

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO  
INSTITUTO FÍSICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL**

**USO DE REDES COMPLEXAS COMO FERRAMENTA DE  
ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DE DADOS DE  
PRECIPITAÇÃO**

**GERSON KAZUYOSHI KIDA**

**PROF. DR. JOSIEL MAIMONE DE FIGUEIREDO  
ORIENTADOR**

**Cuiabá, MT  
dezembro de 2018**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO  
INSTITUTO FÍSICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL**

**USO DE REDES COMPLEXAS COMO FERRAMENTA DE  
ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DE DADOS DE  
PRECIPITAÇÃO**

**GERSON KAZUYOSHI KIDA**

*Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Física Ambiental.*

**PROF. DR. JOSIEL MAIMONE DE FIGUEIREDO  
ORIENTADOR**

**Cuiabá, MT  
dezembro de 2018**

### **Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.**

K23u Kazuyoshi Kida, Gerson.  
USO DE REDES COMPLEXAS COMO FERRAMENTA DE ANÁLISE  
ESPAÇO-TEMPORAL DE DADOS DE PRECIPITAÇÃO / Gerson Kazuyoshi Kida.  
-- 2018  
118 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientador: Josiel Maimone de Figueiredo.  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física,  
Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Cuiabá, 2018.  
Inclui bibliografia.

1. Sincronização de Eventos. 2. Eventos extremos. 3. TRMM. 4. Correlação não-linear. 5. Sincronismo. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

**Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO**  
**INSTITUTO DE FÍSICA**  
**Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental**

**FOLHA DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO: USO DE REDES COMPLEXAS COMO FERRAMENTA DE ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DE DADOS DE PRECIPITAÇÃO**

**AUTOR: GERSON KAZUYOSHI KIDA**

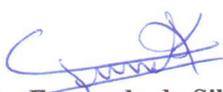
Tese de Doutorado defendida e aprovada em 05 de dezembro de 2018, pela comissão julgadora:

  
**Prof. Dr. Josiel Maimone de Figueiredo**  
**Orientador**  
Instituto de Computação – UFMT

  
**Prof. Dr. Denilton Carlos Gaio**  
**Examinador Interno**  
Instituto de Física - UFMT

  
**Prof. Dr. Raphael de Sousa Rosa Gomes**  
**Examinador Interno**  
Instituto de Computação - UFMT

  
**Profa. Dra. Juliana Saragiotto Silva**  
**Examinadora Externa**  
Instituto Federal de Mato Grosso - IFMT

  
**Prof. Dr. Fernando da Silva Sallo**  
**Examinador Externo**  
Universidade de Cuiabá - UNIC

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho a minha esposa Celia e meus filhos Gustavo e Marcos que me apoiaram neste longo desafio, com amor, incentivo e compreensão em todos os momentos.

## **AGRADECIMENTOS**

- Ao Prof. Orientador Dr. Josiel Maimone de Figueiredo, por seu envolvimento e dedicação, em todo momento, para o desenvolvimento do trabalho;
- Ao Prof. Dr. José de Souza Nogueira (Paraná), por sua dedicação e seriedade na condução do programa de pós-graduação;
- A todos os professores deste programa, pela atenção, dedicação e conhecimentos transmitidos;
- Aos membros da banca examinadora pelos comentários e considerações apresentados com o objetivo de valorizar a tese;
- Ao IFMT, que disponibilizou todas as oportunidades para realização da pós-graduação;
- Aos colegas do programa que sempre compartilharam o conhecimento e sabedoria nesta longa caminhada;
- Ao colega Doutor Everaldo pela amizade e contribuições ao longo de toda jornada;
- Aos secretários Cesário e Soilce, pela amizade e dedicação;
- Aos meus familiares, pela compreensão de minhas ausências por causa da necessidade de dedicação ao doutorado;
- A todos que, de alguma forma, me ajudaram e contribuíram com o desenvolvimento do trabalho.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	3
LISTA DE TABELAS .....	6
LISTA DE ABREVIATURAS .....	7
LISTA DE SÍMBOLOS .....	9
RESUMO .....	10
ABSTRACT .....	11
1 INTRODUÇÃO .....	12
1.1 PROBLEMÁTICA .....	12
1.2 JUSTIFICATIVA .....	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	15
2.1 ESTADO DE MATO GROSSO.....	15
2.2 ESTADO DE MATO GROSSO DO SUL .....	16
2.3 PANTANAL MATO-GROSSENSE.....	17
2.4 SISTEMAS ATMOSFÉRICOS.....	20
2.5 PROJETO TRMM .....	25
2.6 REDES COMPLEXAS.....	26
2.6.1 CONCEITOS BÁSICOS.....	27
2.6.2 TIPOS DE REDES COMPLEXAS.....	30
2.6.3 MEDIDAS DE REDE .....	30
2.6.3.1 Grau ( <i>Degree</i> ).....	31
2.6.3.2 Centralidade da Unidade ( <i>Betweenness Centrality</i> ).....	32
2.6.3.3 Centralidade de Proximidade ( <i>Closeness Centrality</i> ).....	34

2.7	SINCRONIZAÇÃO DE EVENTOS .....	36
3	MATERIAIS E MÉTODOS .....	39
3.1	ESCOLHA DO LOCAL.....	39
3.2	DADOS DE ESTUDO.....	40
3.3	PERÍODOS EM ESTUDO .....	41
3.4	PERCENTIS DE EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO .....	45
3.5	ATRASSO DINÂMICO MÁXIMO .....	45
3.6	NÍVEIS DE ARESTAS .....	45
4	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	49
4.1	PERCENTIS DE EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO .....	53
4.2	ATRASSO DINÂMICO MÁXIMO .....	56
4.3	NÍVEIS DE ARESTAS .....	59
4.4	MEDIDAS DE GRAU.....	62
4.5	MEDIDAS DE CENTRALIDADE DA UNIDADE .....	64
4.6	MEDIDAS DE CENTRALIDADE DE PROXIMIDADE.....	68
4.7	DISCUSSÃO .....	71
4.7.1	PERÍODO PRECH.....	71
4.7.2	PERÍODO CHU .....	71
4.7.3	PERÍODO POSCH.....	72
5	CONCLUSÕES .....	73
5.1	CONTRIBUIÇÕES .....	74
5.2	TRABALHOS FUTUROS .....	74
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	76
7	ANEXOS .....	86

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Relevo, serras, altimetria e biomas dos Estado de Mato Grosso.....	15
Figura 2 - Relevo, serras, altimetria e biomas dos Estado de Mato Grosso do Sul. ....	16
Figura 3 – Localização do Pantanal na América do Sul .....	17
Figura 4 – Ecorregiões da Bacia do Alto Paraguai .....	19
Figura 5 - Sub-bacias no planalto da Bacia do Alto Paraguai.....	20
Figura 6 – Sistemas atmosféricos: SALLJ, ZCAS e ZCIT. ....	23
Figura 7 - Precipitação média mensal e anual da Bacia do Alto Paraguai.....	24
Figura 8 – Modelo de RC, grafo $C = (N, A)$ .....	28
Figura 9 – (a) Grafo não-ponderado e (b) Grafo ponderado .....	28
Figura 10 – (a) Grafo não-direcionado e (b) Grafo direcionado.....	29
Figura 11 – Distância entre os nós D e E.....	29
Figura 12 – Exemplo: valores da centralidade de grau em todos os nós da RC .....	32
Figura 13 – Exemplo: valores de $nDC(B)$ e $nDC$ da RC.....	34
Figura 14 – Exemplo: valores dos somatórios de $dC(D, j)$ e $dC(F, j)$ da RC.....	35
Figura 15 - Matriz de sincronização de eventos $Q_{ij}$ .....	38
Figura 16 - Área de estudo, coordenadas $9,125^0S$ a $22,125^0S$ e $49,875^0W$ a $61,875^0W$ . 39	
Figura 17 – Fluxograma do pré-processamento de dados.....	41
Figura 18 – Os três meses mais chuvosos no Brasil. As três letras indicam as letras iniciais dos meses consecutivos mais chuvosos. ....	42
Figura 19 – (a) Pantanal Brasileiro e suas bacias hidrográficas e (b) Em destaque, localização do Pantanal Brasileiro e suas bacias hidrográficas nos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul.....	43
Figura 20 – Média mensal de chuvas (mm) de 1998 a 2013, com valores fornecidos pelo satélite TRMM. O menor valor (0,0) possui tamanho de referência 0,5 e cor branca e o maior valor (13,098) possui tamanho de referência 4 e cor azul escuro.....	44

Figura 21 - Disposição dos nós, na área de estudo, situada nas coordenadas de latitude 9,125 <sup>0</sup> S a 22,125 <sup>0</sup> S e de longitude 49,875 <sup>0</sup> W a 61,875 <sup>0</sup> W com intervalo de 0,25 <sup>0</sup> x 0,25 <sup>0</sup> , que corresponde a uma RC com 53 linhas e 49 colunas, com um total de 2.597 nós.....	46
Figura 22 - Localização das estações meteorológicas do IMMET .....	47
Figura 23 – (a) Arestas Nível 1: o total máximo de arestas correspondem as arestas entre o nó e seus vizinhos adjacentes. (b) Arestas Nível 2: o total máximo de arestas correspondem as arestas do Nível 1 mais as arestas entre o nó e os outros nós localizados a duas posições (linha azul) nos sentidos horizontal, vertical e diagonal. (c) Arestas Nível 3: o total máximo de arestas correspondem as arestas do Nível 2 mais as arestas entre o nó e os outros nós localizados a três posições (linha vermelha) nos sentidos horizontal, vertical e diagonal. ....	48
Figura 24 – Série temporal do nó 1 (de 1 a 1354 dias), com maior valor de precipitação de 126,31 mm e percentis de 75(94,73 mm), 80(101,05 mm), 85(107,36 mm), 90 (113,679 mm) e 95 (119,994 mm), no período CHU.....	49
Figura 25 - Série temporal do nó 2 (de 1 a 1354 dias), com maior valor de precipitação de 113,56 mm e percentis de 75(85,17 mm), 80(90,85 mm), 85(96,53 mm), 90 (102,204 mm) e 95 (107,882 mm), no período CHU .....	50
Figura 26 - Quantidade de eventos extremos de precipitação e nas posições para o percentil 90 nos nós 1 e 2, no período CHU .....	51
Figura 27 – Quantidade de eventos extremos de precipitação e nas posições para o percentil 95 nos nós 1 e 2, no período CHU .....	52
Figura 28 – Definição de $t$ e $s$ dos nós 1 e 2. ....	53
Figura 29 - Medidas de centralidade para arestas nível 1, atraso dinâmico máximo ( $\tau_{max}$ ) de 3 dias e eventos extremos de percentil: (a) 75, (b) 80 e (c) 85.....	54
Figura 30 - Medidas de centralidade para arestas nível 1, atraso dinâmico máximo ( $\tau_{max}$ ) de 3 dias e eventos extremos de percentil: (a) 90 e (b) 95. ....	55
Figura 31 - Medidas de centralidade para eventos extremos de percentil 90, arestas nível 1 e atraso dinâmico máximo ( $\tau_{max}$ ) de: (a) 2 dias, (b) 3 dias, (c) 4 dias e (d) 5 dias.....	57
Figura 32 - Medidas de centralidade para eventos extremos de percentil 95, arestas nível 1 e atraso dinâmico máximo ( $\tau_{max}$ ) de: (a) 2 dias, (b) 3 dias, (c) 4 dias e (d) 5 dias.....	58

- Figura 33 - Medidas de centralidade para eventos extremos de percentil 90, atraso dinâmico máximo ( $\tau_{max}$ ) de 3 dias e arestas: (a) nível 1, (b) nível 2 e (c) nível 3. ....60
- Figura 34 - Medidas de centralidade para eventos extremos de percentil 95, atraso dinâmico máximo ( $\tau_{max}$ ) de 3 dias e arestas: (a) nível 1, (b) nível 2 e (c) nível 3. ....61
- Figura 35 - Medidas do índice de grau para os períodos PRECH, CHU e POSCH, nos eventos extremos de 90% e 95%, com atraso dinâmico de 3 dias e arestas: (a) nível 1 e (b) nível 2. O menor valor possui tamanho de referência 0,5 e cor branca e o maior valor possui tamanho de referência 4 e cor azul escuro. ....63
- Figura 36 - Medidas da centralidade da unidade para os períodos PRECH, CHU e POSCH, nos eventos extremos de 90% e 95%, com atraso dinâmico de 3 dias e arestas: (a) nível 1 e (b) nível 2. O menor valor possui tamanho de referência 0,5 e cor branca e o maior valor possui tamanho de referência 4 e cor azul escuro. ....67
- Figura 37 - Medidas da centralidade de proximidade para os períodos PRECH, CHU e POSCH, nos eventos extremos de 90% e 95%, com atraso dinâmico de 3 dias e arestas: (a) nível 1 e (b) nível 2. O menor valor possui tamanho de referência 0,5 e cor branca e o maior valor possui tamanho de referência 4 e cor azul escuro. ....70

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Quantidade total de dias para os períodos.....	43
Tabela 2 – Localização das estações do INMET, sua altitude e velocidade média do vento no período de 01/12/2017 a 28/02/2018.....	47
Tabela 3 – Maior índice de precipitação (mm) dos nós 1 e 2 e os percentis de 90 e 95, no período CHU .....	49
Tabela 4 – Quantidade de arestas nos períodos PRECH, CHU e POSCH, para eventos extremos de precipitação de percentis 75, 80, 85, 90 e 95.....	56
Tabela 5 - Quantidade de arestas nos períodos PRECH, CHU e POSCH, para eventos extremos de precipitação de percentis 90 e 95 e níveis de arestas 1, 2 e 3 .....	59

## LISTA DE ABREVIATURAS

ANA - Agência Nacional de Águas

CHU - Período de chuva, que corresponde aos meses: dezembro, janeiro e fevereiro

CSV - *Comma-separated values*, formato de arquivo que armazena dados tabelados

GEF - Fundo Mundial para o Meio Ambiente

Km - Quilômetros

Km<sup>2</sup> – Quilômetros quadrados

OEA - Organização dos Estados Americanos

MEC - Massa de ar Equatorial Continental

m - metros

mm - Milímetros

MPA - Massa Polar Atlântica

MS - Mato Grosso do Sul

MT - Mato Grosso

PNUMA - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

POSCHU - Período pós-chuva, que corresponde aos meses: março e abril

PRECHU - Período pré-chuva, que corresponde aos meses: outubro e novembro

RC – Rede Complexa

RCs – Redes Complexas

SALLJ - *South American Low-Level jet east of the Andes* - Jato sul-americano de baixa altitude a leste dos Andes

SE - Sincronização de Eventos

SGBD - Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados

SPA - Sistema Polar Atlântico

STA - Sistema Tropical Atlântico

STC - Sistema Tropical Continental

TRMM - *Tropical Rainfall Measuring Mission* - Satélite tropical de medição de precipitações

ZCAS - Zona de Convergência do Atlântico Sul

ZCIT - Zona de Convergência Intertropical

## LISTA DE SÍMBOLOS

Aw – Classificação Köppen – Clima tropical

$^{\circ}\text{C}$  - Graus Celsius

Cfa - Classificação Köppen – Clima subtropical úmido com verão quente

Cwa - Classificação Köppen – Clima subtropical úmido com inverno seco e verão úmido

$G_i$  - Grau

$BC_i$  - Centralidade da Unidade

$CP_i$  - Centralidade de Proximidade

$\tau_{\max}$  - Atraso dinâmico máximo

$Q_{ij}$  - medida da força de sincronização de eventos, ou seja, valores das arestas entre os nós

## RESUMO

**KIDA, G. K. Uso de Redes Complexas como Ferramenta de Análise Espaço-Temporal de Dados de Precipitação.** Cuiabá, 2018, 118f. Tese (Doutorado em Física Ambiental) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

Este trabalho tem como objetivo utilizar métodos de sistemas complexos para analisar o fenômeno climático da precipitação em grande escala, que afeta os estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul e o Pantanal, a maior área alagada do mundo. A variabilidade, movimento, força, início e fim das chuvas tem enorme impacto sobre a agricultura, pecuária, economia e a vida dos habitantes da região de estudo. Compreender os mecanismos do período chuvoso é de grande interesse da sociedade e, também, um desafio científico. Este estudo emprega uma abordagem de análise de dados por Rede Complexa (RC) com o intuito de analisar as dinâmicas e visualização espaço-temporal de eventos extremos de precipitação, durante os períodos pré-chuva (outubro - novembro), chuva (dezembro – janeiro - fevereiro) e pós-chuva (março - abril), utilizando dados do satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM). A construção da RC de eventos extremos é feita utilizando uma técnica de correlação não-linear chamado de Sincronização de Eventos (SE). Com a utilização da SE é possível determinar o grau de sincronismo de eventos extremos de precipitação entre os nós da RC e, por meio, de suas medidas, identificar os padrões de precipitação que ocorrem na área de estudo.

**Palavras-chave:** Sincronização de Eventos, eventos extremos, TRMM, correlação não-linear, sincronismo.

## ABSTRACT

KIDA, G. K. Use of Complex Networks as a Time-Space Analysis Tool for Precipitation Data. Cuiabá, 2018, 118f. Thesis (Doctoral Degree in Environmental Physics) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

This work aims to use complex systems methods to analyze the climatic phenomena of large - scale precipitation, which affects the states of Mato Grosso and Mato Grosso do Sul and the Pantanal, the largest wetland in the world. The variability, movement, force, beginning and end of the rains have enormous impact on the agriculture, livestock, economy and the life of the inhabitants of the region of study. Understanding the mechanisms of the rainy season is of great interest to society and also a scientific challenge. This study uses a Complex Network (CN) data analysis approach to analyze the dynamics and spatial-temporal visualization of extreme precipitation events during the pre-rain (october - november), rain (december - january - february) and post-rain (march-april), using data from the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) satellite. The construction of the CN of extreme events is done using a nonlinear correlation technique called Event Synchronization (ES). Using ES, it is possible to determine the degree of synchronism of extreme precipitation events between the CN nodes and, through their measurements, to identify the precipitation patterns that occur in the study area.

Keywords: Event Synchronization, extreme events, TRMM, non-linear correlation, synchronism

# 1 INTRODUÇÃO

Um grafo é definido como um conjunto de nós, interligados por meio de uma aresta. Uma rede, em sua forma mais simples, é a representação de um grafo. Diferente dos grafos, as Redes Complexas (RCs) são construídas através de elementos de sistemas reais e sua estrutura tende a não ser trivial.

Várias atividades que fazemos e equipamentos que usamos fazem parte de uma rede, as redes estão presentes em vários aspectos do nosso cotidiano, como o uso de telefones, computadores, rede elétrica, Internet e rede social. O mundo físico também envolve uma grande variedade de redes, como a rede biológica, de epidemias, econômica, populacional e várias outras.

