

De fevereiro a novembro de 2008 (Figuras 4.1) temos poucos raios acumulados. Para os meses seguintes, dezembro 2008 a outubro de 2009 (Figuras 4.2) temos uma grande quantidade de descargas que permitem inferir um padrão espacial.

Vemos nessas figuras uma tendência aos raios a cárem sobre as regiões mais a leste da bacia, mais moderadamente sobre a Cordilheira dos Andes, principalmente nos meses próximos a Dezembro, onde a quantidade de descargas também é maior, deixando uma região mais vazia ao centro da bacia, onde se localiza o Alto da Bacia do Rio Paraguai.

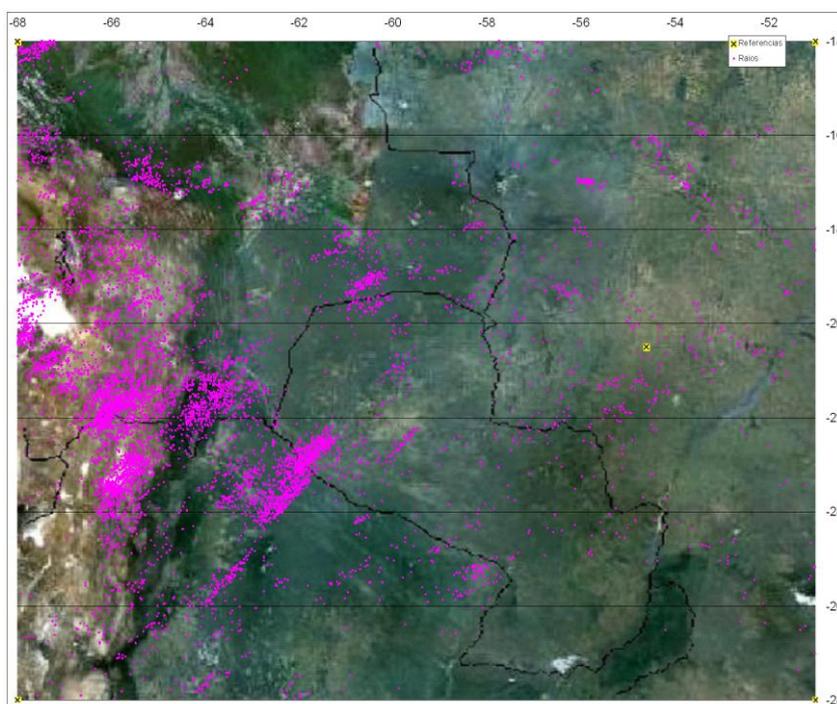


Figura 4.1 - Fevereiro de 2008: 10155 raios

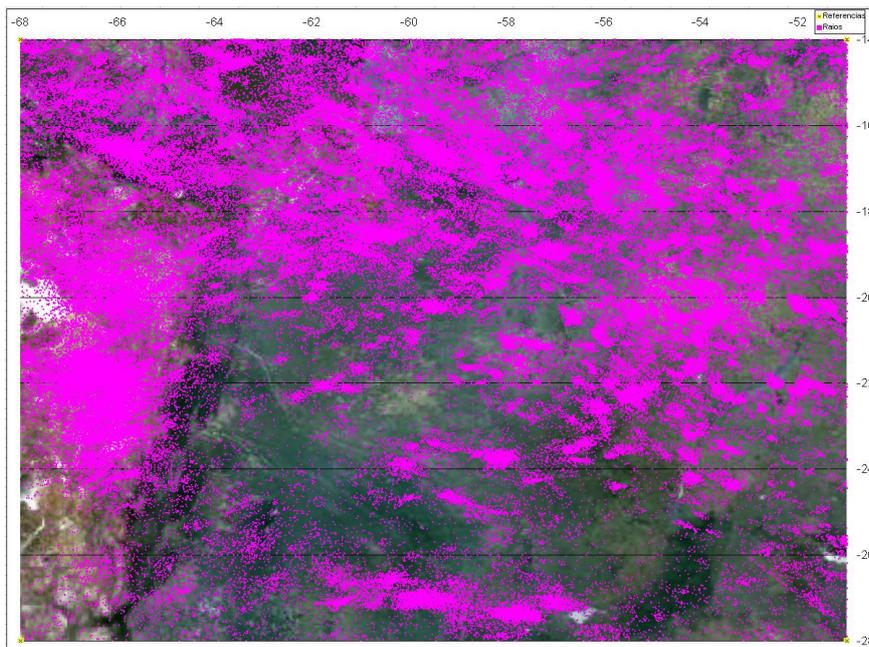


Figura 4.2 - Dezembro de 2008 – 836228 raios

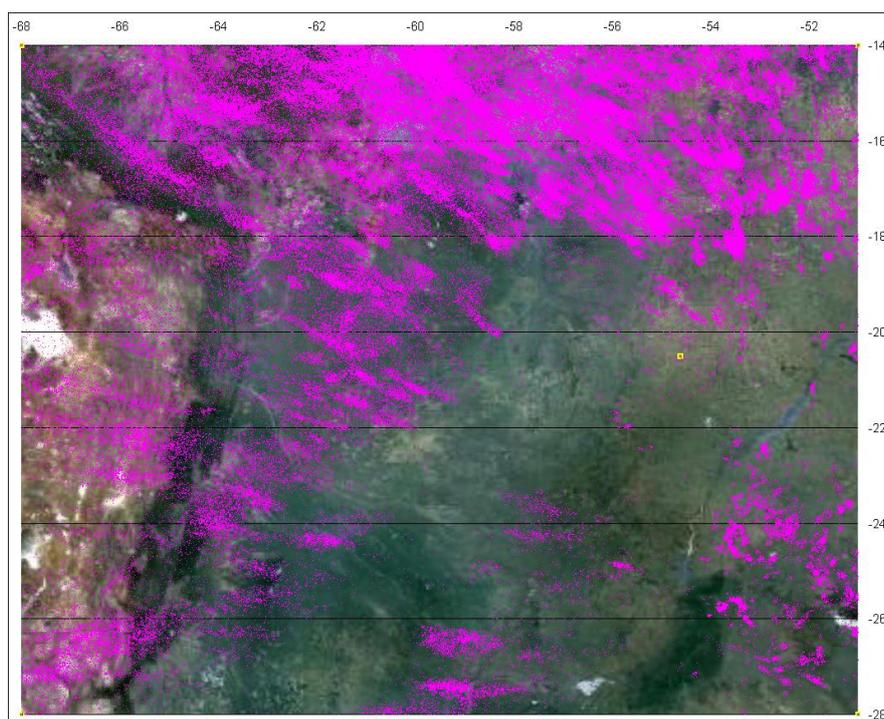


Figura 4.3 - Abril de 2009 – 475949 raios

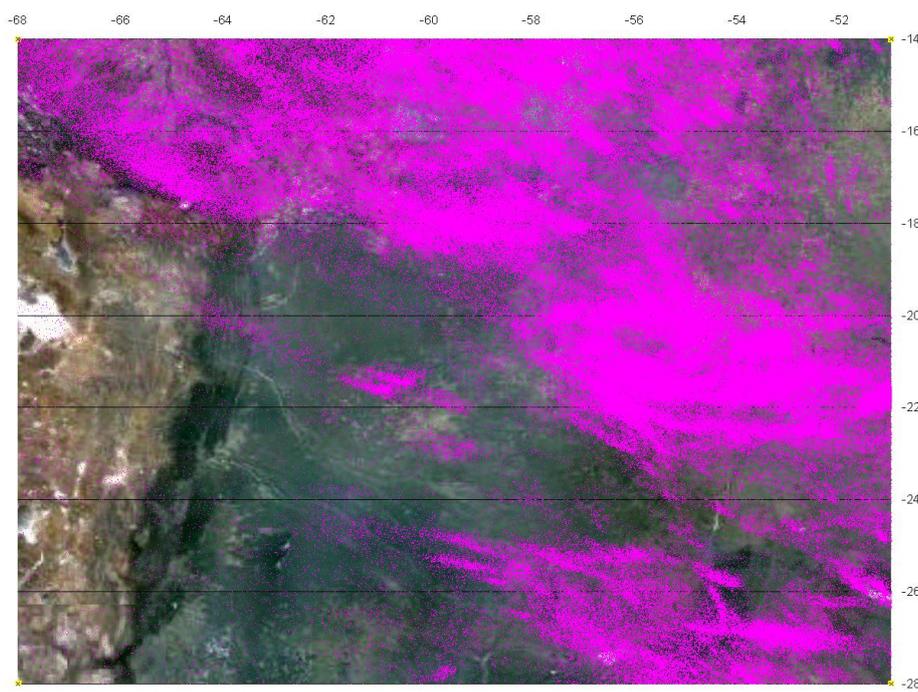


Figura 4.4 - Agosto de 2009 – 945021 raios

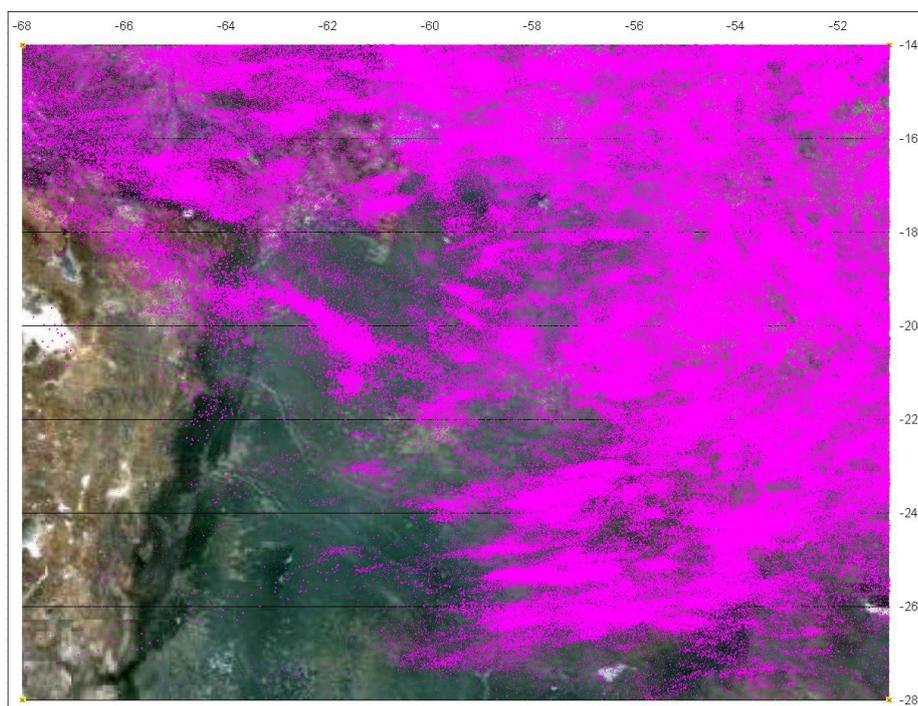


Figura 4.5 - Outubro de 2009 – 1303146 raios

4.2. CONTAGEM ESPACIAL