As redes climatológicas, objetivo desse estudo, baseadas na coleta de séries temporais de parâmetros climáticos em vários pontos da Terra, possibilitam o estudo de vários fenômenos da dinâmica climática. Portanto, a análise com a utilização de Redes Complexas é uma área muito ampla, com muitos estudos em diversas aplicações e impulsionada, também, pela evolução dos recursos tecnológicos, buscando cada vez mais, conhecer o comportamento do clima.

## 1.1 PROBLEMÁTICA

O Brasil, devido a sua grande extensão territorial, possui uma rica biodiversidade em seus biomas, possuindo climas distintos em cada região, a região Centro-Oeste, onde ficam localizados os estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, possui uma característica de clima bem definida, com uma estação seca e fria (de maio a setembro) e outra chuvosa e quente, de outubro a abril. Devido a sua grande extensão de área e de difícil acesso, torna-se custoso a instalação e manutenção de equipamentos meteorológicos. Deste modo, por meio do satélite TRMM, é possível estimar os valores de precipitação distribuídos geograficamente em um período de 03/01/1998 a 31/12/2013.

Sempre foi um desafio compreender a variabilidade espacial e temporal da chuva. O processo de precipitação pluviométrica possui considerável quantidade de variáveis espaciais e temporais, devido às condições climáticas predominantes, topografia e mecanismos de geração de chuvas, além dos impactos da mudança climática. Como resultado, torna-se uma tarefa desafiadora a modelagem de chuva no presente e, ainda mais, no futuro. O presente estudo emprega o conceito de RCs para analisar e interpretar as conexões espaço-temporais da precipitação para compreensão da variabilidade das condições climáticas.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

As RCs são utilizadas em várias áreas do conhecimento, como no estudo de redes sociais, na disseminação de doenças, entre outros. Na maioria dos casos as RCs são usadas para representar as correlações entre séries temporais em locais diferentes, levando a detecção de conexões climáticas e identificando fenômenos climáticos distintos.

Neste estudo usamos as RCs para analisar o comportamento da precipitação sobre a área de estudo, que compreende os estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, empregando uma medida que quantifica o grau de sincronização entre duas séries temporais e várias medidas de RCs, que fornecem informações para interpretações climatológicas.

Diante do exposto, o objetivo geral desta pesquisa foi efetuar a análise espaço-temporal dos dados de precipitação com a utilização de RCs e compreender o comportamento da precipitação na área de estudo.

Para alcançar esse objetivo foram necessários desenvolver os seguintes objetivos específicos, tais como:

- Obter dados de precipitação da área de estudo;
- Construir a RC com cálculo das arestas por meio de correlação não-linear.
- Fazer análise espaço-temporal através do cálculo das medidas das RCs.
- Verificar valores obtidos com as RCs com o comportamento do clima da região.

Portanto, o presente estudo irá fornecer uma nova abordagem no estudo da estação chuvosa da área de estudo com a utilização de RCs, contribuindo com o entendimento da dinâmica do clima da região.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão apresentadas informações e conceitos sobre a região de estudo, sistemas atmosféricos, TRMM, redes complexas e sincronização de eventos, que serão utilizados nos capítulos posteriores.

### 2.1 ESTADO DE MATO GROSSO

O Estado de Mato Grosso (MT) está localizado na região Centro-Oeste do Brasil, possui uma área total de 903.329,700 Km<sup>2</sup> e perímetro de 5.815,15 Km (OLIVEIRA, MARCUZZO e BARROS, 2015).

Segundo Oliveira, Marcuzzo e Barros (2015), o estado de MT está inserido nos biomas Amazônia, Cerrado e Pantanal. A amplitude altimétrica do Estado de Mato Grosso varia de 44 a 1.155 metros, sendo que as regiões sudoeste e sudeste do Estado apresentam as maiores altitudes (Figura 1).

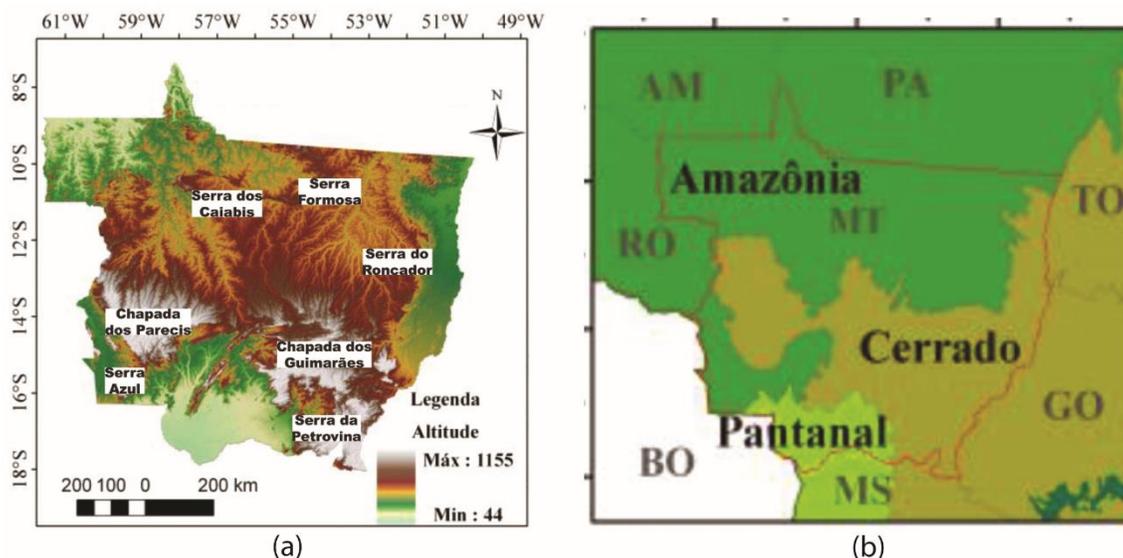


Figura 1 - Relevo, serras, altimetria e biomas dos Estado de Mato Grosso.  
Fonte: Adaptado de Oliveira, Marcuzzo e Barros (2015)

Segundo a classificação de Köppen, o clima do estado de MT, em grande parte é o Tropical (Aw), com estação seca no inverno, ficando uma pequena parte, ao norte do Estado, com o clima Tropical Monçônico (Am), com chuvas excessivas durante o ano, porém com inverno seco (PEEL, FINLAYSON e MCMAHON, 2007).

## 2.2 ESTADO DE MATO GROSSO DO SUL

O estado de Mato Grosso do Sul (MS) está localizado na região Centro-Oeste do Brasil, possui uma área total aproximada de 357.124,33 Km<sup>2</sup> e perímetro de 3.663,36 Km (OLIVEIRA e MARCUZZO, 2016).

Segundo Oliveira e Marcuzzo (2016), o estado de MS está inserido nos biomas Cerrado, Mata Atlântica e Pantanal (Figura 2). E, a amplitude altimétrica desse estado, varia de 26 a 1.052 metros, sendo que a região nordeste concentra as maiores altitudes (Figura 2).

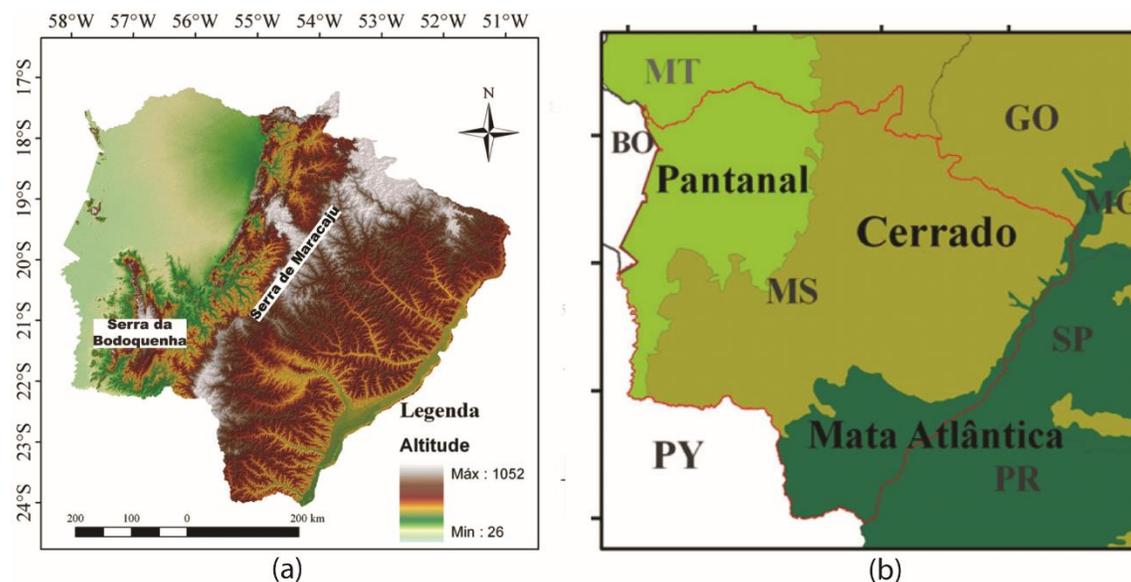


Figura 2 - Relevo, serras, altimetria e biomas dos Estado de Mato Grosso do Sul.  
Fonte: Adaptado de Oliveira e Marcuzzo (2016)

Segundo a classificação de Köppen, o clima do estado de MS, ao norte e oeste é o tropical (Aw), com estação seca no inverno, ao sul e sudoeste é o subtropical úmido com verão quente (Cfa) e, a leste, é o subtropical úmido, com inverno seco e verão úmido (Cwa) (PEEL, FINLAYSON e MCMAHON, 2007).

### 2.3 PANTANAL MATO-GROSSENSE

Cobrando uma área de 140.000 Km<sup>2</sup>, o Pantanal (Figura 3) se estende por todo o oeste do Brasil, localizado na região Centro-oeste a sudoeste do estado de Mato Grosso e leste do estado de Mato Grosso do Sul, ocupando partes da Bolívia e do Paraguai. (MARCUIZZO, ROCHA e MELO, 2011; PAZ, COLLISCHONN, *et al.*, 2010; SALLO, 2017)

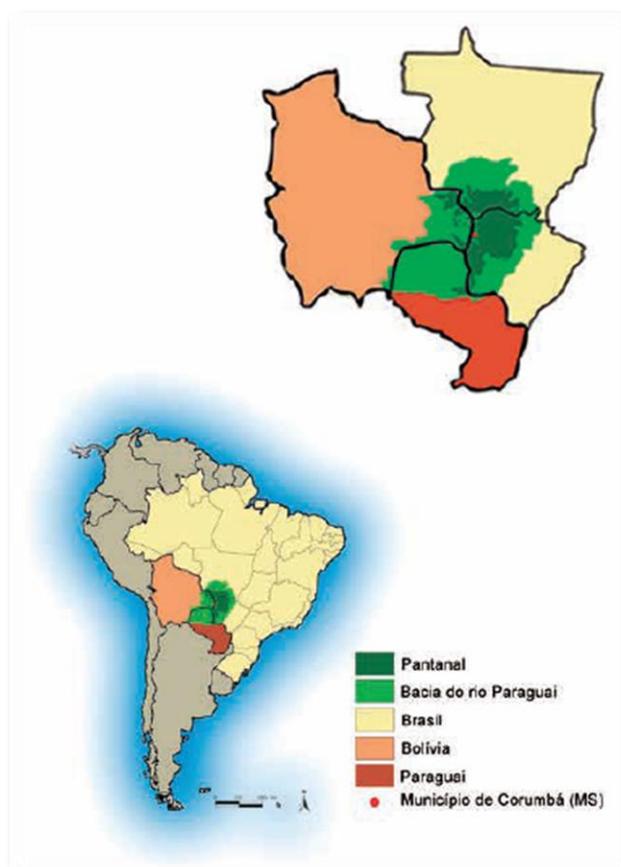


Figura 3 – Localização do Pantanal na América do Sul  
Fonte: Freitas, Trevelin *et al.* (2015)

A temperatura média do ar está entre 26<sup>0</sup>C e 29<sup>0</sup>C no verão e entre 20<sup>0</sup>C e 23<sup>0</sup>C no inverno. Seu clima é do tipo tropical (Aw), conforme classificação Koppen (SILVA, 2013; CARDOSO e MARCUZZO, 2010).

O Pantanal compreende as áreas abaixo de 200 m de altitude, que interage com as regiões de planalto em seu entorno, como o Cerrado a leste, a Amazônia ao norte e o Chaco a sudoeste (conforme as ecorregiões da Figura 4), funciona como um grande reservatório da água das bacias hidrográficas oriundas da região do planalto (Figura 5) (Brasil, 2004; TUCCI, 2005; CALHEIROS e OLIVEIRA, 2010).

A região onde se localiza a bacia do rio Paraguai apresenta um período seco, de junho a agosto e, um período úmido, de setembro a maio (CARDOSO e MARCUZZO, 2010; MARCUZZO, 2014).



Figura 4 – Ecorregiões da Bacia do Alto Paraguai  
 Fonte: BRASIL (2004)



Figura 5 - Sub-bacias no planalto da Bacia do Alto Paraguai  
Fonte: BRASIL (2004)

## 2.4 SISTEMAS ATMOSFÉRICOS

Conforme Marcuzzo *et al.* (2010), a precipitação é resultado do acoplamento de vários sistemas atmosféricos: Sistema Convectivo, Zona de Convergência do Atlântico Sul, Alta da Bolívia e os Sistemas Frontais. O comportamento das massas de ar da região tem efeitos significativos em decorrência da sua instabilidade, alta umidade e altura das serras que também é um fator de influência relevante na precipitação.

A massa de ar equatorial continental (MEC) e a massa polar atlântica (MPA) são os principais mecanismos atmosféricos que atuam no bioma do Pantanal Mato-grossense. A MEC atua na primavera e verão, se deslocando para o interior do país no sentido noroeste

para sudeste, com elevada umidade, provocando as chuvas. A MPA atua com maior frequência no inverno, se deslocando do sul para o norte, com acúmulo de ar polar e baixa umidade, causando as quedas de temperaturas e estiagem (NIMER, 1989; MARCUZZO, ROCHA e MELO, 2011).

Segundo Rosa *et al.*(2007), os sistemas atmosféricos que atuam em Mato Grosso, são:

- Zona de Convergência Intertropical (ZCIT);
- Sistema Equatorial, Sistema Tropical Continental (STC);
- Sistema Tropical Atlântico (STA);
- Sistema Polar Atlântico (SPA); e
- Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).

Segundo Sette (2005), na estação chuvosa, ocorre o deslocamento para o leste do Subsistema Tropical Atlântico Continentalizado, deixando espaços que atraem os sistemas Equatoriais para o sul, ocorrendo a configuração da ZCAS (Figura 6), que é formada por vários sistemas: Sistema Amazônico, as Instabilidades de Norte e Noroeste, as Instabilidades de Norte e Nordeste, Sistema Tropical Continental e a Frente Polar Atlântica.

A ZCAS é uma banda de nebulosidade desde a Amazônia até o oceano Atlântico Sul, causando elevadas precipitações sobre a região em que atuam (REBOITA, KRUSCHE *et al.*, 2012; REBOITA, GAN *et al.*, 2010; CARVALHO, JONES e LIEBMANN, 2004).

Conforme Marengo *et al.* (2004), no verão, o jato sul-americano de baixa altitude a leste dos Andes (SALLJ - *South American Low-Level jet east of the Andes*) transportam a umidade proveniente da região equatorial, percorrendo o leste da cordilheira dos Andes até o sul do Brasil e Argentina (Figura 6).

Entre a linha do equador e 25<sup>0</sup>S, ocorrem distintas precipitações conforme o ciclo anual, sendo que na linha do equador ocorrem precipitações abundantes o ano todo; a partir dos 10<sup>0</sup>S, há um grande contraste entre o verão e o inverno, onde quase toda chuva ocorre no verão, causado principalmente pelo ZCAS. E, mais ao sul do Brasil, sudeste do

Paraguai e nordeste da Argentina, as precipitações ocorrem durante o ano todo. (MARENGO, LIEBMANN *et al.*, 2012)

A precipitação sobre a região tem média anual de cerca de 1.400mm, sendo observadas as maiores chuvas no planalto. O período de chuvas começa em outubro e vai até abril, onde ocorre de 70% a 80% da média anual (Figura 7) (BRASIL, 2004; SILVA, 2013).

Segundo Nimer (1989) a variação de relevo e latitude levam a uma diversificação térmica e os sistemas atmosféricos determina uma uniformidade no regime de precipitação da região.

Devido à baixa declividade do solo, de 2 a 3 cm por quilômetro (de norte a sul) e de 5 a 25 cm por quilômetro (de oeste a leste), a inundação do Pantanal é causada por transbordamento dos rios; sendo que, ao norte, a inundação coincide com o período de chuvas e, ao sul, a inundação ocorre com uma defasagem de 3 meses (NOVAIS, 2013).

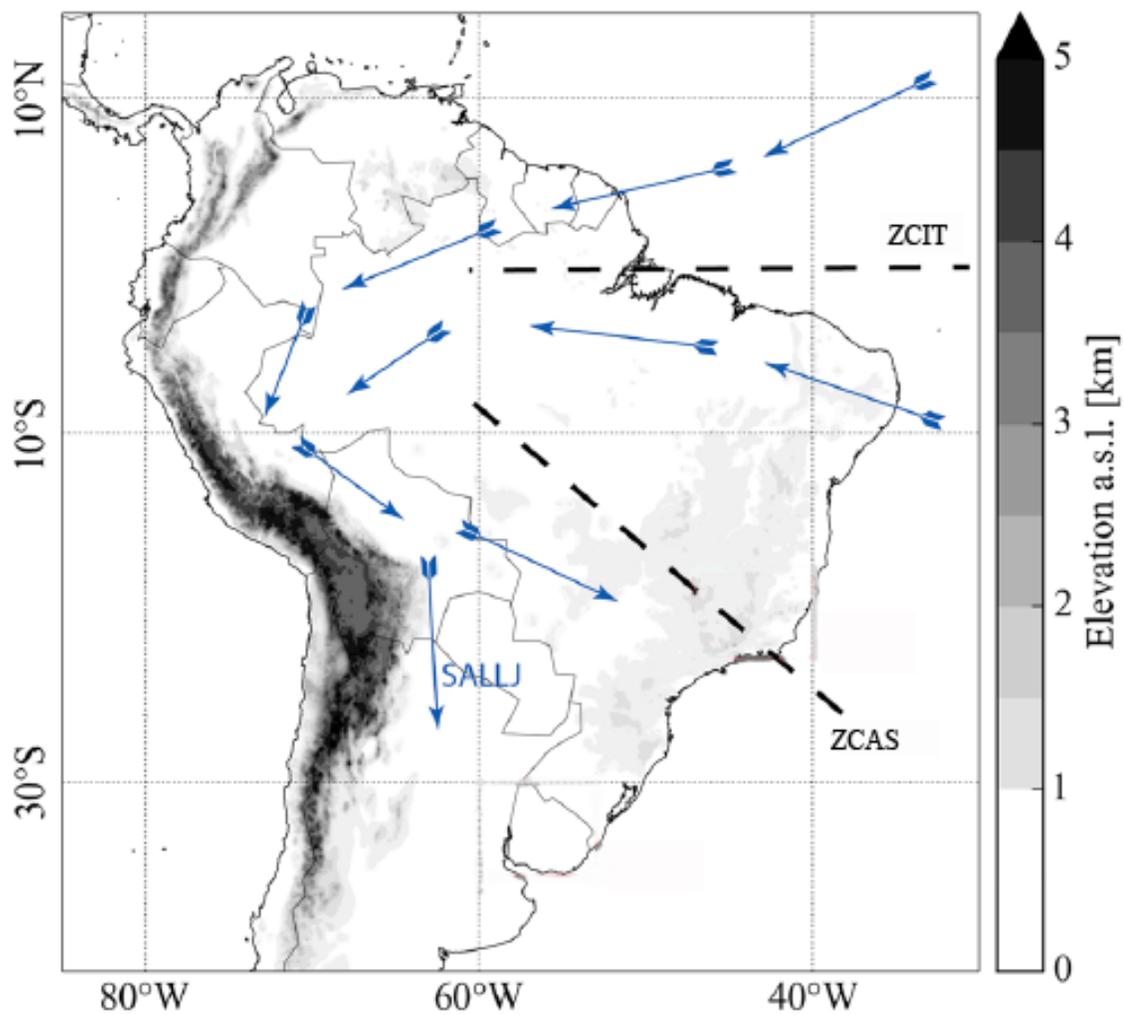


Figura 6 – Sistemas atmosféricos: SALLJ, ZCAS e ZCIT.  
Fonte: adaptado de Boers, Rheinwalt *et al.*, (2014)

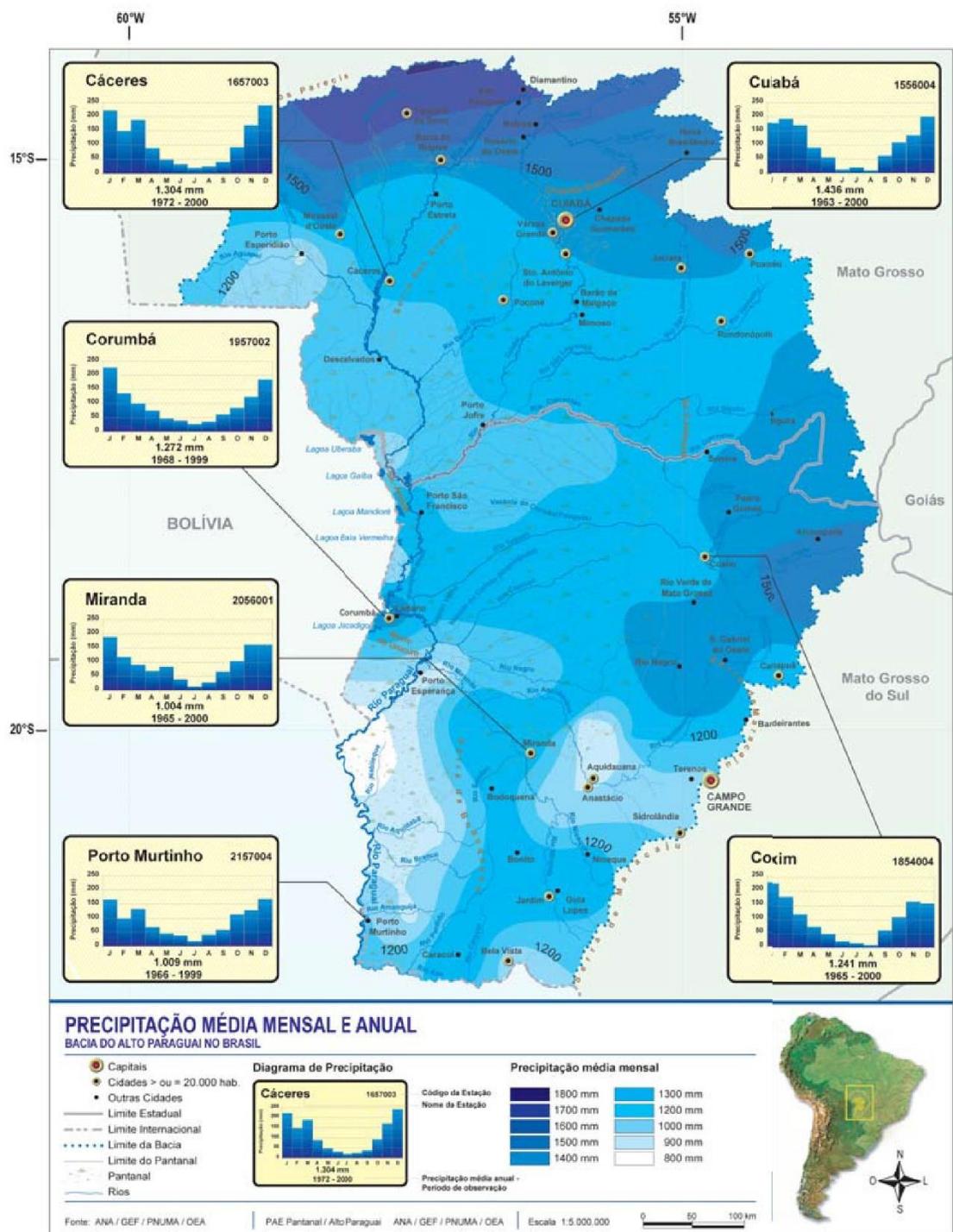


Figura 7 - Precipitação média mensal e anual da Bacia do Alto Paraguaí  
 Fonte: BRASIL (2004)

## 2.5 PROJETO TRMM

Em 27 de novembro de 1997, no Centro Espacial Tanegashima, foi lançado o satélite TRMM, pela *National Aeronautics And Space Administration* (NASA) em parceria com a *Japan Aerospace Exploration Agency* (JAXA), com o objetivo de estimar a precipitação nos trópicos.

Segundo Nicholson (2005), as estimativas geradas pelo projeto TRMM são mais confiáveis que outros satélites, sendo validados por *Ground Validation* (GV) que contém dados de precipitação de várias estações localizadas na superfície terrestre (WOLFF, MARKS, *et al.*, 2005).

A quantidade de trabalhos que utilizam o TRMM, para análise de dados de precipitação, é significativa (COLLISCHONN, 2006; COLLISCHON *et al.*, 2007; NÓBREGA *et al.*, 2008), vários autores destacam sua importância, visto que a disponibilização dos dados contribui para a formação de uma base de dados de pluviosidade, tanto espacial, quanto temporal sendo utilizada em estudos climatológicos (NÓBREGA, 2008).

O satélite TRMM possui sensores que monitoram nuvens, precipitações, raios e outros aspectos do ciclo da água, que possibilitam a estimativa da precipitação, que são: Imagem de Micro-ondas TRMM (TMI); Radar de Precipitação (PR) e Sistema de Radiômetro Visível e Infravermelho (VIRS). Possui ainda os sensores para mapeamento de relâmpagos (LIS) e sensor de energia radiante da superfície terrestre e das nuvens (HUFFMAN, BOLVIN *et al.*, 2007).

O projeto TRMM disponibiliza dados de precipitação com uma resolução temporal de três horas e resolução espacial de  $0.25^\circ$  para o produto 3B42RT, para dados diários o produto 3B42 e, dados mensais o produto 3B43 (HUFFMAN, BOLVIN *et al.*, 2007).

Segundo Nóbrega (2008), a grande vantagem, ao usar os dados de precipitação do projeto TRMM, é a abrangência do satélite sobre lugares onde existem poucas medidas pontuais, pois, ao obter a precipitação por métodos tradicionais (pluviômetros e pluviógrafos), as informações refletem a precipitação ocorrida exclusivamente no local

onde se encontram os instrumentos e, neste caso, é estendida para toda região, com base em métodos estatísticos ou matemáticos como interpolação de dados.

Os dados de precipitação, disponibilizados pela NASA, por padrão, estão em formato binário, *Hierarchical Data Format* (HDF) ou *Network Common Data Form* (NetCDF). O conjunto de dados fornecidos pelo projeto integram dados históricos, que auxiliam no monitoramento da precipitação (NÓBREGA, 2008).

## 2.6 REDES COMPLEXAS

Diversos sistemas que fazem parte das atividades que o homem executa ou participa podem ser representados por grafos (ALBERT e BARABÁSI, 2002), formando um conjunto de sistemas complexos. Por exemplo, as redes sociais (ELLISON, STEINFELD e LAMPE, 2007), redes de computadores (ACHLIOPTAS, CLAUSET *et al.*, 2009), redes biológicas (CARVALHO, 2012), dentre outras. Da mesma forma, na última década, a metodologia da abordagem de RCs tem sido aplicada nas áreas das ciências naturais, como no estudo das variações climáticas (TSONIS e ROEBBER, 2004; BOCCALETTI, LATORA *et al.*, 2006; TSONIS, SWANSON e KRAVTSOV, 2007; DONGES, ZOU *et al.*, 2009b ; SANTANA, FONTES *et al.*, 2009; STEINHAEUSER, CHAWLA e GANGULY, 2010; MALIK, BOOKHAGEN *et al.*, 2011; STOLBOVA, MARTIN *et al.*, 2014).

O estudo de RCs tem a capacidade de representar os problemas complexos de modo objetivo, oferecendo uma sustentação teórica e prática para o estudo das propriedades e comportamentos de elementos reais que fazem parte do problema (BRANDÃO e PARREIRAS, 2010).

Com o avanço da tecnologia e o desenvolvimento de computadores com poder e velocidade de processamento cada vez maiores, tem se tornado comum a utilização das RCs para o estudo de simulações em redes. Dessa forma, com os valores individuais de cada elemento é possível obter um comportamento do sistema como um todo (BRITO, 2017).

E uma forma de decidir quais elementos são importantes em uma rede complexa (RC) para sua análise, são as medidas de centralidade, que classificam os nós e arestas por ordem de importância e, por meio dos seus elementos principais, podemos entender melhor o comportamento dos seus elementos (BORBA, 2013).

As redes são comumente usadas para representar a dinâmica de sistemas complexos que são construídos a partir da interação de muitos componentes. Embora em alguns casos a representação do sistema como uma rede seja óbvia e os nós e arestas sejam obtidos diretamente, há casos em que o processo que interliga os componentes interativos individuais é mais complexo e uma aresta deve ser calculada através de semelhanças no comportamento dinâmico de dois nós (PIKOVSKY, ROSENBLUM e KURTHS, 2001; YAMASAKI, GOZOLCHIANI e HAVLIN, 2008).

No caso de um sistema climático, é preciso assumir que o clima é representado por uma RC de nós, onde cada um deles possui uma característica dinâmica oscilatória, cujo conjunto possui uma variação de forma complexa, e esse comportamento coletivo é de grande importância para a montagem da RC resultante (TSONIS, SWANSON e ROEBBER, 2006; ARENAS *et al.*, 2008).

### **2.6.1 CONCEITOS BÁSICOS**

As RCs representam qualquer sistema que possam ser representados por grafos, onde os nós identificam os elementos do sistema e as arestas, que são as ligações entre os nós, representam a relação ou interação entre os elementos.

Representando uma RC (Figura 8) como um grafo  $C = (N, A)$ , onde  $N$  corresponde aos nós e  $A$  às arestas entre os nós, existem duas estruturas distintas denominadas: grafos não ponderados e grafos ponderados (ROCHA, 2017).

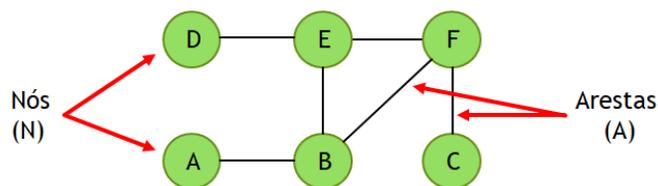


Figura 8 – Modelo de RC, grafo  $C = (N, A)$

Sendo  $w$  a função peso nas arestas, é considerado que  $w(a) > 0$ , onde  $a \in A$ , para grafos ponderados (Figura 9b) e definido que  $w(a) = 1$ , onde  $a \in A$ , para grafos não ponderados (Figura 9a) (BRANDES, 2001). Para o estudo foram utilizados os gráficos são ponderados.

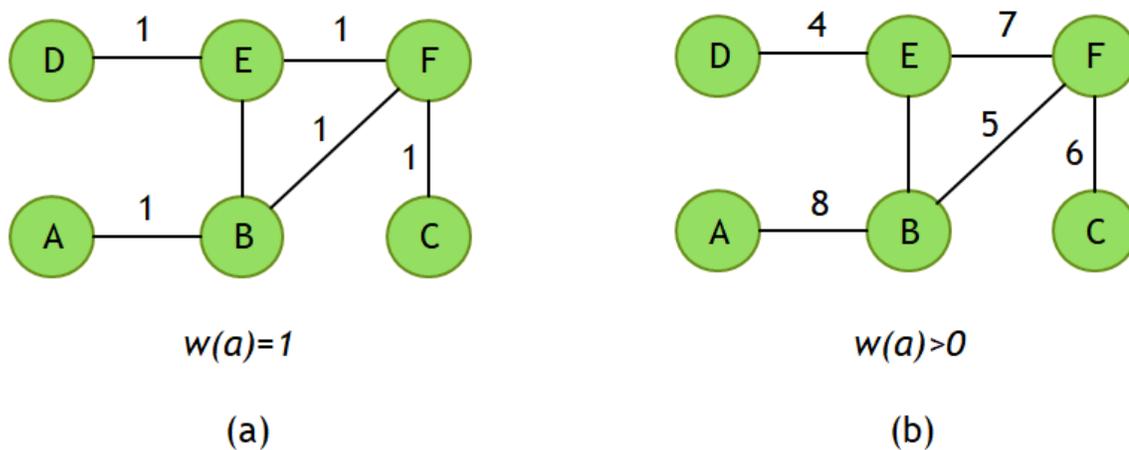


Figura 9 – (a) Grafo não-ponderado e (b) Grafo ponderado

Essas estruturas ainda podem ser divididas em grafos não-direcionados (Figura 10a) e direcionados (Figura 10b). No estudo foram utilizados gráficos não-direcionados.

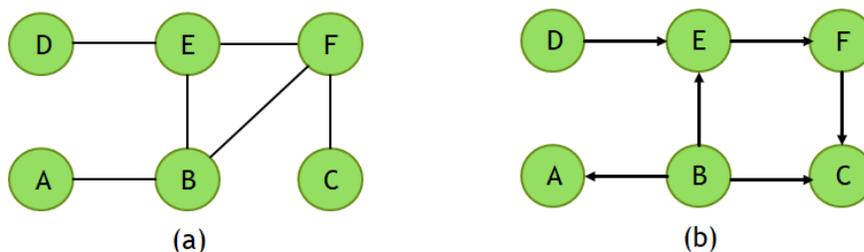


Figura 10 – (a) Grafo não-direcionado e (b) Grafo direcionado

Definindo o caminho de  $i \in N$  para  $j \in N$  como uma sequência de nós e arestas, começando em  $i$  e terminando em  $j$ , o comprimento de um caminho é a soma dos pesos das arestas. Considerando  $dC(i, j)$  como a distância entre os nós  $i$  e  $j$ , ou seja, o comprimento mínimo de qualquer conexão entre  $i$  e  $j$  em  $C$ . E por definição  $dC(i, i) = 0$ , para todo  $i \in N$ , e  $dC(i, j) = dC(j, i)$ , para  $i, j \in N$  (Figura 11) (BRANDES, 2001).

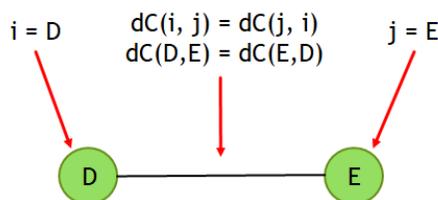


Figura 11 – Distância entre os nós D e E

Em uma RC, as arestas que ligam os nós formam um caminho, considerando dois nós ( $i$  e  $j$ ), pode haver inúmeros caminhos entre eles, mesmo que não estejam conectados diretamente. O caminho geodésico, ou comprimento de menor caminho, é o caminho mais curto entre dois nós quaisquer da RC. O diâmetro é o caminho geodésico mais longo entre dois nós quaisquer da RC (CASTRO, 2007).

## 2.6.2 TIPOS DE REDES COMPLEXAS

Os principais tipos de RCs são: redes aleatórias, redes pequeno mundo e redes livre de escalas.

As redes aleatórias são o modelo mais simples de uma RC, proposto por Erdős e Rényi (1959); do ponto de vista matemático, esse modelo é formado por  $N$  nós e arestas ( $A$ ) aleatórias não direcionadas são adicionadas entre os nós, deste modo, todos os nós da RC têm a mesma quantidade de arestas e a mesma chance de se obter novas arestas.

As redes pequeno mundo são um modelo alternativo às redes aleatórias, foiram descobertos por Watts e Strogatz, em 1998, no estudo de redes de neurônios, onde detectaram que os caminhos fechados entre os nós eram muito maiores que em redes aleatórias, com o mesmo número de nós e arestas (RODRIGUES, 2007).

As redes livres de escalas seguem uma curva conhecida como leis de potência, que determinam seu comportamento, não seguindo uma simples aleatoriedade. Em 1999, os pesquisadores Barabási e Albert em estudo na Teia Mundial (*World Wide Web*) descartaram a aleatoriedade e demonstraram que leis regem as estruturas de redes reais (RODRIGUES, 2007).

## 2.6.3 MEDIDAS DE REDE

Com o desenvolvimento dos estudos baseados em RCs, um dos primeiros desafios encontrados foi o de como seria possível avaliar quais nós possuíam uma maior importância, pois, RCs geralmente apresentam grande complexidade e isso faz com que alguns nós da rede sejam mais importantes que os demais. Para caracterizar uma RC, foram desenvolvidas várias medidas, utilizando características, por exemplo, como a quantidade e peso de arestas conectadas aos nós ou a conexão com nós importantes da RC. Tais medidas ficaram conhecidas como medidas de centralidade (RONQUI e TRAVIESO, 2015).