Imediatamente viu-se a necessidade de determinar a quantidade de raios para cada ponto da bacia, e foi integrada ao algoritmo a função para produzir gráficos de superfície contendo a quantidade de descargas para cada ponto da bacia no período de estudo. A figura 4.6 mostra as isolinhas de descargas. Onde as cores, descritas na escala a direita da figura indicam a quantidade de descargas elétricas em cada ponto da bacia durante todo o período de estudo.

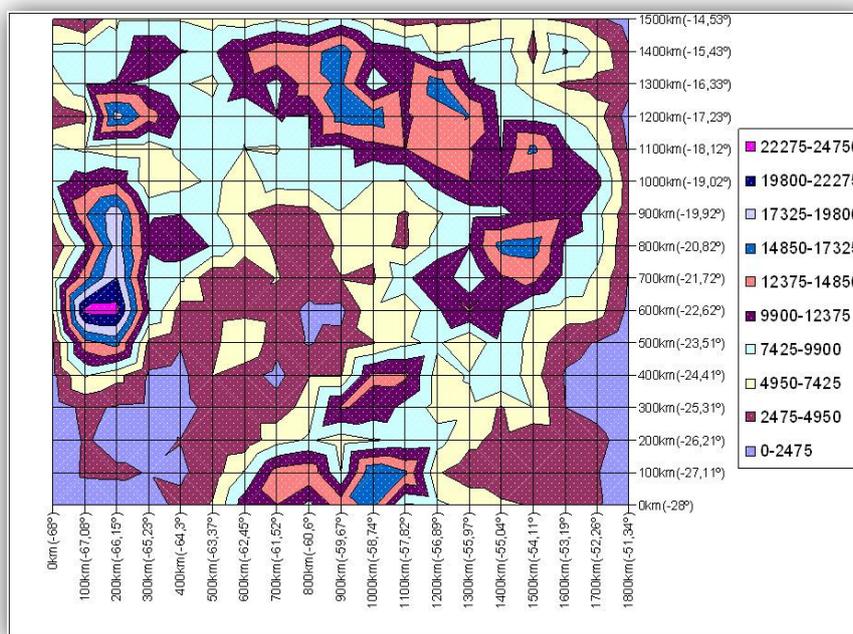


Figura 4.6 – Distribuição espacial das descargas elétricas

As figuras 4.7 4.8 mostram respectivamente o padrão de distribuição da precipitação e descargas elétricas. Nelas também vemos que a precipitação acumulada se concentra principalmente a leste da bacia, e que as descargas elétricas se concentram nas “bordas” da bacia do Rio Paraguai, em locais como as Cordilheiras dos Andes e o Planalto Central. Este resultado de certa forma, corrobora os resultados de Soares et al. (2008), trabalhando numa área menor (sobre o Mato Grosso do Sul), num intervalo de tempo menor, conforme mostra a figura 4.9, que detectou que as maiores taxas de descargas ocorrem ao redor das áreas mais baixas da bacia pantaneira do pantanal sulmatogrossense.

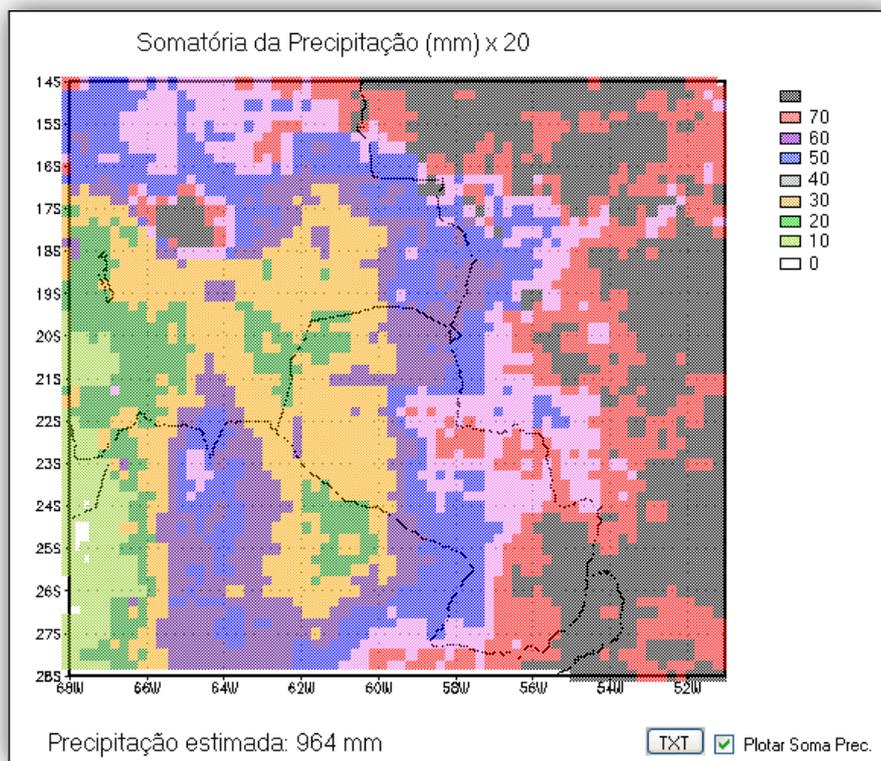


Figura 4.7 - Precipitação acumulada sobre a Bacia do Rio Paraguai

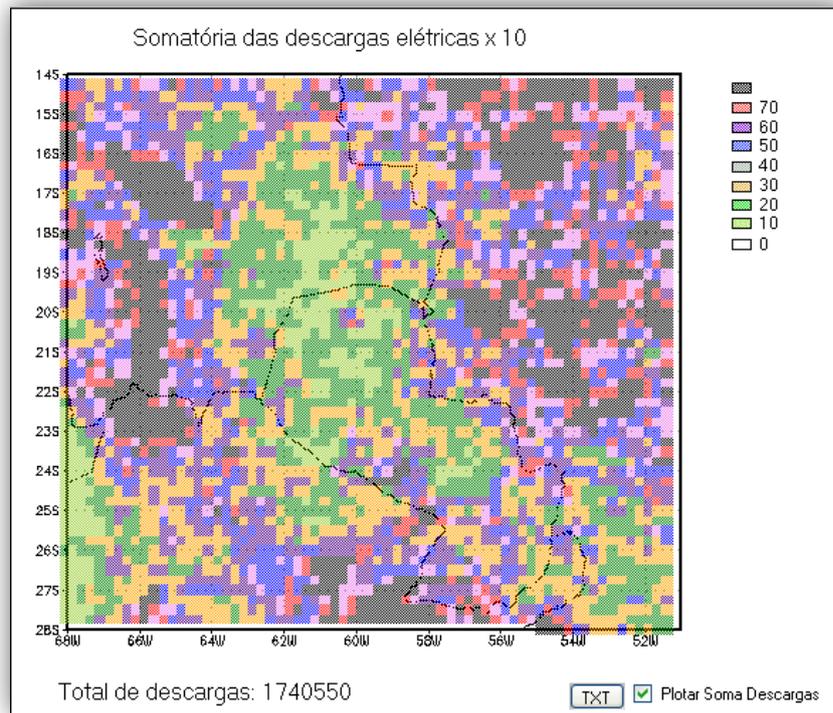


Figura 4.8 - Descargas elétricas sobre a bacia sobre Bacia do Rio Paraguai

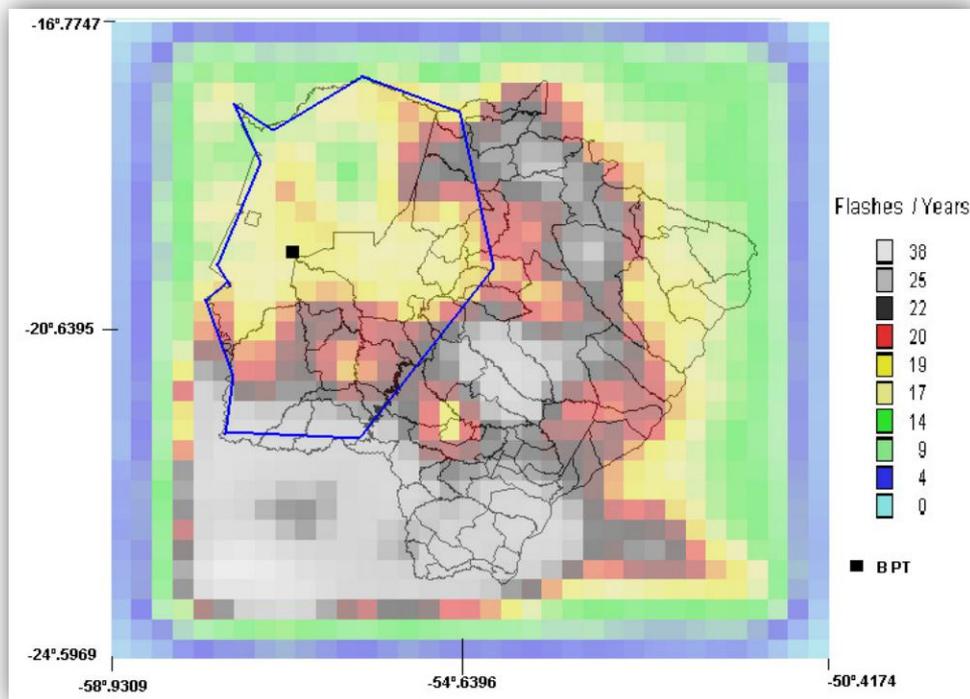


Figura 4.9 - Soares e Fernandes (2008), raios sobre a região do Pantanal Sulmatogrossense.

4.3. CONTAGEM TEMPORAL

Também foram feitas as contagens, em função do tempo, da precipitação e das descargas elétricas. Esta informação possibilitou a caracterização do comportamento das chuvas ao longo dos anos e ver claramente que este comportamento se altera com as estações (figura 4.10) e também longo do dia (figura 4.11). Na figura 4.11, podemos ver que a maior concentração de descargas elétricas ocorre em torno das 20h, havendo uma outra concentração menor, por volta das 12h.

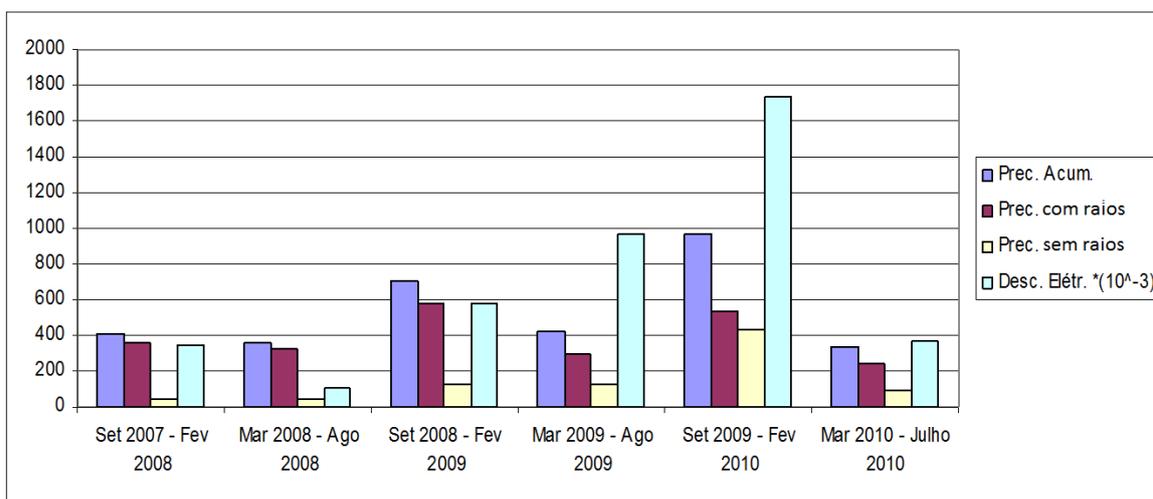


Figura 4.10 – Valores de precipitação acumulada por períodos de seca e chuva.

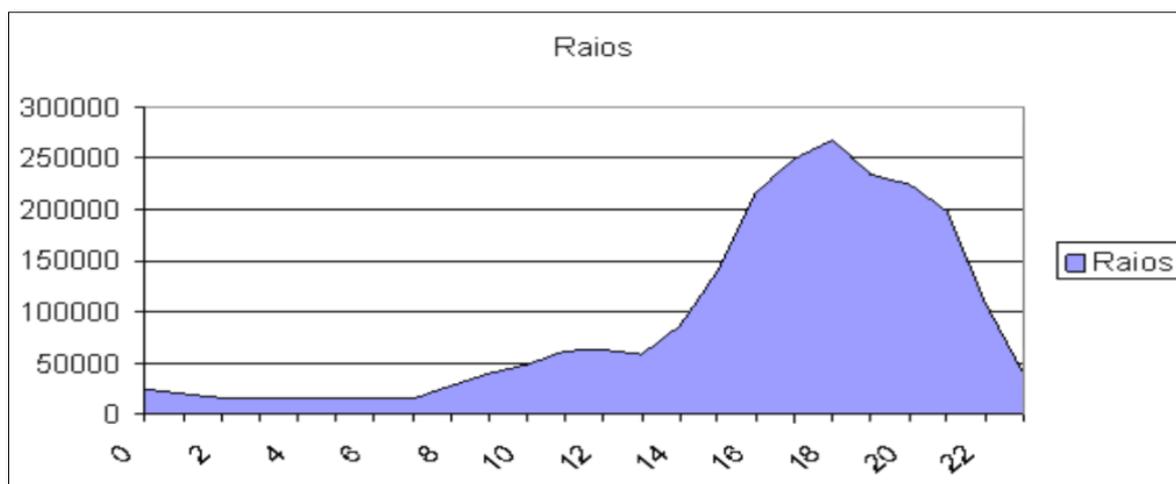


Figura 4.11 – Raios em função do hora do dia

O resultado descrito na figura 4.11 concorda totalmente o fato de que as descargas elétricas estão intimamente ligadas com a intensidade do campo elétrico, este efeito foi observado pela primeira vez pela tripulação do navio Carnegie (1920) que mediu o campo elétrico da terra em diversos pontos do globo em função da hora do dia. A figura 4.12 mostra a curva do campo elétrico em função da hora obtida para as Américas.

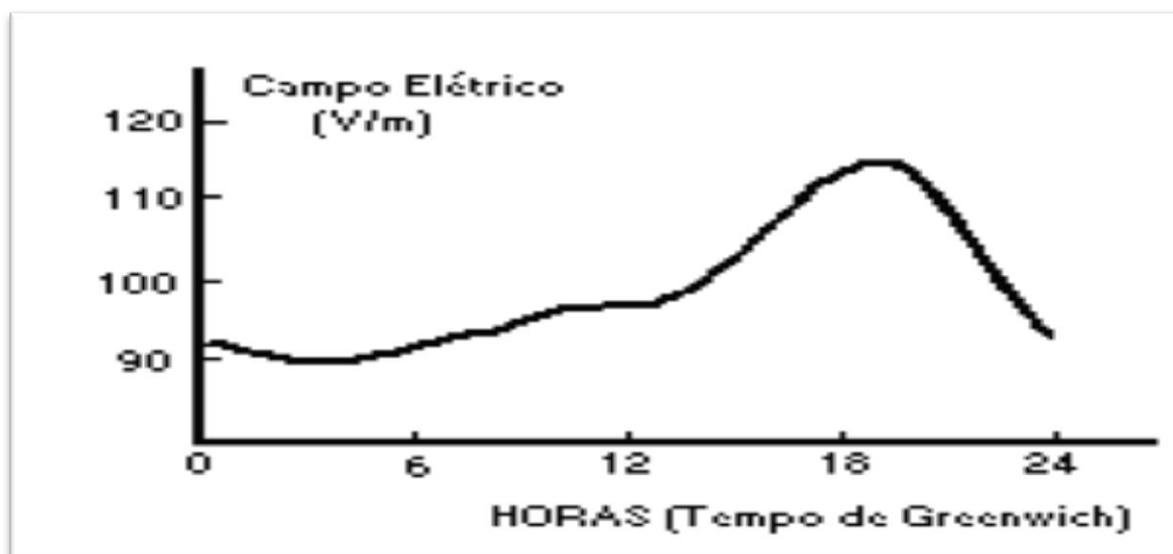


Figura 4.12 – Curva de Carnegie para América do Sul.