Conforme Butts (2008), entre as medidas de centralidade mais amplamente utilizados estão as de Freeman (1978/79), que padroniza uma redução de medidas

similares em trabalhos anteriores, também citado por Brandes, Kenis e Wagner (1999). As medidas de centralidade descritas por Freeman e utilizadas neste trabalho são: Grau, Centralidade da Unidade e Centralidade de Proximidade.

### 2.6.3.1 Grau (*Degree*)

Considerada uma medida mais simples para medir a centralidade de uma RC, na qual a importância de um nó é avaliada pelo número de conexões com outros nós. Em uma RC não direcionada não é possível determinar se um nó exerce mais ou menos influência no relacionamento com os demais nós, mas podemos determinar que eles estão de fato conectados, podendo ser igualmente ponderados. Ou seja, não é possível determinar a influência do nó da rede, mas fornece uma importância relativa a estrutura da RC (CHERVEN, 2015).

O grau ( $G_i$ ) de um nó  $i$  é o número de arestas conectadas a ele, sendo  $i=1,2,\dots,N$ , é o número de arestas ( $a_{ij}$ ) incidentes com o nó  $j$ , onde  $j \in N$  (Equação 1) (VOSGERAU, 2016; QIONG e DONGXIA, 2016; BRANDES, KENIS e WAGNER, 1999; DWYER, HONG, *et al.*, 2006; RONQUI e TRAVIESO, 2015; MIRSHAHVALAD, 2013; XIE, 2005; DOROGOVTSEV e MENDES, 2002).

$$G_i = \sum_{j \in N} a_{ij} \quad (1)$$

Conforme exemplo (Figura 12), os nós E, B e F possuem grau ( $G_E$ ,  $G_B$  e  $G_F$ ) igual a 3 e os nós A, C e D possuem grau ( $G_A$ ,  $G_C$  e  $G_D$ ) igual a 1.

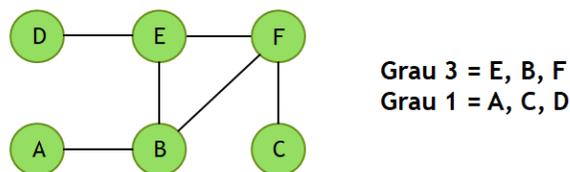


Figura 12 – Exemplo: valores da centralidade de grau em todos os nós da RC

Em uma rede direcionada, existem dois tipos de grau: grau de entrada e grau de saída. O grau de entrada representa as arestas que chegam em um determinado nó a partir de outros nós; o grau de saída representa a quantidade de arestas que partem de um determinado nó; conforme as ligações entre os nós da RC, o grau de entrada de um nó pode ser diferente do grau de saída (PEREIRA, 2016).

O caminho mais curto entre dois nós é o caminho usando um número mínimo de conexões, se uma grande fração dos caminhos curtos de um nó  $i$  para um nó  $j$  passa através de um determinado nó  $v$ , o nó  $v$  é um importante mediador para o transporte através da rede, ou seja, esse nó tem uma alta interação (BOCCALETTI, LATORA, *et al.*, 2006; FIGUEIREDO, 2011).

Neste estudo, o transporte de eventos de precipitação está relacionado com a propagação da precipitação, que indica os caminhos de eventos através da rede de precipitação (STOLBOVA, MARTIN, *et al.*, 2014).

O índice de grau produz uma estimativa da importância de um dado nó da RC para os caminhos de sincronização de eventos extremos sobre a área de estudo. No entanto, os valores elevados não indicam que a precipitação se propague ao longo de todas as áreas de valores elevados, mas que é particularmente importante para a distribuição espacial e, portanto, para a propagação de chuvas extremas (BOERS, RHEINWALT *et al.*, 2014).

### 2.6.3.2 Centralidade da Unidade (*Betweenness Centrality*)

Em RCs grandes, os nós não são equivalentes, a retirada de um nó, por exemplo, pode ter resultados distintos, como uma grande alteração no caminho de influência nos

demais nós, com também, não ocasionar nenhuma alteração significativa (BARTHÉLEMY, 2004; COHEN e HAVLIN, 2010).

A centralidade da unidade ( $BC_i$ ) é a medida que quantifica a centralidade de um nó na rede, que é utilizada para classificar os nós e arestas mais importantes da rede, pois demonstram os nós que concentram o fluxo de informação, indicando sua importância na topologia e funcionamento da rede (XIE, 2005; CABRAL, 2013).

Também pode ser considerada como uma medida em que um nó tem o controle da informação que flui entre os outros nós que estão interligados (NEWMAN, 2001; NEWMAN, 2005; CHERVEN, 2015).

Esta medida é baseada no conceito de caminhos geodésicos mais curtos na RC, que são as sequências mais curtas de caminhos que levam de um nó da RC para outro. Conforme Equação 2, para nós da RC, dados  $j$  e  $k$ , primeiro são procurados todos os caminhos mais curtos entre  $j$  e  $k$ , em seguida, é calculada a proporção do número de caminhos da RC mais curtos, que passam por um terceiro nó da RC  $i$  ( $n_{jk}(i)$ ) e o número total de caminhos da RC mais curtos entre  $j$  e  $k$  ( $n_{jk}$ ). A centralidade da unidade no nó da RC  $i$  é então definida como a soma dessas proporções sobre todos os nós  $j$  e  $k$  (ANTHONISSE, 1971; FREEMAN, 1977; BRANDES, KENIS e WAGNER, 1999; BRANDES, 2001; BOCCALETTI, LATORA, *et al.*, 2006; COSTA, RODRIGUES, *et al.*, 2007; QIONG e DONGXIA, 2016; CHENA, LÜB, *et al.*, 2011).

$$BC_i = \sum_{j,k \in N, j \neq k} \frac{n_{jk}(i)}{n_{jk}} \quad (2)$$

Conforme o exemplo (Figura 13), a centralidade da unidade no nó B ( $BC_B$ ) (Equação 3) é a razão do somatório dos caminhos curtos do nó D ao nó C, passando pelo nó B ( $n_{DC}(B)$ ), de valor igual a 1, pelo somatório de caminhos curtos do nó D ao nó C ( $n_{DC}$ ), de valor igual a 2, resultando no valor de  $BC_B$  igual a 0,5, conforme Equação 4.

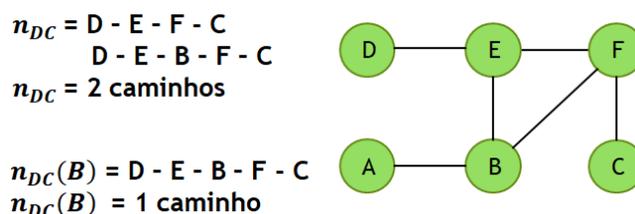


Figura 13 – Exemplo: valores de  $n_{DC}(B)$  e  $n_{DC}$  da RC

$$BC_B = \sum_{D,C \in N, D \neq C} \frac{n_{DC}(B)}{n_{DC}} \quad (3)$$

$$BC_B = \frac{1}{2} = 0,5 \quad (4)$$

Se um nó da RC se encontrar em muitos caminhos mais curtos entre os pares de nós da RC, a centralidade da unidade será alta, e são interpretados como importante para a propagação de eventos extremos de precipitação, em particular em grandes distâncias espaciais (BOERS, BOOKHAGEN, *et al.*, 2013).

Os valores mais altos de centralidade da unidade, do ponto de vista matemático, destacam os principais caminhos de deslocamento de informação, neste caso, representa a quantidade de eventos de chuva deslocando entre os nós da rede (MALIK, BOOKHAGEN, *et al.*, 2011).

### 2.6.3.3 Centralidade de Proximidade (*Closeness Centrality*)

A centralidade de proximidade representa um caso interessante, em que um determinado nó selecionado pode, na verdade, estar mal conectado em um sentido direto, mas ainda é altamente influente, devido à proximidade de vizinhos bem conectados (CHERVEN, 2015).

A centralidade de proximidade mede a vulnerabilidade da rede. Os nós da RC com alto valor são muito críticos para o funcionamento da RC (BRANDES, 2001; BRANDES, KENIS e WAGNER, 1999).

Uma das interpretações físicas desta medida é que indica a velocidade de propagação da informação. Por exemplo, qualquer perturbação no sistema viaja mais rápido para os nós com valores mais altos da centralidade de proximidade (MALIK, BOOKHAGEN *et al.*, 2011).

O valor da centralidade de proximidade ( $CP_i$ ) pode ser expresso pelo inverso da soma das distâncias entre cada nó da rede ( $dC(i, j)$ ), conforme Equação 5 (CHENA, LÜB *et al.*, 2011; BRANDÃO e PARREIRAS, 2010; LEHMANN e KAUFMANN, 2003; BRANDES, 2001; SABIDUSSI, 1966):

$$CP_i = \frac{1}{\sum_{j \in N} dC(i, j)} \quad (5)$$

Quanto maior o valor  $CP_i$ , indica que o nó  $i$  ocupa uma posição importante na rede.

Na Figura 14, são apresentados os somatórios de todas as distâncias entre todos os nós da RC com o nó D e o nó F, considerando todas as arestas com valor igual a 1. Nas Equações 6 e 7, são obtidos os valores de  $CP_D = 0,09$  e de  $CP_F = 0,14$ , indicando que o nó F ocupa uma posição mais importante que o nó D.

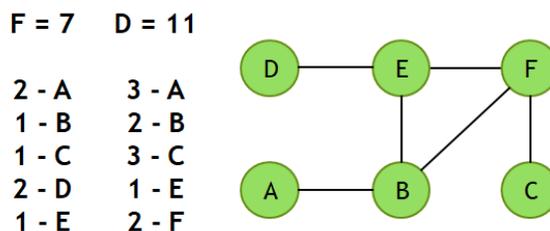


Figura 14 – Exemplo: valores dos somatórios de  $dC(D, j)$  e  $dC(F, j)$  da RC

$$CP_D = \frac{1}{\sum_{j \in N} dC(D, j)} \quad CP_D = \frac{1}{11} = 0,09 \quad (6)$$

$$CP_F = \frac{1}{\sum_{j \in N} dC(F, j)} \quad CP_F = \frac{1}{7} = 0,14 \quad (7)$$

Conforme Butts (2008), em gráficos que não estão fortemente conectados, a centralidade de proximidade é mal definida, a menos que os nós desconectados estejam em distâncias infinitas. Devido a essa fragilidade, essa medida é menos utilizada do que as outras duas medidas de Freeman.

A centralidade de proximidade tem a tarefa de indicar os nós da RC que desempenham papel crítico na estrutura de funcionamento, indicam que a precipitação se desloca mais rapidamente para os nós com valores elevados, indicando maiores chances de precipitação (MALIK, BOOKHAGEN *et al.*, 2011).

## 2.7 SINCRONIZAÇÃO DE EVENTOS

Os nós de uma rede climática são identificados com os nós da RC espacial de um conjunto de dados climáticos globais subjacentes. As arestas são adicionadas entre pares de nós, dependendo do grau de interdependência estatística entre os pares correspondentes de séries temporais de anomalias, retiradas do conjunto de dados climáticos. Na escala global, as redes climáticas apresentam propriedades de “pequeno mundo” devido a conexões de longo alcance (arestas que ligam nós geograficamente distantes), que estabilizam o sistema climático e aumentam a energia e a transferência de informações dentro dele. Os processos altamente não-lineares, em funcionamento no sistema climático, exigem a aplicação de métodos não-lineares para obter resultados mais confiáveis (DONGES, ZOU, *et al.*, 2009a).

A sincronização de eventos (ES) é empregada como uma correlação não-linear para medir a força de sincronização de eventos de chuva entre dois nós da RC e o seu comportamento de atraso. Este método serve, também, como base para a construção das RCs. ES foi introduzida, anteriormente, em Quiroga *et al.* (2002), no sincronismo de sinais de eletroencefalograma e, modificada por Malik *et al.* (2010), para estudo de eventos de chuva nas monções da Índia.

A SE é utilizada como um método para construção das RCs climáticas (QUIROGA, KREUZ e GRASSBERGER, 2002; MALIK, MARWAN e KURTHS, 2010; MALIK, BOOKHAGEN *et al.*, 2011; MALIK, 2012; MARWAN e KURTHS, 2015), por possuir vantagens em relação a outras técnicas de correlação, pois permite definir séries de eventos extremos e usa um atraso dinâmico, que pode ser adaptado à região de interesse (BOERS, RHEINWALT, *et al.*, 2014; STOLBOVA, MARTIN, *et al.*, 2014; STOLBOVA, 2016).

Para um evento que ocorre em tempo  $t_l^i$  no nó  $i$  e  $t_m^j$  no nó  $j$ , onde,  $l = 1, 2, \dots, s_i$ ,  $m = 1, 2, \dots, s_j$  e dentro de um intervalo de tempo  $\pm \tau_{lm}^{ij}$ , que é definido como (Equação 8):

$$\tau_{lm}^{ij} = \min\{t_{l+1}^i - t_l^i, t_l^i - t_{l-1}^i, t_{m+1}^j - t_m^j, t_m^j - t_{m-1}^j\}/2 \quad (8)$$

onde  $s_i$  e  $s_j$  são o número total de eventos que ocorreram nos nós  $i$  e  $j$  da RC, respectivamente. Também, considerando um atraso dinâmico máximo ( $\tau_{max}$ ) para cada par de nós  $i$  e  $j$  (BOERS, BOOKHAGEN, *et al.*, 2013), ou seja, se  $\tau_{lm}^{ij} > \tau_{max}$ , então,  $\tau_{lm}^{ij} = 0$ .

Posteriormente, é efetuado a contagem do número de vezes que um evento ocorre no  $i$  após ele aparece no  $j$  e vice-versa e, isso é conseguido através da definição de quantidades  $c(i|j)$  e  $c(j|i)$  (Equação 9). Onde,

$$c(i|j) = \sum_{l=1}^{s_i} \sum_{m=1}^{s_j} J_{ij} \quad (9)$$

E  $J_{ij}$  (Equação 10) indica o grau de sincronismo entre os eventos que ocorrem nos nós  $i$  e  $j$

$$J_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{se } 0 < t_l^i - t_m^j \leq \tau_{lm}^{ij}, \\ \frac{1}{2}, & \text{se } t_l^i = t_m^j, \\ 0, & \text{outro.} \end{cases} \quad (10)$$

Da mesma forma, é obtido  $c(j|i)$  e dessas quantidades é calculado o valor de  $Q_{ij}$  (Equação 11)

$$Q_{ij} = \frac{c(i|j) + c(j|i)}{\sqrt{S_i S_j}} \quad (11)$$

Onde,  $Q_{ij}$  é a medida da força de sincronização de eventos entre os nós  $i$  e  $j$  da RC (Figura 15), que corresponde aos valores ponderados das arestas entre os nós das RCs.

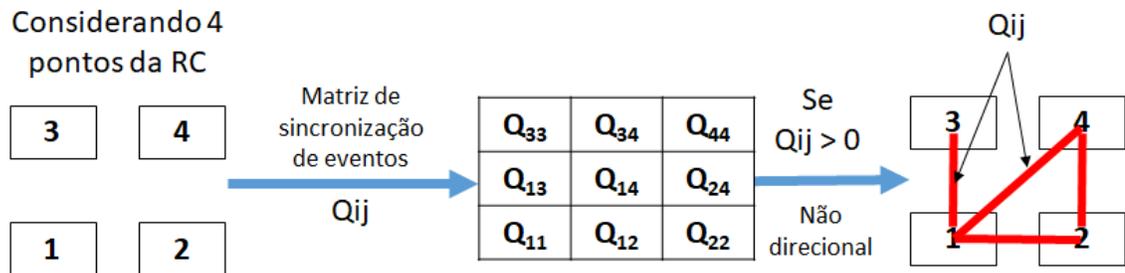


Figura 15 - Matriz de sincronização de eventos  $Q_{ij}$

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão apresentados a escolha do local de estudo, obtenção dos dados e a definição dos percentis de eventos extremos, atraso dinâmico máximo e níveis de arestas, que serão utilizados nos próximos capítulos.

#### 3.1 ESCOLHA DO LOCAL

O local de estudo situa-se na região centro-oeste do Brasil, nas coordenadas de latitude  $9,125^{\circ}\text{S}$  a  $22,125^{\circ}\text{S}$  e longitude de  $49,875^{\circ}\text{W}$  a  $61,875^{\circ}\text{W}$ , que abrange quase a totalidade dos estados de Mato Grosso e de Mato Grosso do Sul, partes de estados e países vizinhos (Figura 16).



Figura 16 - Área de estudo, coordenadas  $9,125^{\circ}\text{S}$  a  $22,125^{\circ}\text{S}$  e  $49,875^{\circ}\text{W}$  a  $61,875^{\circ}\text{W}$ .

### 3.2 DADOS DE ESTUDO

Devido à falta de pluviômetros na área de estudo, a análise da precipitação sofre grandes incertezas, porém, as precipitações médias obtidas pelo produto 3B42 disponibilizados pelo projeto do satélite TRMM, fornecem valores de estimativas espaciais consistentes (COLLISCHONN, ALLASIA *et al.*, 2007; SOUSA, ARANTES *et al.*, 2013).

Os dados obtidos do TRMM correspondem aos valores diários estimados de 24 horas de precipitação acumulada, com resolução espacial de  $0,25^\circ \times 0,25^\circ$  (25Km x 25Km), no período de 03/01/1998 a 31/12/2013, nas coordenadas em estudo, que representarão os nós da RC.

A obtenção dos valores de precipitação do satélite TRMM foi realizada por meio do sítio da Nasa, (<https://trmm.gsfc.nasa.gov/>) em formato binário NetCDF, dispostos em forma de matriz. Posteriormente, realizada a conversão para o formato *Comma-separated values* (CSV), que é um formato de arquivo que armazena dados tabelados. Por meio de um código em Python<sup>TM</sup>, desenvolvido durante o presente estudo, transformou os dados matriciais em uma tabela que contém os atributos: data, latitude, longitude e a precipitação (em milímetros). A seguir, os dados foram armazenados em sistema de gerenciamento de banco de dados (SGBD) PostgreSQL (na versão 9.1), para executar buscas temporais com maior facilidade (Figura 17).



Figura 17 – Fluxograma do pré-processamento de dados

Para a realização do trabalho foram utilizados aplicativos desenvolvidos no MATLAB (versão R2014a) da Mathworks, para o processamento dos dados e cálculo das arestas com o método da Sincronização de Eventos (SE).

Para o estudo dos parâmetros e representações gráficas, das RCs, foi utilizado o aplicativo GEPHI (versão 0.82) (que é um programa de código aberto para gráficos e análise de redes) (BASTIAN, HEYMAN e JACOMY, 2009; CHERVEN, 2013; CHERVEN, 2015; KHOKHAR, 2015).