4.5. DETECÇÃO DOS EVENTOS EXTREMOS

A quantidade total de medidas não nulas processadas neste estudo se aproxima de 30 milhões. Estas medidas foram analisadas conforme o método proposto por Collischonn, e já descrito na seção 2 deste trabalho.

Cada um dos pontos de eventos extremos detectados foi analisado separadamente em todo o seu contexto espacial e temporal, obtendo-se a imagem da tempestade que o originou e o histórico de medidas do ponto. Segue-se nas Tabelas 4.1 e 4.2 a listagem dos quatro eventos mais significativos ocorridos nos período de estudo.

Tabela 4.5 - Relação dos eventos extremos de descargas elétricas

Extremos / Descargas Eléctricas				
HORAS	DD/MM/AA	Lat.(°)	Long.(°)	Desc. Eléctricas
15h-18h	11/5/2009	-24,5	-57,75	1294
18h-21h	25/5/2009	-24,25	-51,25	1604
15h-18h	14/10/2009	-14,5	-51,5	1470
6h-9h	22/2/2010	-24,25	-59,25	1416

Tabela 4.6 - Relação dos eventos extremos de precipitação

Extremos / Precipitação				
HORAS	DD/MM/AA	Lat.(°)	Long.(°)	Prec. (mm)
9h-12h	9/2/2010	-19	-57,75	220
6h-9h	11/2/2010	-20,5	-51,25	186
21-0h	29/3/2010	-25,5	-51,5	201
21-0h	29/3/2010	-25,5	-59,25	202

As figuras 4.13 mostra a localização dos eventos listados nas tabelas 4.1 e 4.2. As figuras 4.14 e 4.15 descrevem os dois eventos mais intensos das tabelas no contexto em que ocorreram durante a tempestade que os originou. O Símbolo “x” na cor vermelha representa a precipitação e a cruz azul representa descargas elétricas.

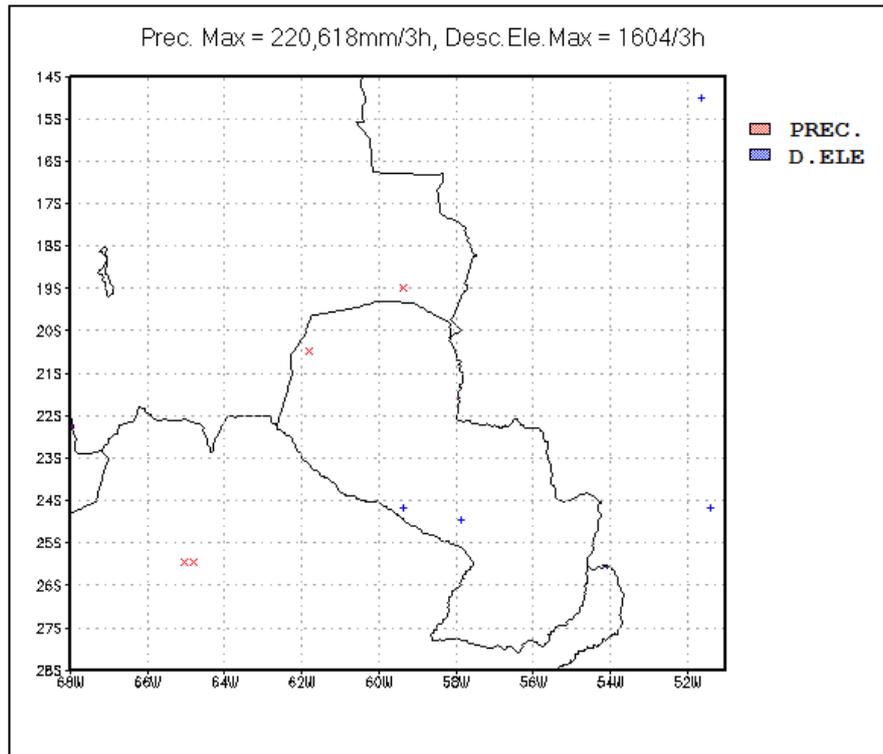


Figura 4.13 - Localização dos eventos extremos mais significativos na Bacia do Rio Paraguai

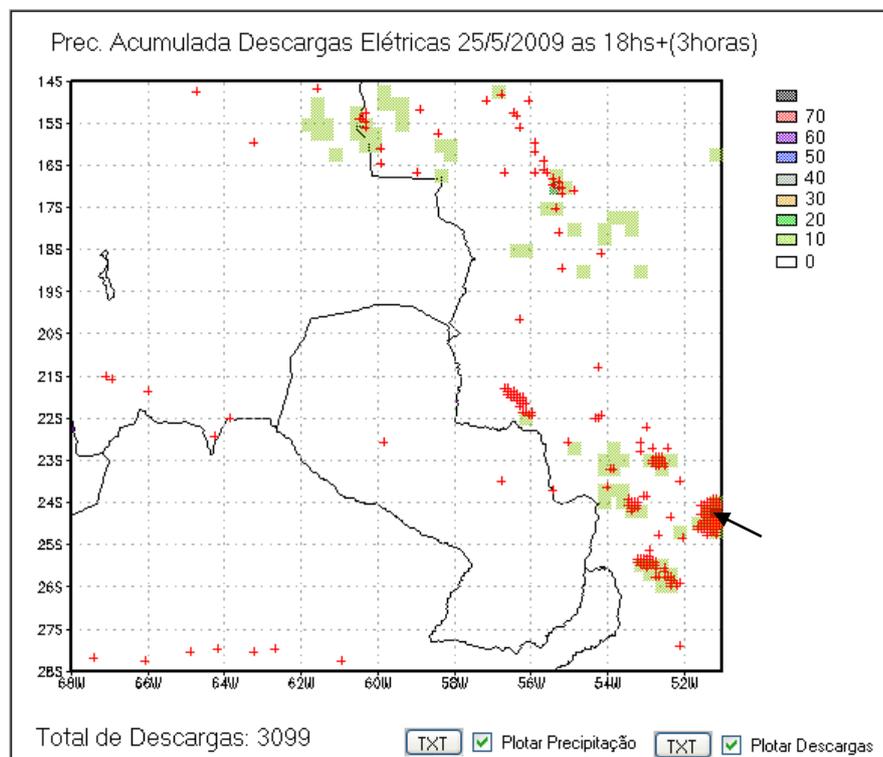


Figura 4.14 - Evento extremo ocorrido em 25/05/2009, 18hs - 21hs, 1604 descargas elétricas

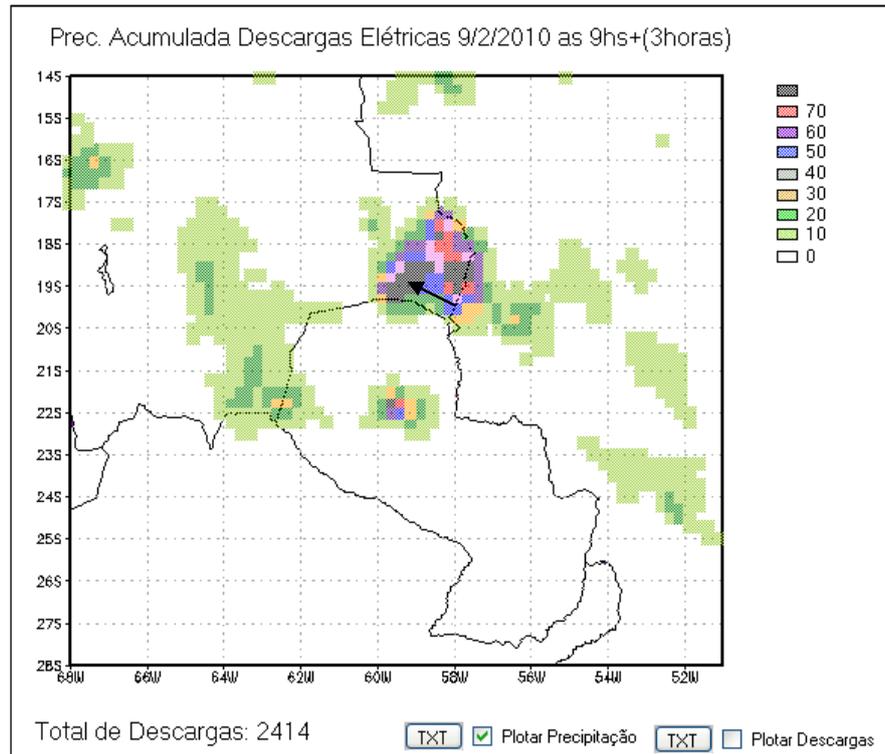


Figura 4.15 - Evento extremo ocorrido em 09/02/2010 9hs - 12hs, 220 mm de precipitação

A Figura 4.16 mostra uma série mais extensa de eventos extremos ocorridos durante o período de estudo. Os dados referentes a estes eventos se encontram na seção 7 deste trabalho nas tabelas 7.1 e 7.2.

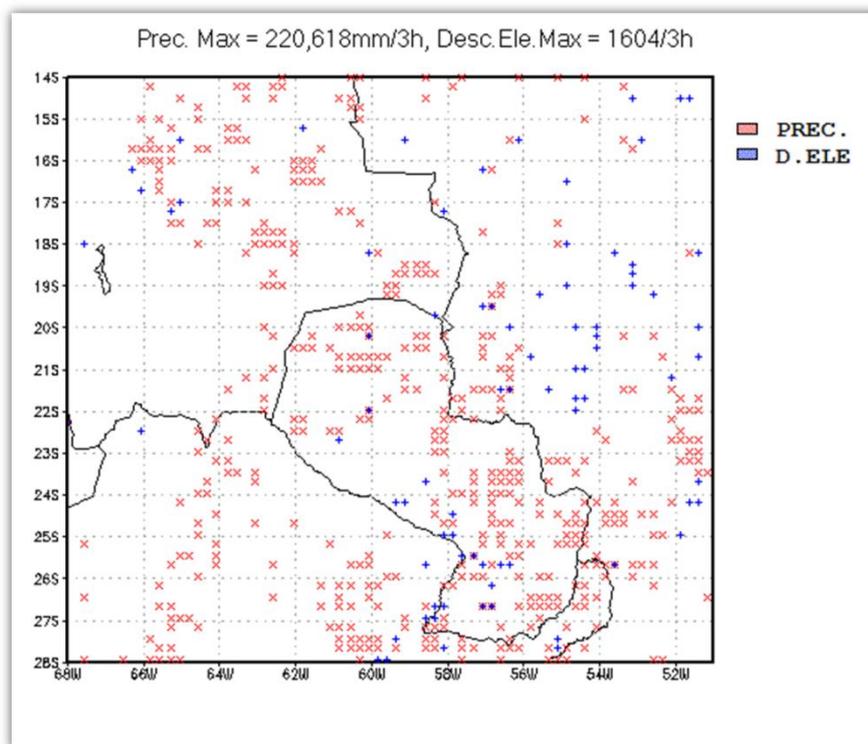


Figura 4.16 – Mapeamento dos eventos extremos na Bacia do Rio Paraguai

Neste trabalho, não foram detectados eventos extremos em amostras sequenciais de três horas, portanto ocorreram em curtos intervalos de duração, menores que três horas. Este resultado é confirmado também pelo trabalho de Revfeim (1991), o qual mostra que extremos de precipitações em uma amostra ocorreram em curtos intervalos de tempos.

4.6. CORRELAÇÕES ENTRE PRECIPITAÇÃO E DESCARGAS ELÉTRICAS

Uma vez discriminada a parcela de precipitação em que existiu a ocorrência de descargas elétricas, conforme mostram as figuras 4.17 e 4.18, para o período de seca e chuva respectivamente, foi possível também realizar uma correlação linear entre estes dois parâmetros. Os dados utilizados para produzir as figuras 4.17 e 4.18 são encontrados nas tabelas 7.3 e 7.4 nos apêndices deste trabalho.

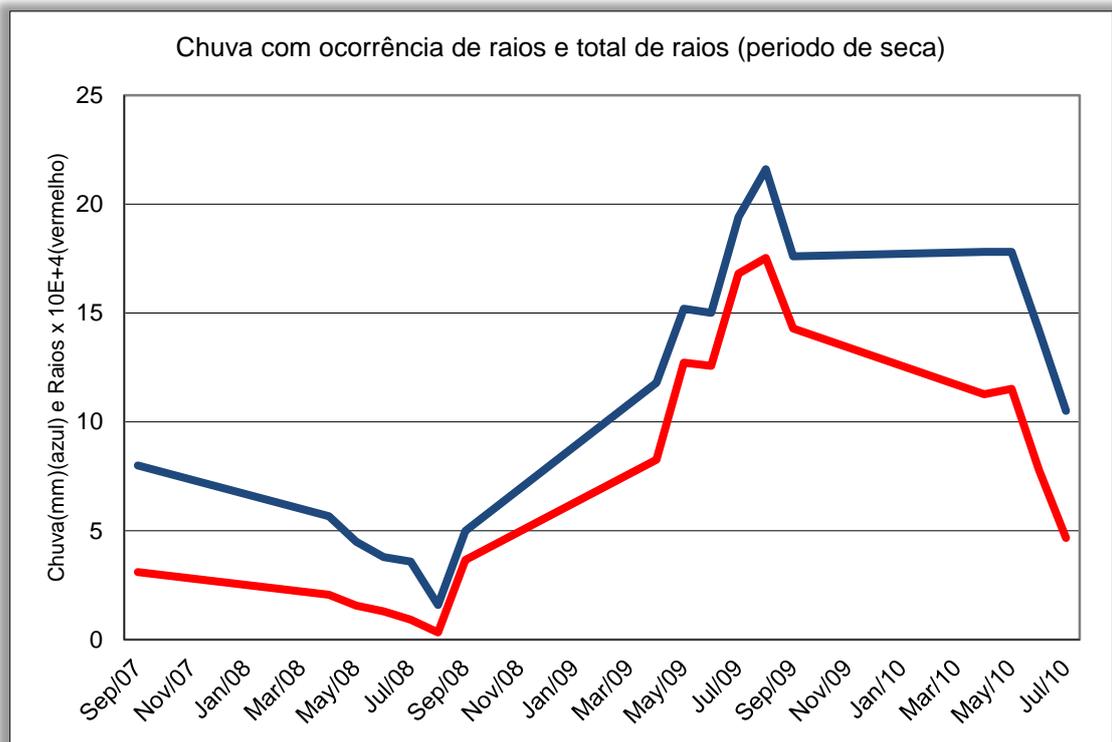


Figura 4.17 - Chuva com existência de raios (azul), e total de raios (vermelho), no período de seca

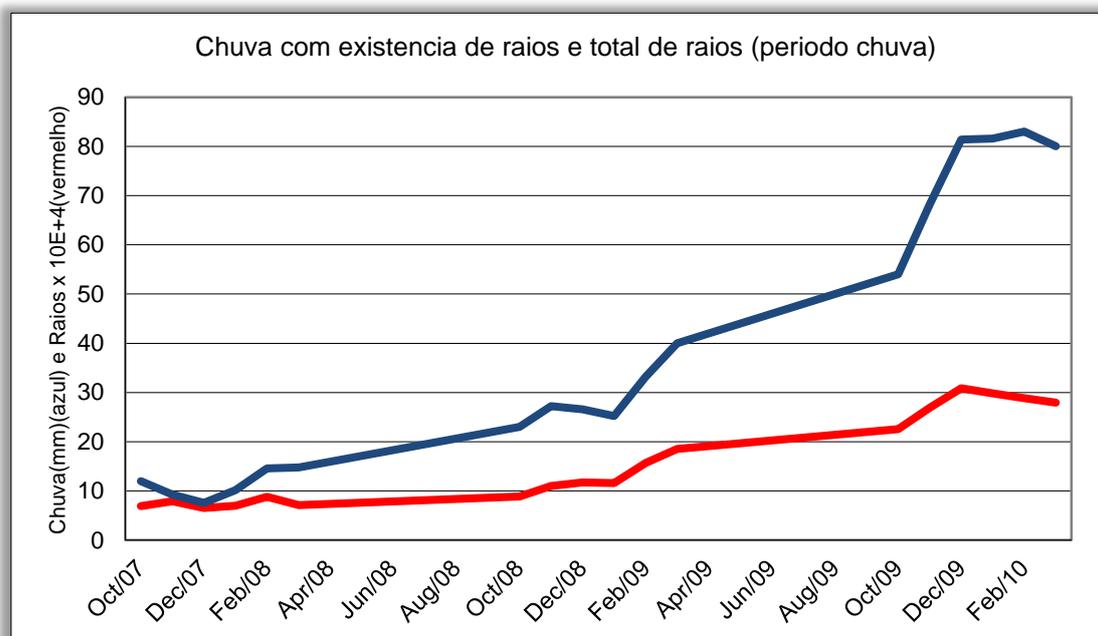


Figura 4.18 - Chuva com existência de raios (azul), e total de raios (vermelho), no período de chuva

As somas mensais da precipitação estimada, dos eventos em que ocorreram descargas elétricas, foram colocadas em diagramas de dispersão contra as respectivas quantidades de descargas elétricas. Esses diagramas são mostrados nas figuras 4.19 e 4.20. A correlação obtida neste trabalho entre chuva estimada e raios, chega a 98,8%. Já na figura 4.21 temos a razão da quantidade total de chuva dividida pela chuva com ocorrência de descargas elétricas para cada mês, nos permitindo assim a estimativa da quantidade de chuva estimada pelo TRMM total em função das descargas elétricas.