### 3.3 PERÍODOS EM ESTUDO

Para o estudo, foram consideradas, separadamente, séries temporais correspondentes aos períodos pré-chuva (PRECH), chuva (CHU) e pós-chuva (POSCH) (BIUDES, VOURLITIS *et al.*, 2015; NUNES DA CUNHA e JUNK, 2004).

O período PRECH representa os meses de outubro e novembro de cada ano, com 61 dias por ano, de 01/10/1998 a 30/11/2012. Conforme Figura 18, o período CHU representa os meses de dezembro, janeiro e fevereiro, com 90 dias por ano (91, no caso de ano bissexto), de 01/12/1998 a 28/02/2013 (RAO e HADA, 1990; GAN, KOUSKY e

ROPELEWSKI, 2004; MARCUZZO, 2014). O período POSCH representa os meses de março e abril, com 61 dias por ano, de 01/03/1999 a 30/04/2013.

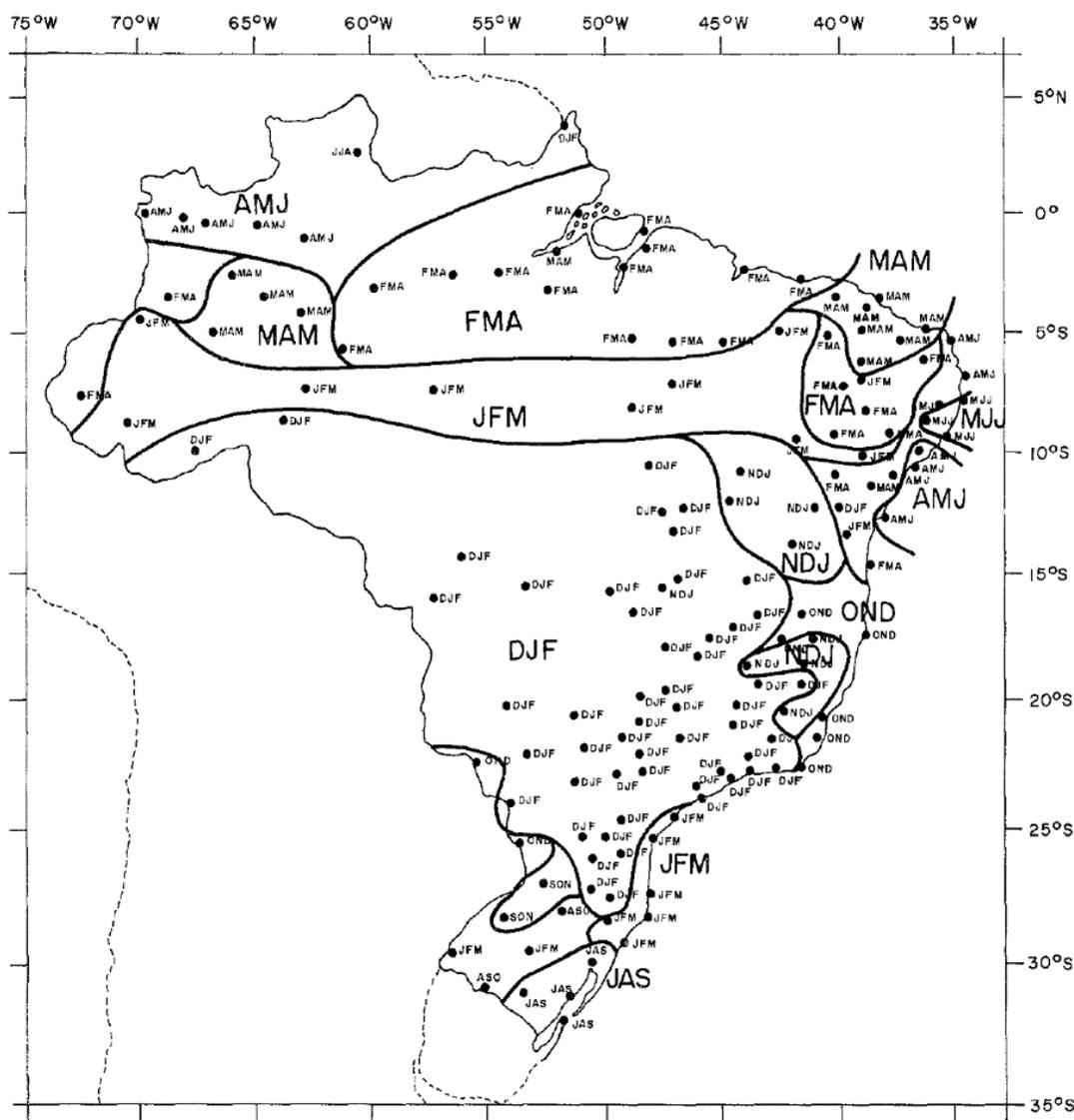


Figura 18 – Os três meses mais chuvosos no Brasil. As três letras indicam as letras iniciais dos meses consecutivos mais chuvosos.

Fonte: Rao e Hada (1990)

A Figura 19 apresenta o esboço da localização do Pantanal Mato-grossense (Figura 19b) e suas bacias hidrográficas (Figura 19a) nos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, que foi utilizado nas figuras da média mensal de chuvas, das RCs e suas medidas.

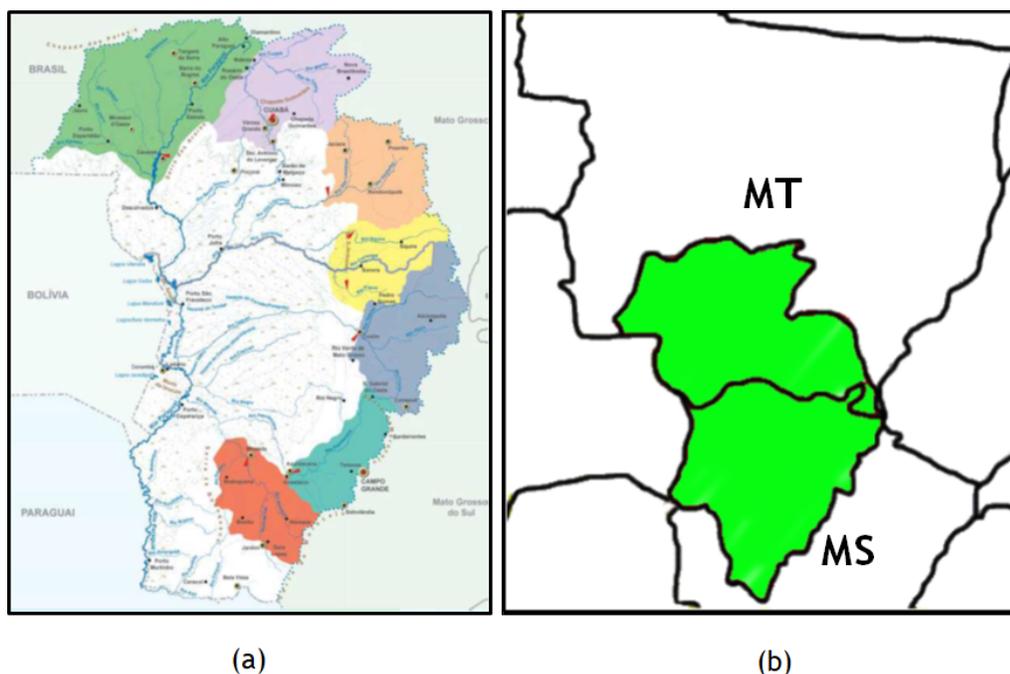


Figura 19 – (a) Pantanal Brasileiro e suas bacias hidrográficas e (b) Em destaque, localização do Pantanal Brasileiro e suas bacias hidrográficas nos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul.

Na Figura 20 é possível verificar a ocorrência média de precipitação para o período em cada nó das RCs, pois demonstra o início do período chuvoso, em outubro, tendo seu ápice em janeiro, finalizando em abril.

O tamanho das séries temporais em cada nó das RCs, nos períodos descritos anteriormente, corresponde à quantidade de dias no ano, multiplicada pela quantidade de anos, conforme Tabela 1. Os valores utilizados nas séries temporais correspondem aos valores de precipitação, nas coordenadas da área de estudo, obtidos pelo satélite TRMM.

Tabela 1 – Quantidade total de dias para os períodos

Período	Quantidade total de dias
PRECHU	915
CHU	1354
POSCHU	915

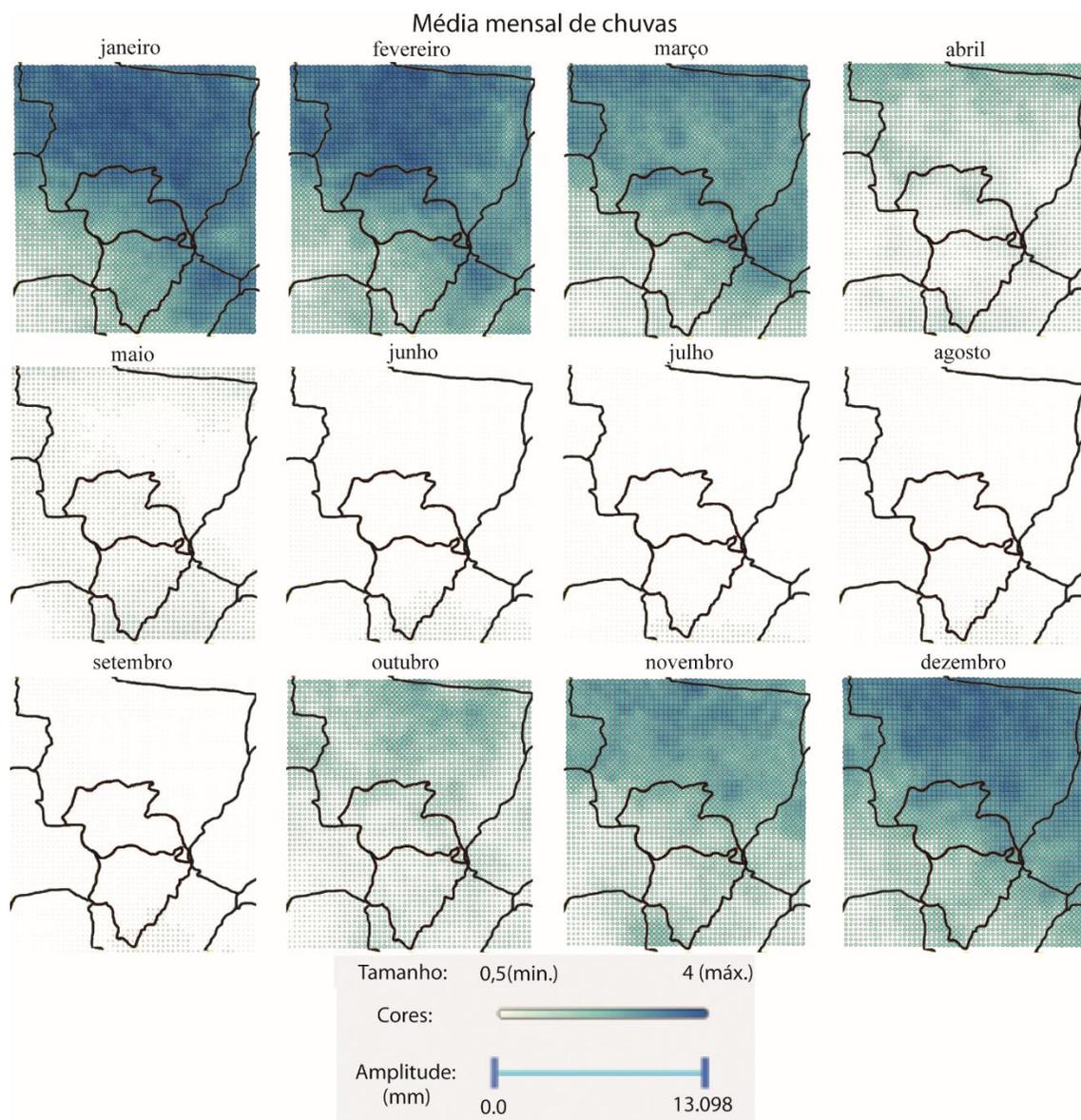


Figura 20 – Média mensal de chuvas (mm) de 1998 a 2013, com valores fornecidos pelo satélite TRMM. O menor valor (0,0) possui tamanho de referência 0,5 e cor branca e o maior valor (13,098) possui tamanho de referência 4 e cor azul escuro.

### 3.4 PERCENTIS DE EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO

Os eventos extremos de precipitação são os dias da série temporal que ultrapassam um determinado percentil, para todos os dias de cada nó da RC; apenas os eventos acima desse limite são considerados. Para este estudo os percentis analisados foram de 75, 80, 85, 90 e 95.

### 3.5 ATRASO DINÂMICO MÁXIMO

O atraso dinâmico máximo ( $\tau_{\max}$ ) serve apenas como um limite superior para o atraso dinâmico  $\tau_{lm}^{ij}$  (Equação 9), garantindo uma sincronização no cálculo da SE. Normalmente os eventos extremos são sincronizados em escalas de tempo de até 3 dias (BOERS, RHEINWALT, *et al.*, 2014).

Para o estudo, foram feitas comparações com atraso dinâmico máximo de 2, 3, 4 e 5 dias.

### 3.6 NÍVEIS DE ARESTAS

A Figura 21 representa a disposição dos nós na área de estudo, com um total de 2.597 nós, sendo numerado em ordem crescente com início nas coordenadas 22,125<sup>0</sup>S e 61,875<sup>0</sup>W (-22,125<sup>0</sup> e -61,875<sup>0</sup>) até o nó 2.597 nas coordenadas 9,125<sup>0</sup>S e 49,875<sup>0</sup>W (-9,125<sup>0</sup> e -49,875<sup>0</sup>)

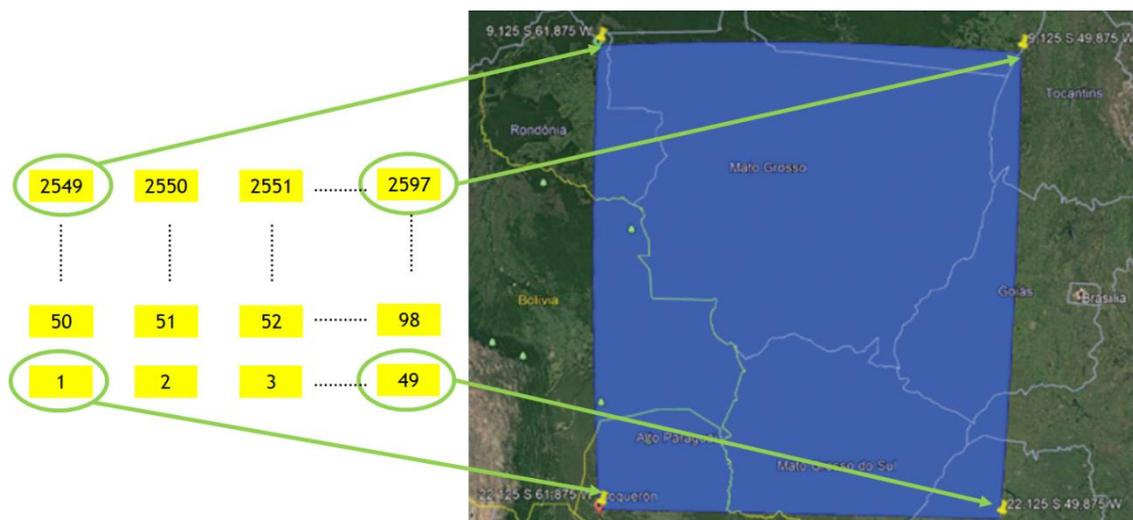


Figura 21 - Disposição dos nós, na área de estudo, situada nas coordenadas de latitude  $9,125^{\circ}\text{S}$  a  $22,125^{\circ}\text{S}$  e de longitude  $49,875^{\circ}\text{W}$  a  $61,875^{\circ}\text{W}$  com intervalo de  $0,25^{\circ} \times 0,25^{\circ}$ , que corresponde a uma RC com 53 linhas e 49 colunas, com um total de 2.597 nós.

Para o estudo, foi obtida a média da velocidade do vento (Tabela 2) em oito estações meteorológicas, situadas em diversos locais dos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul (Figura 22), sendo a menor e maior velocidade média de  $0,618 \text{ m/s}$  e  $1,777 \text{ m/s}$ , que correspondem ao deslocamento de  $53,4 \text{ Km/dia}$  e  $152,93 \text{ Km/dia}$ , respectivamente. Indicando um deslocamento de 2 a 6 nós por dia na RC, uma vez que cada nó corresponde a uma área de  $25 \text{ Km} \times 25 \text{ Km}$ , portanto, um determinado nó pode ser influenciado por outro nó em até 6 posições de distância em um dia.

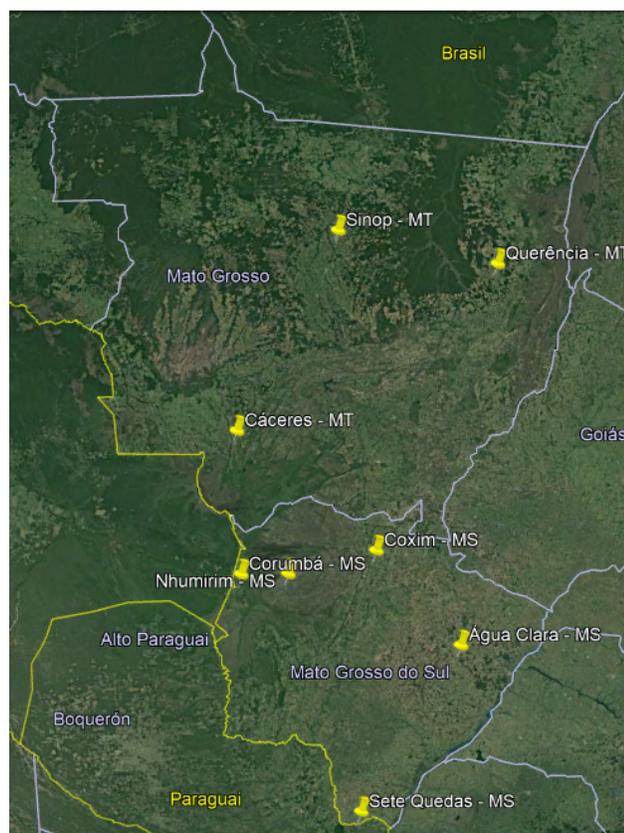


Figura 22 - Localização das estações meteorológicas do IMMET

Tabela 2 – Localização das estações do INMET, sua altitude e velocidade média do vento no período de 01/12/2017 a 28/02/2018.