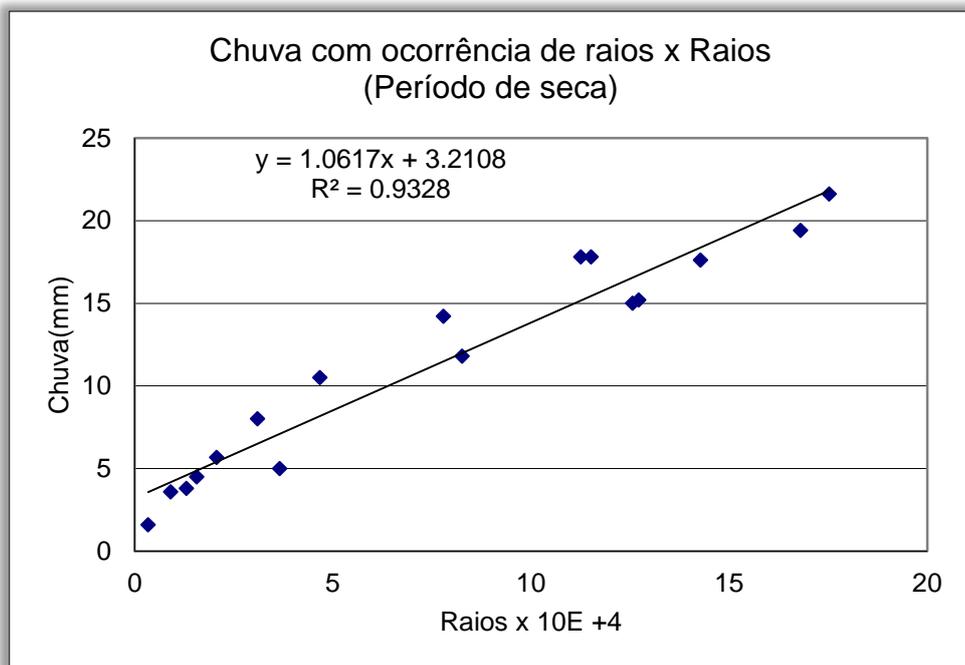


Figura 4.19 – Diagrama de dispersão entre chuva com existência de raios e total de raios (para o período de seca)

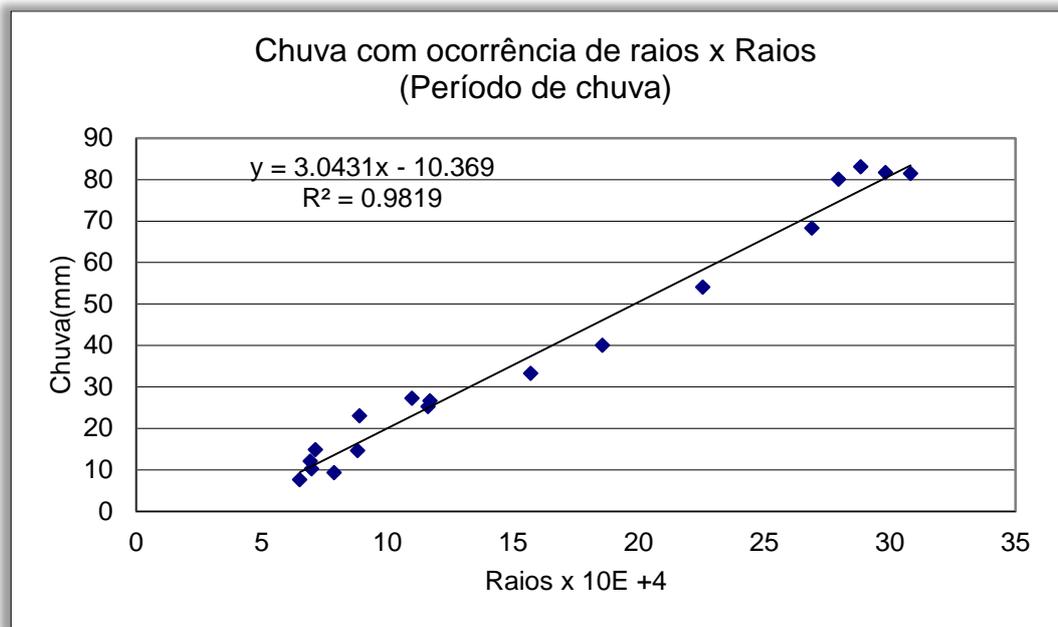


Figura 4.20 – Diagrama de dispersão entre chuva com existência de raios e total de raios (para o período de chuva)

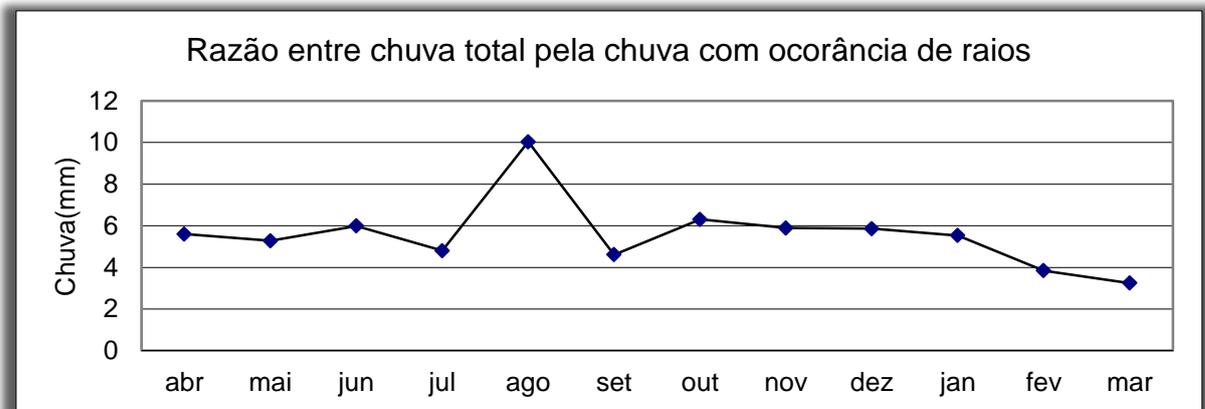


Figura 4.21 – Chuva total dividida pela chuva com descargas elétricas em cada mês

Em outro trabalho, realizado por Padovani (2010) na região, esse autor mostra a estimativa entre a precipitação estimada pelo TRMM e a chuva medida em pluviômetros, conforme mostra a figura 4.22. Associando os resultados obtidos por Padovani, com os resultados apresentados nas figuras de 4.19 a 4.22 podemos estabelecer uma estimativa entre a quantidade de chuva medida e a quantidade de descargas elétricas.

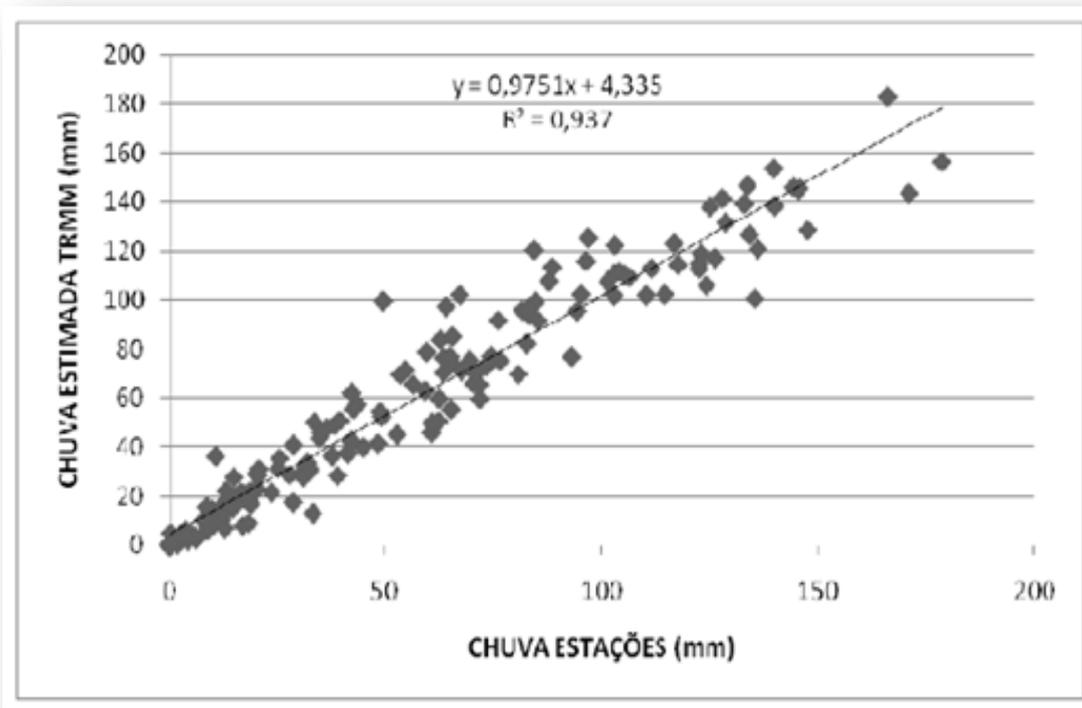


Figura 4.22 – Padovani (2001), Diagrama de dispersão entre chuva estimada pelo TRMM e chuva medida em pluviômetros.