Fonte: INMET, disponível em <http://www.inmet.gov.br/porta1/index.php?r=home2/index>

<b>Estação INMET</b>	<b>Altitude (m)</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>	<b>Velocidade Média do Vento (m/s)</b>
Água Clara - MS	324	-20.44444°	-52.87583°	1,302
Cáceres - MT	124	-16.074740°	-57.693047°	1,353
Corumbá - MS	112	-18.99667°	-57.6375°	1,192
Coxim - MS	251	-18.512146°	-54.736116°	1,180
Nhumirim - MS	102	-18.988681°	-56.622868°	0,618
Querência - MT	361	-12.627315°	-52.220891°	0,961
Sete Quedas - MS	398	-23.966893°	-55.024227°	1,777
Sinop - MT	367	-11.982245°	-55.565993°	1,509

Para a construção das RCs com a utilização da SE, as arestas foram determinadas conforme os seguintes parâmetros denominados: nível 1, nível 2 e nível 3.

As arestas no nível 1 (Figura 23a) correspondem às arestas entre um determinado nó e seus vizinhos adjacentes, totalizando no máximo 10.084 arestas na RC.

No nível 2 (Figura 23b), as arestas de um determinado nó correspondem às arestas do nível 1 mais as arestas entre os nós localizados a duas posições, nos sentidos horizontal, vertical e diagonal. Totalizando no máximo 29.456 arestas na RC.

No nível 3 (Figura 23c), as arestas de um determinado nó correspondem às arestas do nível 2 mais as arestas com os nós, localizados a três posições nos sentidos horizontal, vertical e diagonal. Totalizando no máximo 57.344 arestas na RC.

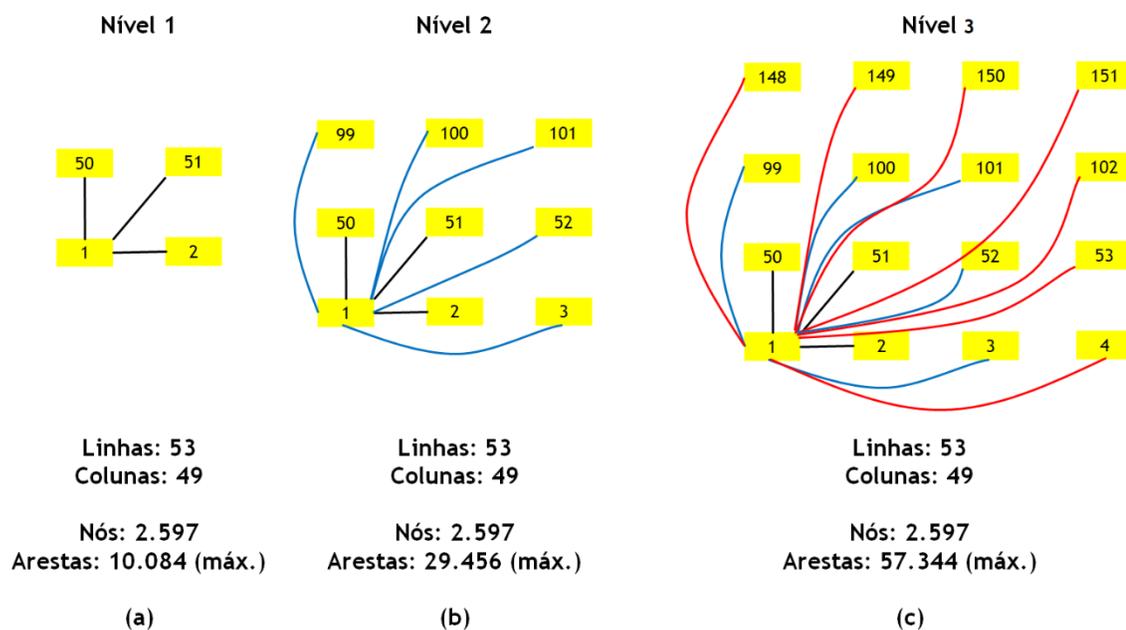


Figura 23 – (a) Arestas Nível 1: o total máximo de arestas correspondem as arestas entre o nó e seus vizinhos adjacentes. (b) Arestas Nível 2: o total máximo de arestas correspondem as arestas do Nível 1 mais as arestas entre o nó e os outros nós localizados a duas posições (linha azul) nos sentidos horizontal, vertical e diagonal. (c) Arestas Nível 3: o total máximo de arestas correspondem as arestas do Nível 2 mais as arestas entre o nó e os outros nós localizados a três posições (linha vermelha) nos sentidos horizontal, vertical e diagonal.

## 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Conforme Figura 21, considerando como nó 1 as coordenadas 22,124<sup>0</sup>S e 61,875<sup>0</sup>W e nó 2 as coordenadas 22,124<sup>0</sup>S e 61,625<sup>0</sup>W (Figura 21), ambos adjacentes, para o período CHU, temos as séries temporais do nó 1 (Figura 24) e nó 2 (Figura 25).

Conforme Tabela 3, o maior índice de precipitação do nó 1 é de 126,31 mm e de 113,56 mm para o nó 2, que foram utilizados para se determinar os percentis de 75, 80, 85, 90 e 95 (Figura 24 e Figura 25).

Tabela 3 – Maior índice de precipitação (mm) dos nós 1 e 2 e os percentis de 90 e 95, no período CHU

Nó	Maior precipitação (mm)	75%	80%	85%	90% (mm)	95% (mm)
1	126,31	94,73	101,05	107,36	113,679	119,994
2	113,56	85,17	90,85	96,53	102,204	107,882

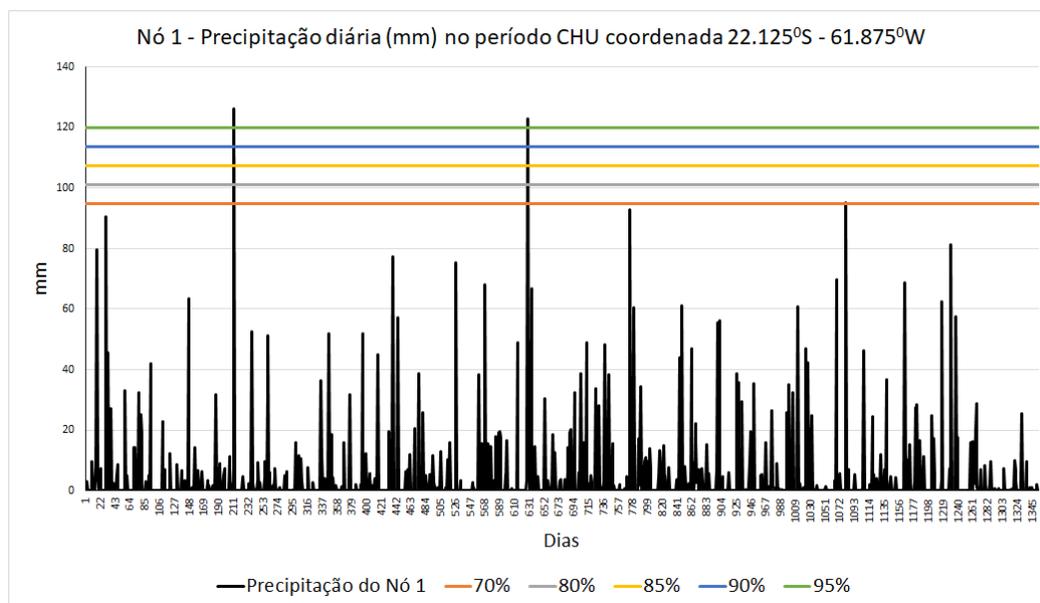


Figura 24 – Série temporal do nó 1 (de 1 a 1354 dias), com maior valor de precipitação de 126,31 mm e percentis de 75(94,73 mm), 80(101,05 mm), 85(107,36 mm), 90 (113,679 mm) e 95 (119,994 mm), no período CHU

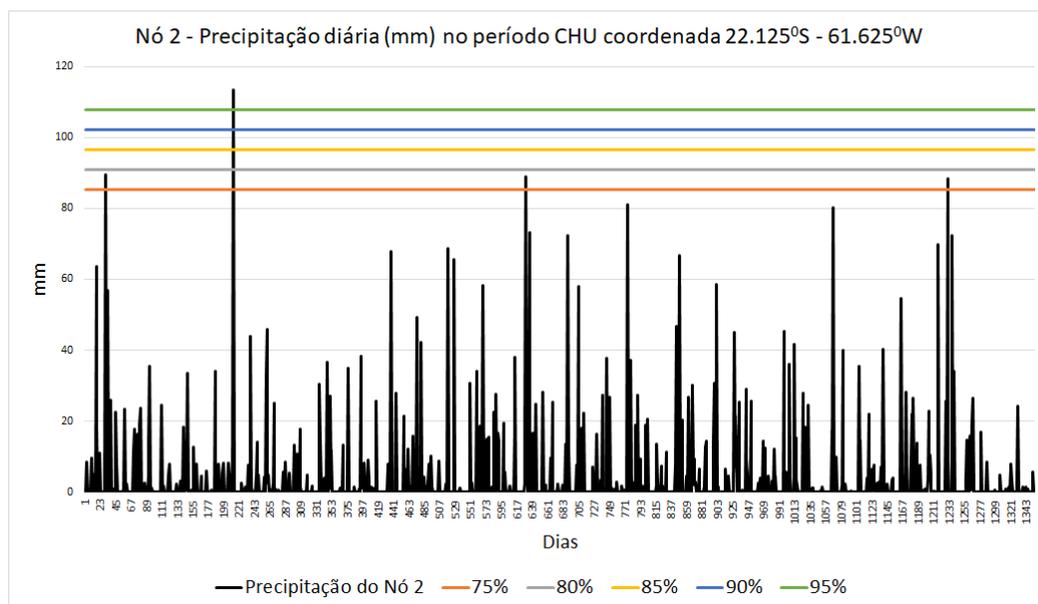


Figura 25 - Série temporal do nó 2 (de 1 a 1354 dias), com maior valor de precipitação de 113,56 mm e percentis de 75(85,17 mm), 80(90,85 mm), 85(96,53 mm), 90 (102,204 mm) e 95 (107,882 mm), no período CHU

Como exemplo, para o cálculo das arestas utilizando a SE, foram utilizados os percentis 90 e 95 para gerar as séries temporais de eventos extremos de precipitação dos nós 1 (Figura 26) e 2 (Figura 27), onde todo valor igual ou maior aos valores dos eventos extremos corresponde a 1 e, os demais valores, a 0, em sua posição na série-temporal.

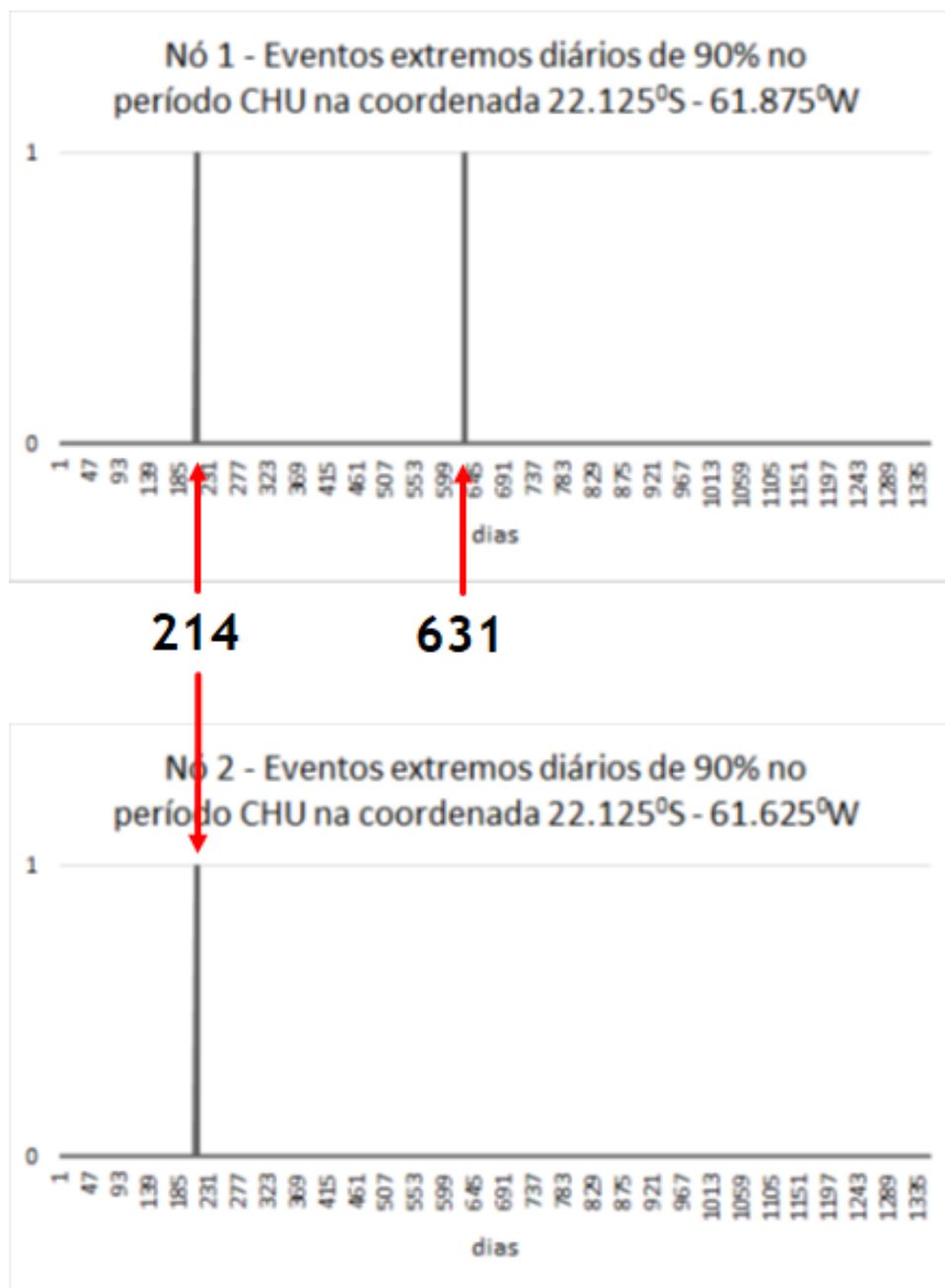


Figura 26 - Quantidade de eventos extremos de precipitação e nas posições para o percentil 90 nos nós 1 e 2, no período CHU

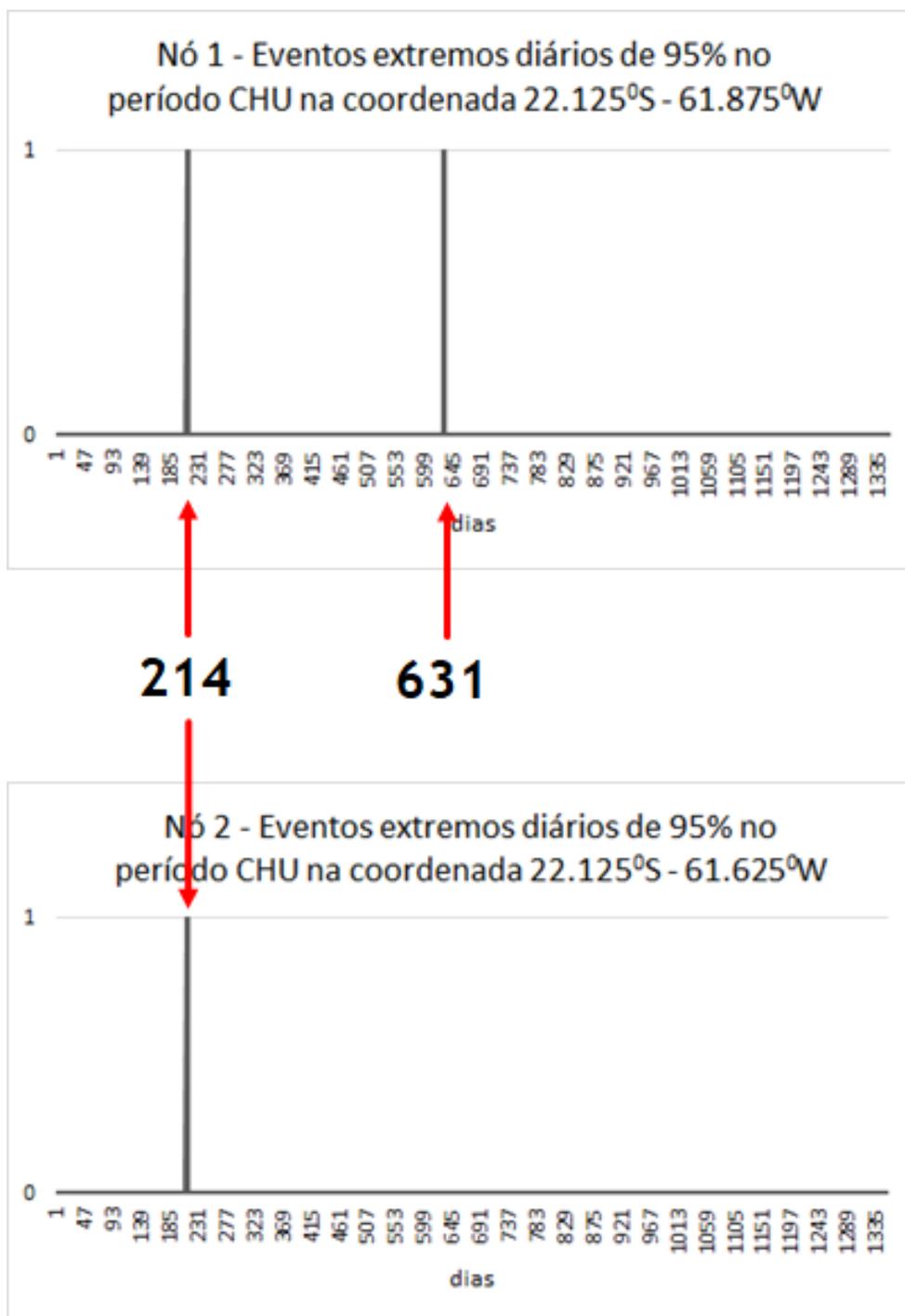


Figura 27 – Quantidade de eventos extremos de precipitação e nas posições para o percentil 95 nos nós 1 e 2, no período CHU

Conforme Figura 28, foram obtidos os valores de  $t_l^i$  do nó 1 e  $t_m^j$  do nó 2 e os valores de  $s_1$  e  $s_2$ .

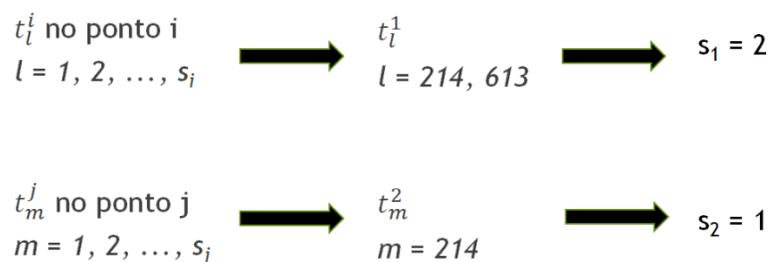


Figura 28 – Definição de  $t$  e  $s$  dos nós 1 e 2.

Dessa forma, são calculadas as demais arestas ( $Q_{ij}$ ) das RCs, conforme a variação dos percentis de eventos extremos de precipitação, atraso dinâmico máximo e níveis de arestas, descritas nas próximas seções.

#### 4.1 PERCENTIS DE EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO

Deste modo, foram construídas as RCs para os percentis 75, 80, 85, 90 e 95, com atraso dinâmico máximo de 3 dias, arestas no nível 1 e foram obtidas as medidas de centralidade, conforme Figura 29 e Figura 30.

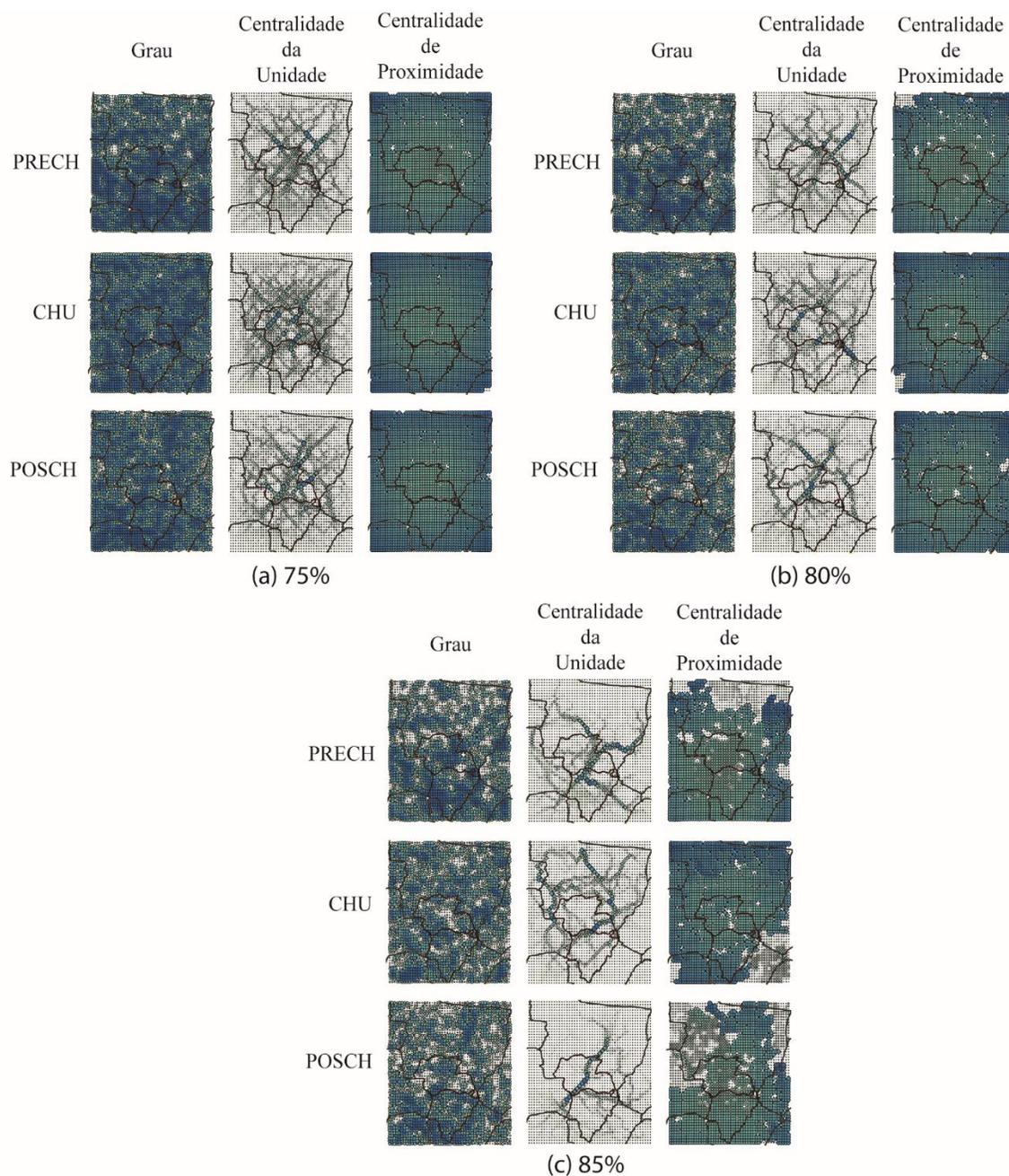


Figura 29 - Medidas de centralidade para arestas nível 1, atraso dinâmico máximo ( $\tau_{max}$ ) de 3 dias e eventos extremos de percentil: (a) 75, (b) 80 e (c) 85. Para melhor visualização, ver figuras ampliadas nos ANEXOS 1 (página 88), 2 (página 89) e 3 (página 90).

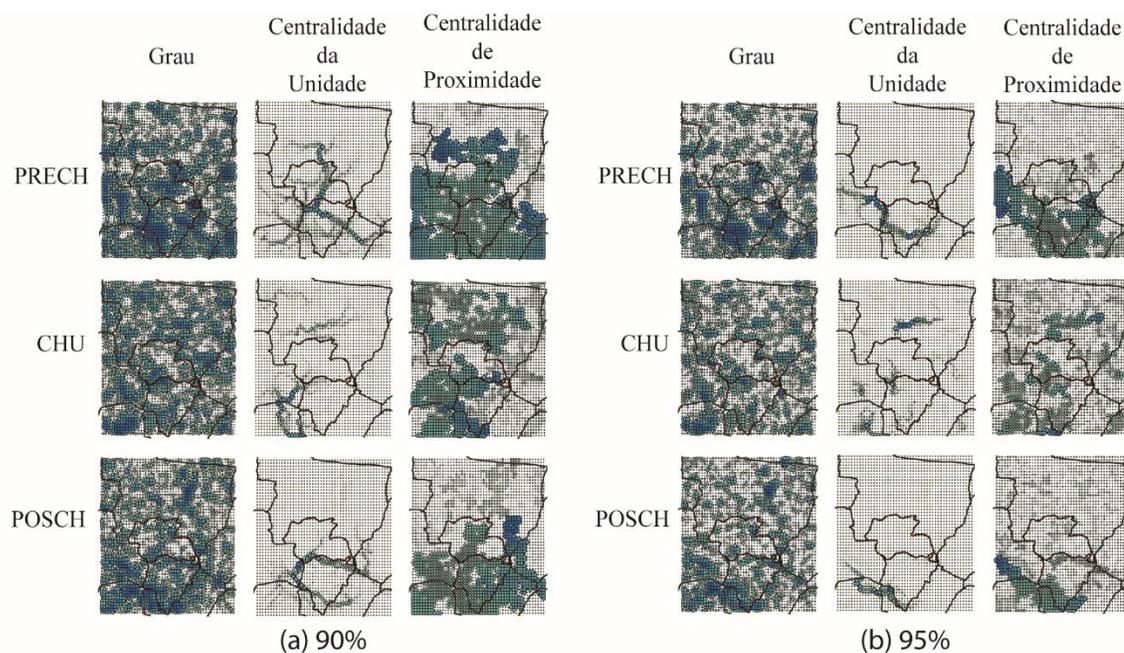


Figura 30 - Medidas de centralidade para arestas nível 1, atraso dinâmico máximo ( $\tau_{\max}$ ) de 3 dias e eventos extremos de percentil: (a) 90 e (b) 95.

Para melhor visualização, ver figuras ampliadas nos ANEXOS 4 (página 91) e 5 (página 92).

Nas Figura 29, a medida da centralidade de proximidade dos percentis 75 (Figura 29a), 80 (Figura 29b) e 85 (Figura 29c), nos períodos PRECH, CHU e POSCH, possui valores elevados em quase toda área de estudo, impossibilitando uma análise das medidas das RCs nesses percentis, devido ao maior número de arestas em relação aos demais percentis, conforme Tabela 4.

Portanto, foram utilizados os percentis 90 e 95, nas próximas análises.

Tabela 4 – Quantidade de arestas nos períodos PRECH, CHU e POSCH, para eventos extremos de precipitação de percentis 75, 80, 85, 90 e 95

<b>Eventos Extremos</b>	<b>PRECH</b>	<b>CHU</b>	<b>POSCH</b>
<b>75%</b>	7113	7361	6863
<b>80%</b>	6222	6250	5807
<b>85%</b>	5218	4985	4701
<b>90%</b>	4373	3911	3757
<b>95%</b>	3505	3007	2891

## 4.2 ATRASO DINÂMICO MÁXIMO

Nas Figura 31 e Figura 32 constam as medidas das RCs, utilizando um atraso dinâmico máximo ( $\tau_{max}$ ) de 2, 3, 4 e 5 dias para cada par de nós, para os percentis 90 e 95, respectivamente. As medidas de centralidades das RCs apresentam o mesmo comportamento nos quatro valores de atraso dinâmico máximo e em ambos percentis.

Portanto, conforme utilizado nos trabalhos de BOERS, BOOKHAGEN *et al.*(2013) e BOERS, RHEINWALT *et al.*(2014), será utilizado o atraso dinâmico máximo de 3 dias nas próximas análises.

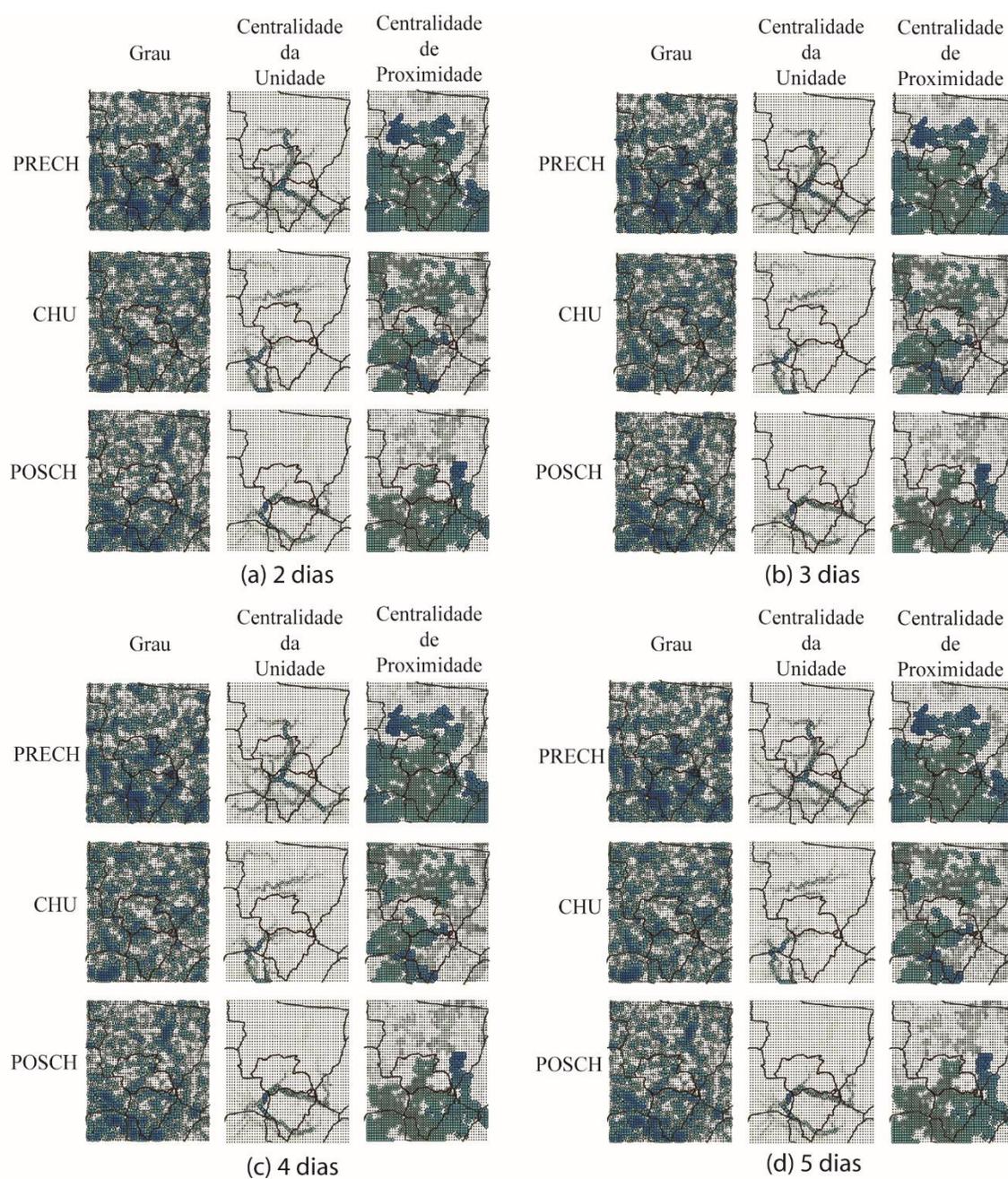


Figura 31 - Medidas de centralidade para eventos extremos de percentil 90, arestas nível 1 e atraso dinâmico máximo ( $\tau_{max}$ ) de: (a) 2 dias, (b) 3 dias, (c) 4 dias e (d) 5 dias. Para melhor visualização, ver figuras ampliadas nos ANEXOS 6 (página 93), 7 (página 94), 8 (página 95) e 9 (página 96).

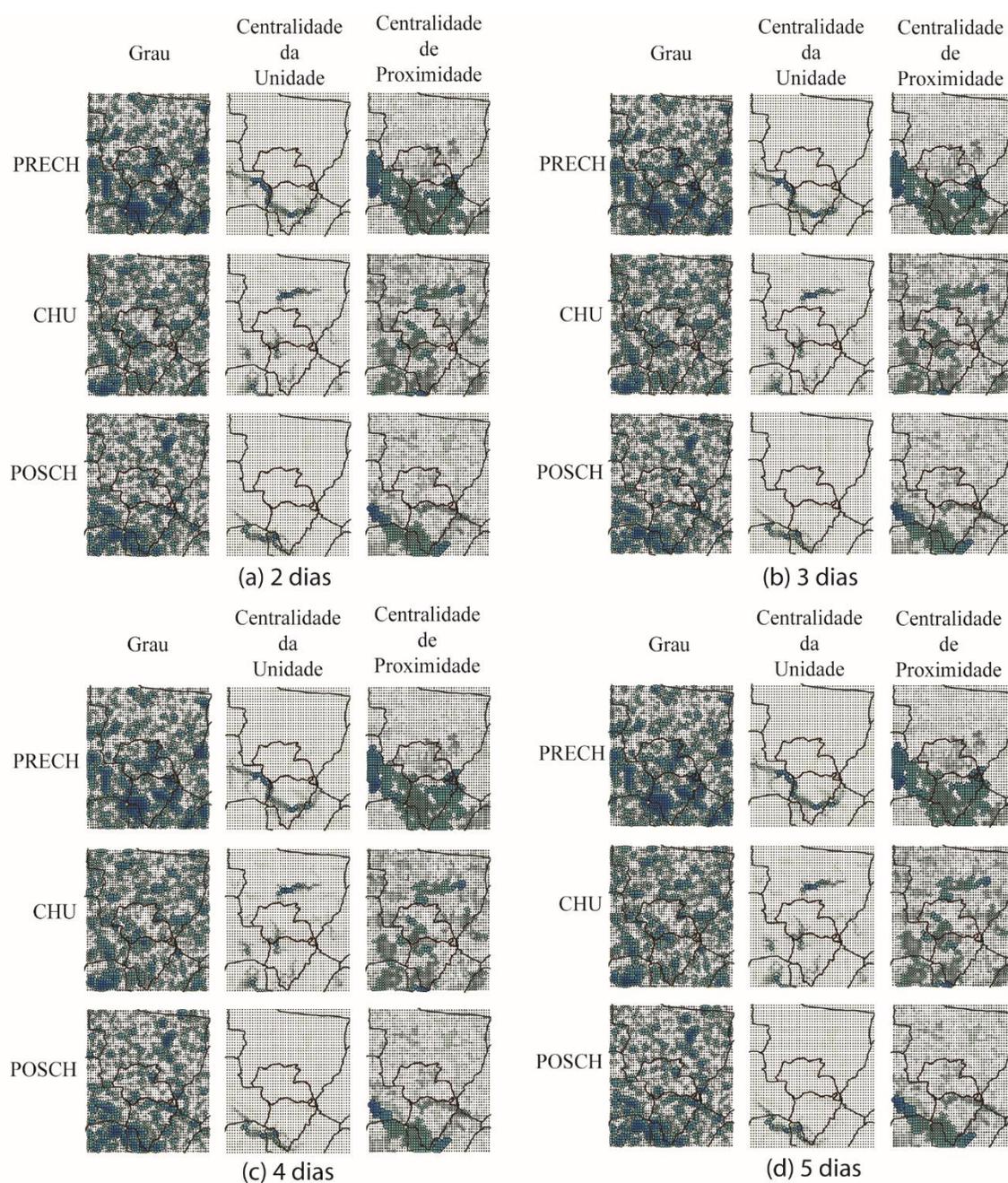


Figura 32 - Medidas de centralidade para eventos extremos de percentil 95, arestas nível 1 e atraso dinâmico máximo ( $\tau_{max}$ ) de: (a) 2 dias, (b) 3 dias, (c) 4 dias e (d) 5 dias. Para melhor visualização, ver figuras ampliadas nos ANEXOS 10 (página 97), 11 (página 98), 12 (página 99) e 13 (página 100).

### 4.3 NÍVEIS DE ARESTAS

Nas Figura 33 e Figura 34 são apresentadas as medidas das RCs, utilizando um atraso dinâmico máximo de 3 dias, para os percentis 90 e 95, respectivamente, nos níveis 1, 2 e 3 de arestas para o cálculo da SE.

Na Figura 33, o índice de centralidade de proximidade, com arestas no nível 3, apresenta valores elevados em toda área de estudo, impossibilitando a análise, devido ao maior número de arestas em relação aos demais níveis, conforme Tabela 5.

Portanto, para as demais análises, foram utilizados os níveis 1 e 2 de arestas para a construção das RCs.