5. CONCLUSÕES

Verificamos que existem horários em que preponderantemente ocorrem maior incidência de descargas elétricas, notamos que estes horários são: próximo das 20h e próximo das 12 horas GMT. Este resultado mostra que existe também um padrão temporal para distribuição das descargas elétricas e que elas não ocorrem com a mesma frequência durante todo o dia.

Verificamos que a precipitação acumulada se concentra principalmente nos extremos, norte e sul da BP, sendo que as descargas elétricas se concentram nos extremos, norte e oeste da BP, principalmente sobre as Cordilheiras dos Andes.

Observou-se que os eventos extremos de precipitação e também de incidência de descargas elétricas não ocorrem em uma região específica da bacia e que toda a Bacia é vulnerável a estes eventos. Não foram detectados eventos extremos em duas medidas consecutivas (de intervalos de tempo de 3 horas) portanto esses eventos ocorreram em intervalos de duração de no máximo três horas. Analogamente, mostrou-se que o Alto da Bacia do Rio Paraguai, localizado mais ao centro da bacia, não é atingido nem por altos índices de descargas elétricas nem por altos índices de precipitação.

A plataforma XPlot se mostrou eficiente no desenvolvimento de várias pesquisas para Bacia do Rio Paraguai. Isso mostra que sua aplicação no estudo dos eventos extremos, distribuição espacial e temporal da precipitação, e também das descargas elétricas produz informações importantes para a compreensão desses fenômenos.

Através de sua utilização, foram ainda encontradas ótimas correlações obtidas entre a precipitação e a quantidade de descargas elétricas: $y=1.0617x + 3.2108$, com $R^2 = 0.9328$ para o período de seca, e $y = 3.0431x - 10.369$, com $R^2 = 0.9819$, para o período de chuva. Este resultado possibilita a determinação da precipitação partindo da contagem de descargas elétricas, ou a determinação das descargas partindo de medidas de chuva.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[ALBRECHT, 2002] - ALBRECHT, Rachel I; DIAS, Maria A. F. da S. **Características microfísicas de precipitação convectiva e estratiforme associadas à oscilação de larga-escala no sudoeste da Amazônia.** p. 03, USP – Universidade de São Paulo, 2002.

[ARANHA, 2008] - ARANHA, André Ferreira; VEIGA, José Augusto Paixão; BRITO, Adriane Lima. **Simulação de um Caso de Evento Extremo de Chuva na Cidade de Manaus-Am com o Modelo Wrf: O Caso 30 de Março de 2008.** Universidade do Estado do Amazonas/Escola Superior de Tecnologia (UEA/EST), Manaus/AM, 2008.

[BARBOSA, 2000] - BARBOSA, João Paulo Macieira. **Estudo Sobre a Evolução dos Eventos Extremos de Precipitação no Setor Paulista da Serra do Mar. LECLIG/UNICAMP. Instituto de Geociências, Campinas-SP. joaopmb@sanepar.com.br.** Orientando da Profª Drª Luci Hidalgo Nunes. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos.

[BIAZETO, 2007] - BIAZETO, Bruno. **Impacto da Precipitação no Ciclo de Assimilação em Modelos de Mesoescala.** USP - Universidade de São Paulo, Dissertação de Mestrado, 2007.

[CARNEGIE, 1920] – Medidas do campo elétrico em todo o globo feitas pela tripulação do navio Carnegie, 1920.

[CLARKE, 2003] - CLARKE, R. T.; TUCCI C. E. M. COLLISCHONN W.. **Variabilidade Temporal no Regime Hidrológico da Bacia do Rio Paraguai.** RBRH – Vol. 8 n1 Jan/Mar 2003, 201-211.

[COLLISCHONN, 2001] – COLLISCHONN, Walter. Teses: **SIMULAÇÃO DE GRANDES BACIAS.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, 2001

[DOTZEK, 2009] - DOTZEK, Nikolai; PRINCE, Colin. **Lightning characteristics of extreme weather events**. DLR – Institut für Physik der Atmosphäre, Oberpfaffenhofen, 82234 Wessling Germany, 2009.

[HAGER, 1989] - Hager, W. H., Nisbet, J. S., Kasha, J. R., **The Evolution and Discharge of Electric Fields within a Thunderstorm**, *Journal of Computational Physics*, 82, 193-217, 1989.

[KRIDER, 1978] - Livingston, M. J., Krider, E. P., **Electric Fields Produced by Florida Thunderstorms**, *Journal of Geophysical Research*, Vol 83, n. C1, jan 1978.

[KUMMEROW, 2000] - KUMMEROW, C.; SIMPSON, J.; THIELE, O.; BARNES, W.; CHANG, A. T. C.; STOCKER, E.; ADLER, R. F.; HOU, A.; KAKAR, R.; WENTZ, F.; ASHCROFT, P.; KOZU, T. HONG, Y.; OKAMOTO, K.; IGUCHI, T.; KUROIWA, H.; IM, E.; HADDAD, Z.; HUFFMAN, G.; FERRIER, B.; OLSON, W. S.; ZIPSER, E.; SMITH, E. A.; WILHEIT, T. T.; NORTH, G. KRISHNAMURTI, T.; NAKAMURA, K. **The Status of the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) after Two Years in Orbit**. *Journal of Applied Meteorology*, vol. 39, pp. 1965-1982, 2000.

[MACGORMAN, 1998] - MacGorman, D. R.; Rust, W. D. **The electrical nature of storms**. Oxford, Oxford University, 1998.

[MANREGO, 2007] - Ambrizzi, T., Rocha, R., Marengo J, A. I. Pisnitchenko, L. Alves, Fernandez, J. P. **Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade** – Sub projeto: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI. Brasília, Fevereiro 2007.

[OLIVEIRA, 2011] - OLIVEIRA, Mauricio Ilha de; BRONDANI, Daiane de Vargas; NASCIMENTO, Ernani de Lima. **Análise das Condições Atmosféricas dos dias 04 A 09 de Janeiro de 2011 Associados a Pancadas de Chuva em Santa Maria-RS**. Universidade Federal de Santa Maria, Campus Universitário. Santa Maria (RS).

[PADOVANI, 2010] – PADOVANI, Carlos Roberto. Teses: **Dinâmica Espaço - Temporal das Inundações do Pantanal**. Escola Superior de Agricultura “Luiz Queiroz”, Centro de Energia Nuclear de Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010

[REVFEIM, 1991] - REVFEIM, K. J. A. **Dominant events in extreme rainfall records**. Wellington, New Zeland, 1991.

[SOARES, 2008] - SOARES, J. R., FERNANDES W. A., RESENDE L. M. A. LACERDA, M., ALVES SOBRINHO, T. ANCELMO E. M., **Variation in thunderstorm activity in the southen Pantanal between september 2000 and june 2002. International Conference on Grounding and Earthing, GROUND 2008, 3rd International Conference on Lighiting Physicis and Effects, Florianópolis, Brasil, 2008.**

7. APENDICES

Tabela 7.1 – Dados referentes aos eventos extremos de descargas elétricas

HORA	DATA	LAT	LONG	Raios
15	19/12/2008	-18,5	-53	579
12	31/12/2008	-20	-51,25	517
9	21/03/2009	-18,25	-51,25	703
21	25/03/2009	-20	-54	526
0	28/03/2009	-19,25	-52,5	769
18	08/04/2009	-25,75	-53,5	562
21	16/04/2009	-15,5	-56	500
15	11/05/2009	-24,5	-57,75	1294
18	11/05/2009	-25	-51,75	658
12	13/05/2009	-25,5	-57,5	865
12	13/05/2009	-25,5	-57,25	1004
15	13/05/2009	-25,75	-57	959
15	25/05/2009	-24,25	-51,5	564
18	25/05/2009	-24,25	-51,25	1604
21	29/05/2009	-21	-54,5	970
21	29/05/2009	-21	-54,25	575
0	30/05/2009	-20,25	-54	642
21	10/06/2009	-20,75	-51,25	649
18	15/09/2009	-26,75	-57	591
18	15/09/2009	-26,75	-56,75	506
15	16/09/2009	-26,25	-56,75	548
0	19/09/2009	-22	-54,5	501
0	19/09/2009	-21,75	-54,5	536
0	19/09/2009	-21,75	-54,25	498
15	02/10/2009	-18,25	-53,5	619
18	02/10/2009	-19	-53	698
18	02/10/2009	-18,75	-53	892
18	06/10/2009	-21,25	-52	693
15	14/10/2009	-14,5	-51,5	1470
18	17/10/2009	-21,5	-56,5	491
18	17/10/2009	-21,5	-56,25	517
12	18/10/2009	-21,5	-55,25	531
15	22/10/2009	-20	-56,25	693
21	29/10/2009	-15,25	-61,75	496
21	30/10/2009	-14,5	-53	608
15	12/11/2009	-25	-58	644
15	12/11/2009	-25	-57,75	542
15	16/11/2009	-18	-54,75	607
15	18/11/2009	-14,5	-51,75	805
0	21/11/2009	-17,25	-65,25	490
3	21/11/2009	-16,75	-66	561
9	21/11/2009	-16,25	-66,25	496
0	02/12/2009	-19	-54,75	484
3	07/12/2009	-19,75	-58,25	677
12	09/12/2009	-23,75	-58,5	656
15	05/01/2010	-23,75	-51,25	898
0	09/01/2010	-20,75	-55,75	576
6	09/01/2010	-27,75	-58	746
12	11/01/2010	-26,75	-58,25	865
12	11/01/2010	-26,75	-58	660
15	11/01/2010	-27	-58,5	560
15	11/01/2010	-27	-58,25	556
15	11/01/2010	-26,75	-58,25	1229
15	11/01/2010	-26,75	-58	899
12	13/01/2010	-17	-65	488
21	13/01/2010	-18	-67,5	634
15	29/01/2010	-16,25	-57	530
15	06/02/2010	-15,5	-52,75	503
15	07/02/2010	-20	-54,5	525
15	07/02/2010	-19,25	-55,5	881
18	07/02/2010	-19,5	-57	521
18	07/02/2010	-19,5	-56,75	515

18	09/02/2010	-20,25	-60	494	12	22/02/2010	-27,5	-59,25	665
18	19/02/2010	-15,5	-59	598	21	26/02/2010	-16,5	-54,75	499
0	22/02/2010	-25,75	-58,5	768	0	02/03/2010	-22,5	-66	829
3	22/02/2010	-24,25	-59,25	535	12	04/03/2010	-22	-60	499
3	22/02/2010	-24,25	-59	593	15	10/03/2010	-22,75	-60,75	512
6	22/02/2010	-24,25	-59,25	1416	15	11/03/2010	-18,25	-60	491
6	22/02/2010	-24,25	-59	612	0	12/03/2010	-16,75	-66	530
9	22/02/2010	-28	-59,75	552	12	24/03/2010	-15,5	-65	503
9	22/02/2010	-28	-59,5	1145					

Tabela 7.2 – Dados referentes aos eventos extremos de precipitação

HORA	DATA	LAT	LONG	mm					
0	24/10/2007	-16,25	-65,5	148	18	01/11/2007	-23,5	-56,5	130
3	01/11/2007	-28	-56,5	116	18	01/11/2007	-23,25	-56,25	118
3	01/11/2007	-27,75	-56,5	111	21	01/11/2007	-17	-63,75	121
3	01/11/2007	-27,75	-56	112	21	01/11/2007	-16,75	-64	117
3	01/11/2007	-27,5	-56,25	118	3	02/11/2007	-20,75	-52,25	111
3	01/11/2007	-27,25	-56,5	117	3	02/11/2007	-17	-65,25	116
6	01/11/2007	-28	-52,5	121	3	02/11/2007	-16,75	-65,5	118
6	01/11/2007	-28	-52,25	127	18	02/11/2007	-23,25	-54,25	112
6	01/11/2007	-26	-57,5	117	21	02/11/2007	-14,5	-62,5	122
6	01/11/2007	-26	-57,25	135	21	02/11/2007	-14,25	-62,5	119
6	01/11/2007	-26	-57	123	0	03/11/2007	-14,5	-62,5	122
15	01/11/2007	-26,25	-52,5	114	0	03/11/2007	-14,25	-62,5	119
15	01/11/2007	-26	-53	132	3	03/11/2007	-15	-60,25	150
15	01/11/2007	-25,75	-53	134	3	03/11/2007	-14,75	-60,5	130
15	01/11/2007	-25,75	-52,75	132	3	03/11/2007	-14,75	-60,25	128
15	01/11/2007	-25,75	-52,5	135	3	03/11/2007	-14,5	-60,75	125
15	01/11/2007	-24,5	-55	131	3	03/11/2007	-14,5	-60,5	130
15	01/11/2007	-24,5	-54,5	112	3	03/11/2007	-14,25	-62,25	130
15	01/11/2007	-23,25	-55,25	128	3	03/11/2007	-14	-62,25	117
15	01/11/2007	-23,25	-55	149	21	03/11/2007	-16,25	-56,75	128
15	01/11/2007	-23,25	-54,75	117	21	03/11/2007	-14,5	-58,5	118
18	01/11/2007	-23,5	-56,75	126	3	04/11/2007	-17	-58,25	116
					15	04/11/2007	-17	-64	155

15	04/11/2007	-17	-63,75	124	3	11/11/2007	-23,5	-51,25	134
15	04/11/2007	-16,75	-64	111	3	11/11/2007	-23,5	-51	127
0	05/11/2007	-14	-54,25	110	3	11/11/2007	-23,25	-51,75	122
21	06/11/2007	-14	-56	131	3	11/11/2007	-23,25	-51,5	130
3	07/11/2007	-15,75	-53	113	3	11/11/2007	-23,25	-51,25	142
3	07/11/2007	-15,5	-53,25	122	3	11/11/2007	-23	-51,5	122
0	09/11/2007	-25,75	-54,25	129	3	11/11/2007	-23	-51,25	126
18	09/11/2007	-23,5	-54,5	129	3	11/11/2007	-22,75	-52	118
21	09/11/2007	-23,25	-51,75	111	3	11/11/2007	-22,75	-51,75	117
3	10/11/2007	-23	-58,25	126	3	11/11/2007	-22,75	-51,5	127
3	10/11/2007	-23	-58	119	3	11/11/2007	-22,75	-51,25	113
3	10/11/2007	-22,75	-58,25	117	3	11/11/2007	-22,5	-51,75	117
3	10/11/2007	-22,75	-58	119	3	11/11/2007	-22,25	-52	112
3	10/11/2007	-22,5	-58,25	120	3	11/11/2007	-22	-56,5	126
3	10/11/2007	-22,5	-58	120	3	11/11/2007	-21,75	-56,5	117
18	10/11/2007	-23,75	-57,25	117	3	11/11/2007	-21,5	-56,25	120
18	10/11/2007	-23,5	-57,25	127	3	11/11/2007	-20,75	-59,5	127
21	10/11/2007	-21	-59,75	113	6	11/11/2007	-18	-62,75	122
21	10/11/2007	-20,75	-60,75	116	9	11/11/2007	-18,25	-63,25	115
21	10/11/2007	-20,75	-60,25	112	9	11/11/2007	-18,25	-62	153
21	10/11/2007	-20,5	-61,5	130	9	11/11/2007	-18	-63	134
21	10/11/2007	-20,5	-61	113	9	11/11/2007	-18	-62,75	135
21	10/11/2007	-20,25	-61,5	117	9	11/11/2007	-18	-62,5	162
0	11/11/2007	-24,25	-52	139					

Tabela 7.3 - Período de Chuva na BP, Setembro de 2007 a Julho de 2010

	Prec. Acum.	Desc. Elétr.	Prec. Sem Raios.	Prec. Com Raios
out/07	101	39766	91	10
nov/07	163	48814	150	13
dez/07	114	119446	101	13
jan/08	8	107402	7	1
fev/08	8	10155	8	0,99
mar/08	148	63286	125	23
out/08	108	140566	73	35
nov/08	123	35493	109	14

dez/08	139	195095	97	42
jan/09	151	114718	129	22
fev/09	161	99269	141	20
mar/09	141	136429	113	28
out/09	121	239848	67	54
nov/09	151	337596	75	76
dez/09	223	314849	131	92
jan/10	195	316645	104	91
fev/10	213	332807	119	94
mar/10	148	189677	93	55

Tabela 7.4 - Período de seca na BP, Setembro de 2007 a Julho de 2010

	Prec. Acum.	Desc. Elétr.	Prec. Sem Raios.	Prec. Com Raios
set/07	19	27215	16	3
abr/08	112	34875	99	13
mai/08	26	19	26	0,99
jun/08	23	538	23	0,99
jul/08	11	2616	11	0,99
ago/08	41	7615	39	2
set/08	37	6171	34	3
abr/09	59	166074	41	18
mai/09	74	230912	39	35
jun/09	36	225411	18	18
jul/09	57	990	57	0,99
ago/09	50	217848	25	25
set/09	73	202471	44	29
abr/10	63	68452	48	15
mai/10	71	74303	52	19
jun/10	10	12893	9	1
jul/10	42	31425	35	7