Tabela 5 - Quantidade de arestas nos períodos PRECH, CHU e POSCH, para eventos extremos de precipitação de percentis 90 e 95 e níveis de arestas 1, 2 e 3

	Quant. Máxima de Arestas	PRECH		CHU		POSCH	
		90%	95%	90%	95%	90%	95%
<b>Nível 1</b>	10084	4373	3505	3911	3007	3757	2891
<b>Nível 2</b>	29456	9275	7318	7316	5418	7271	5383
<b>Nível 3</b>	57344	14258	11176	9984	7211	10167	7392

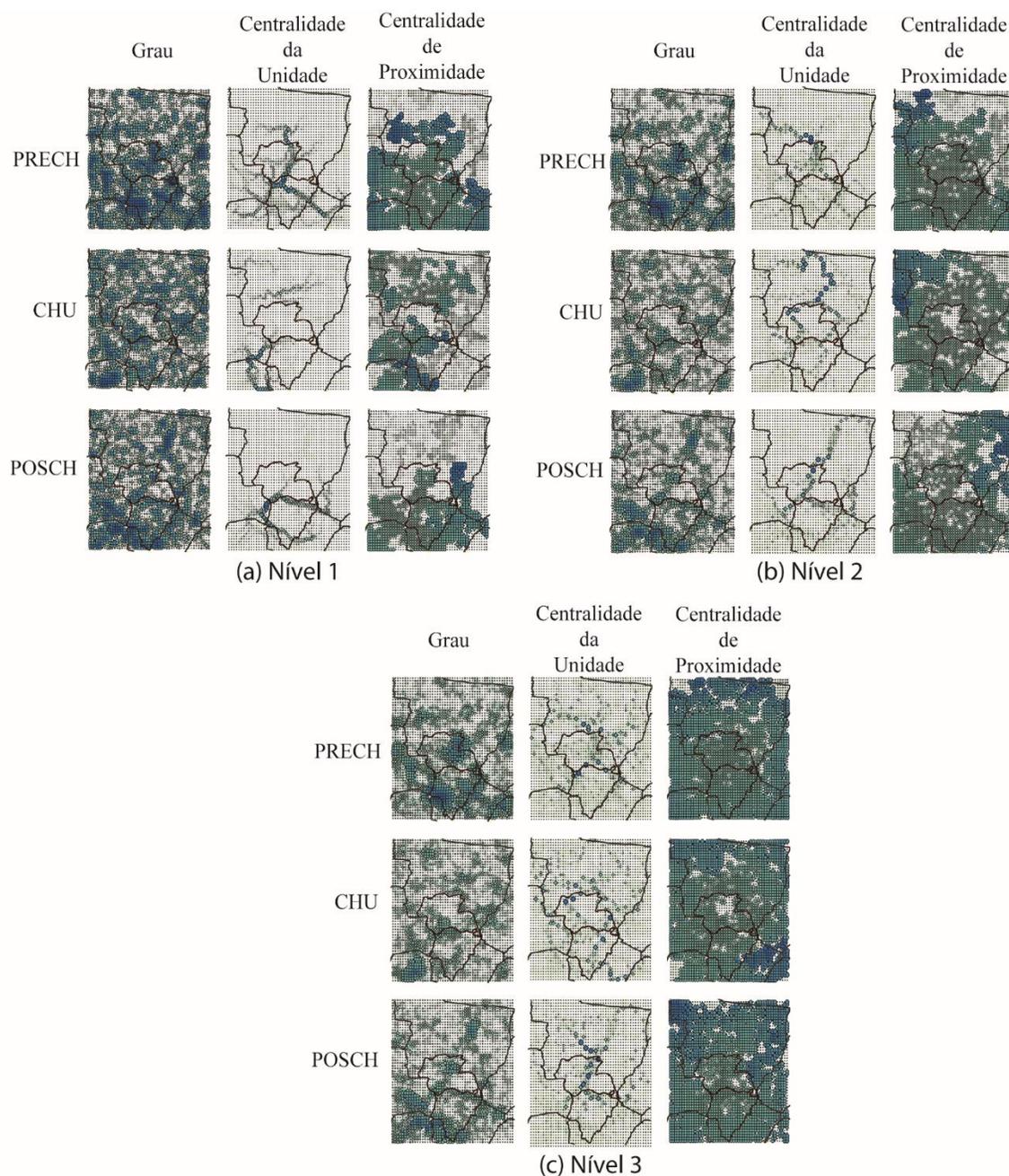


Figura 33 - Medidas de centralidade para eventos extremos de percentil 90, atraso dinâmico máximo ( $\tau_{max}$ ) de 3 dias e arestas: (a) nível 1, (b) nível 2 e (c) nível 3. Para melhor visualização, ver figuras ampliadas nos ANEXOS 14 (página 101), 15 (página 102) e 16 (página 103).

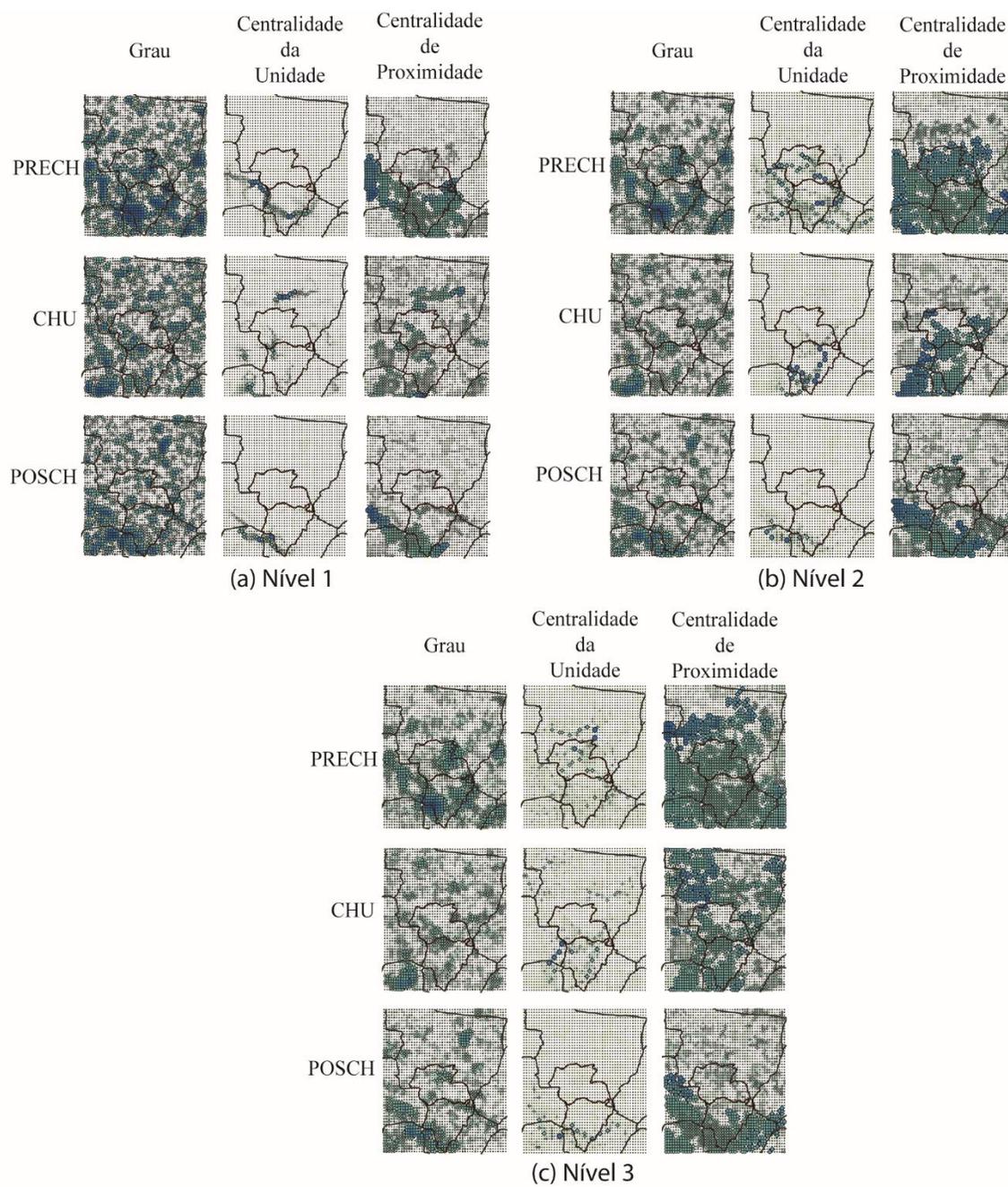


Figura 34 - Medidas de centralidade para eventos extremos de percentil 95, atraso dinâmico máximo ( $\tau_{max}$ ) de 3 dias e arestas: (a) nível 1, (b) nível 2 e (c) nível 3. Para melhor visualização, ver figuras ampliadas nos ANEXOS 17 (página 104), 18 (página 105) e 19 (página 106).

#### 4.4 MEDIDAS DE GRAU

Com arestas no nível 1 e valores extremos de 90% (Figura 35a):

- Período PRECH: os valores elevados de grau estão dispersos por toda área de estudo, com destaque para a Serra da Bodoquenha (Figura 2a), região do Pantanal (Figura 2b) e suas sub-bacias.
- Período CHU: os valores elevados estão dispersos em toda área de estudo.
- Período POSCH: os valores elevados de grau estão dispersos em toda região, destaque para a região sudoeste da área de estudo.

Para arestas no nível 1 e valores extremos de 95% (Figura 35a):

- Período PRECH: os maiores valores estão na região do Pantanal e suas bacias hidrográficas, na Serra da Bodoquenha e a leste da Serra de Maracaju (Figura 2a).
- Período CHU: como no percentil de 90%, os valores estão dispersos em toda área de estudo.
- Período POSCH: os valores elevados também estão dispersos, com destaque para a região sudoeste da área de estudo.

Para arestas no nível 2 e valores extremos de 90% e 95% (Figura 35b):

- Os valores de grau possuem comportamento similares aos gráficos de arestas no nível 1 e valores extremos de 90% e 95% (Figura 35a).

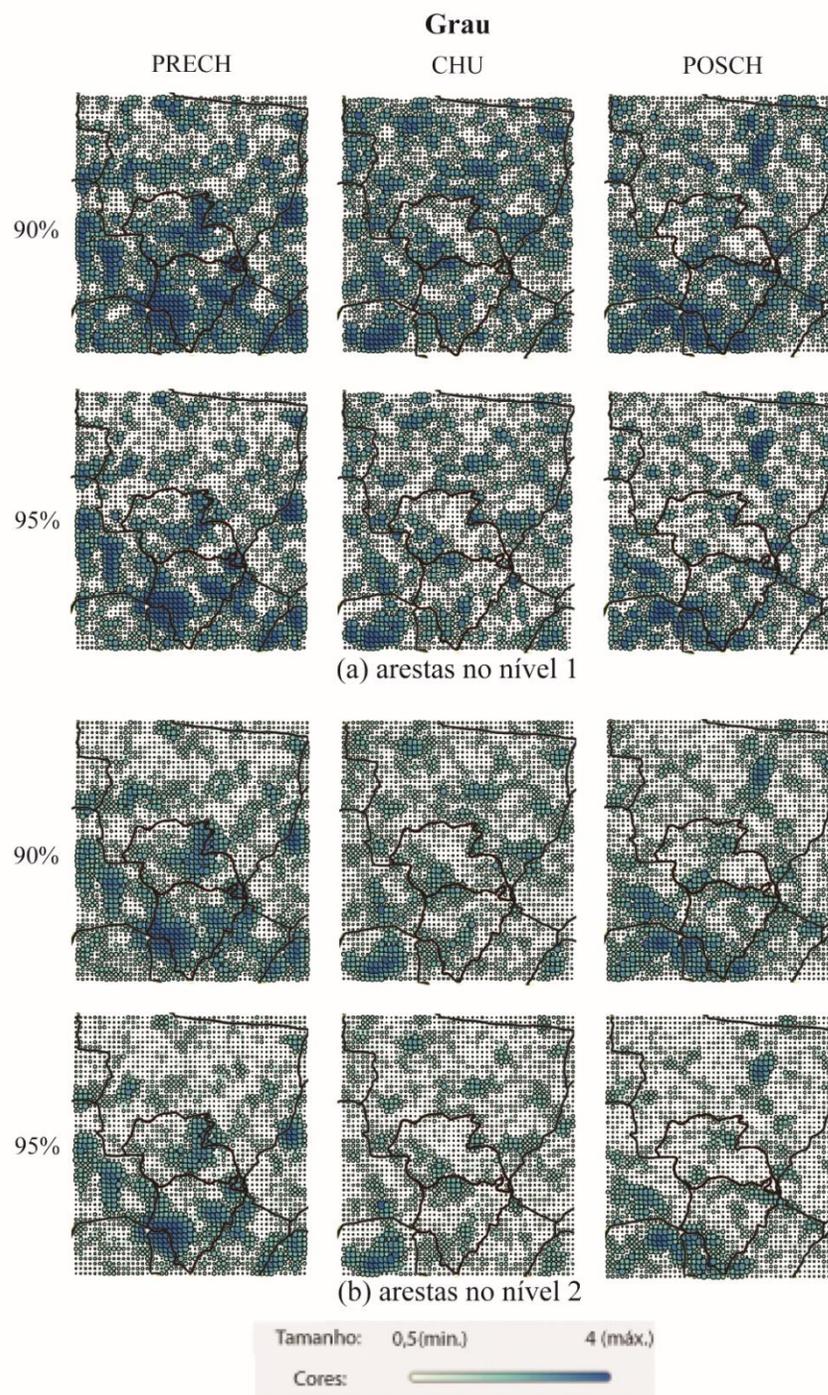


Figura 35 - Medidas do índice de grau para os períodos PRECH, CHU e POSCH, nos eventos extremos de 90% e 95%, com atraso dinâmico de 3 dias e arestas: (a) nível 1 e (b) nível 2. O menor valor possui tamanho de referência 0,5 e cor branca e o maior valor possui tamanho de referência 4 e cor azul escuro. Para melhor visualização, ver figuras ampliadas nos ANEXOS 20 (página 107) e 21 (página 108).

#### 4.5 MEDIDAS DE CENTRALIDADE DA UNIDADE

De acordo com a Figura 36a, para arestas de nível 1 e os valores extremos de 90%, os deslocamentos de precipitação nos períodos:

- PRECH: os maiores valores se concentram na região do Pantanal do estado de MS, nas sub-bacias dos rios Taquari e Aquidauana (Figura 5), passando sobre a Serra de Maracaju (Figura 2a) até o bioma de cerrado (Figura 2b), a sudeste. No estado de MT, os caminhos de precipitação se localizam na divisa dos estados de MT e MS passando sobre as sub-bacias dos rios Cuiabá e São Lourenço (Figura 5) até a Serra dos Caiabis (Figura 1a), com ramificações de menor valor entre a Serra dos Caiabis e Chapada dos Parecis (Figura 1a) e sobre a Chapada dos Guimarães (Figura 1a).
- CHU: os maiores valores se localizam sobre o pantanal na Bolívia e extremo norte do Paraguai e, com menos intensidade, na região do Pantanal entre as divisas dos Estados de MT e MS e, também, biomas de cerrado e floresta amazônica (Figura 1b) sobre a Chapada dos Parecis até a Serra Formosa (Figura 1a), ao norte do estado de MT.
- POSCH: os maiores valores estão nas regiões do pantanal boliviano e entre as divisas dos estados de MT e MS. À leste, nas sub-bacias dos rios Miranda e Aquidauana (Figura 5), e bioma de cerrado. E na região sul-sudeste, passando sobre a Serra da Bodoquenha (Figura 2a), nas sub-bacias dos rios Correntes e Taquari (Figura 5), e bioma de cerrado.

Para arestas de nível 1 e os valores extremos de 95% (Figura 36a), os deslocamentos de precipitação nos períodos:

- PRECH: apresenta valores elevados na região do pantanal boliviano e sul mato-grossense. Ao sul-sudeste, passando sobre a Serra da Bodoquenha e nas regiões das sub-bacias dos rios Miranda, Aquidauana e Taquari.
- CHU: os maiores valores estão localizados nos biomas de cerrado e floresta amazônica, na região abaixo da Serra dos Caiabis até a Serra do Roncador (Figura 1a), entre as divisas dos estados de MT e MS, na região central, no extremo norte do

Paraguai e extremo leste da Bolívia. Valores com menos intensidade na sub-bacia do rio Miranda.

- POSCH: os valores elevados se concentram na região sul-sudoeste da área de estudo, ao norte do Paraguai, sul do Pantanal, passando sobre a Serra da Bodoquenha até a sub-bacia do rio Miranda.

Conforme demonstrado na Figura 36b, para arestas de nível 2 e os valores extremos de 90%, os deslocamentos de precipitação nos períodos:

- PRECH: os maiores valores estão localizados na região central do estado de MT, entre a Chapada dos Parecis e a Serra dos Caiabis, até as sub-bacias dos rios Paraguai e Cuiabá, no bioma de cerrado. Valores menos intensos nas sub-bacias dos rios Cuiabá, São Lourenço, Correntes e Taquari.
- CHU: os maiores valores estão localizados no centro-norte do estado de MT, entre a Serra dos Caiabis e a Serra Formosa, nos biomas de cerrado e floresta amazônica e na sub-bacia do rio Paraguai. Valores com menos intensidade em todo Pantanal, na sub-bacia do rio São Lourenço e a leste de MT, no bioma de cerrado.
- POSCH: os maiores valores estão localizados no pantanal mato-grossense, na sub-bacia do rio Cuiabá, e no centro-norte do estado de MT, na Serra Formosa, em biomas de cerrado e floresta amazônica. Com valores menos intensos no leste da Bolívia e a leste da área de estudo, nas sub-bacias dos rios Correntes e Taquari e região de cerrado.

Para arestas de nível 2 e os valores extremos de 95% (Figura 36b), os deslocamentos de precipitação nos períodos:

- PRECH: os valores elevados estão localizados na região centro-sul da área de estudo, nas sub-bacias dos rios Paraguai, Cuiabá, São Lourenço, Correntes e Taquari. E valores menos intensos ao leste da Bolívia, norte do Paraguai e região leste do estado de MS, cruzando a Serra de Maracaju até a região de Mata Atlântica no estado de São Paulo.
- CHU: os valores elevados estão localizados na região sul da área de estudo, na região do Pantanal sul mato-grossense, na Serra da Bodoquenha e nas sub-bacias dos rios

Correntes, Taquari, Aquidauana e Miranda. E valores menos intensos ao norte do Paraguai e sul do estado de MT, nas sub-bacias dos rios Correntes e São Lourenço.

- POSCH: os valores elevados estão localizados na região sudoeste da área de estudo, no extremo norte do Paraguai e leste do estado de MS, na Serra da Bodoquenha. Valores menos intensos estão localizados nas sub-bacias dos rios Miranda e Aquidauana, e a leste do estado de MS, no bioma de cerrado.

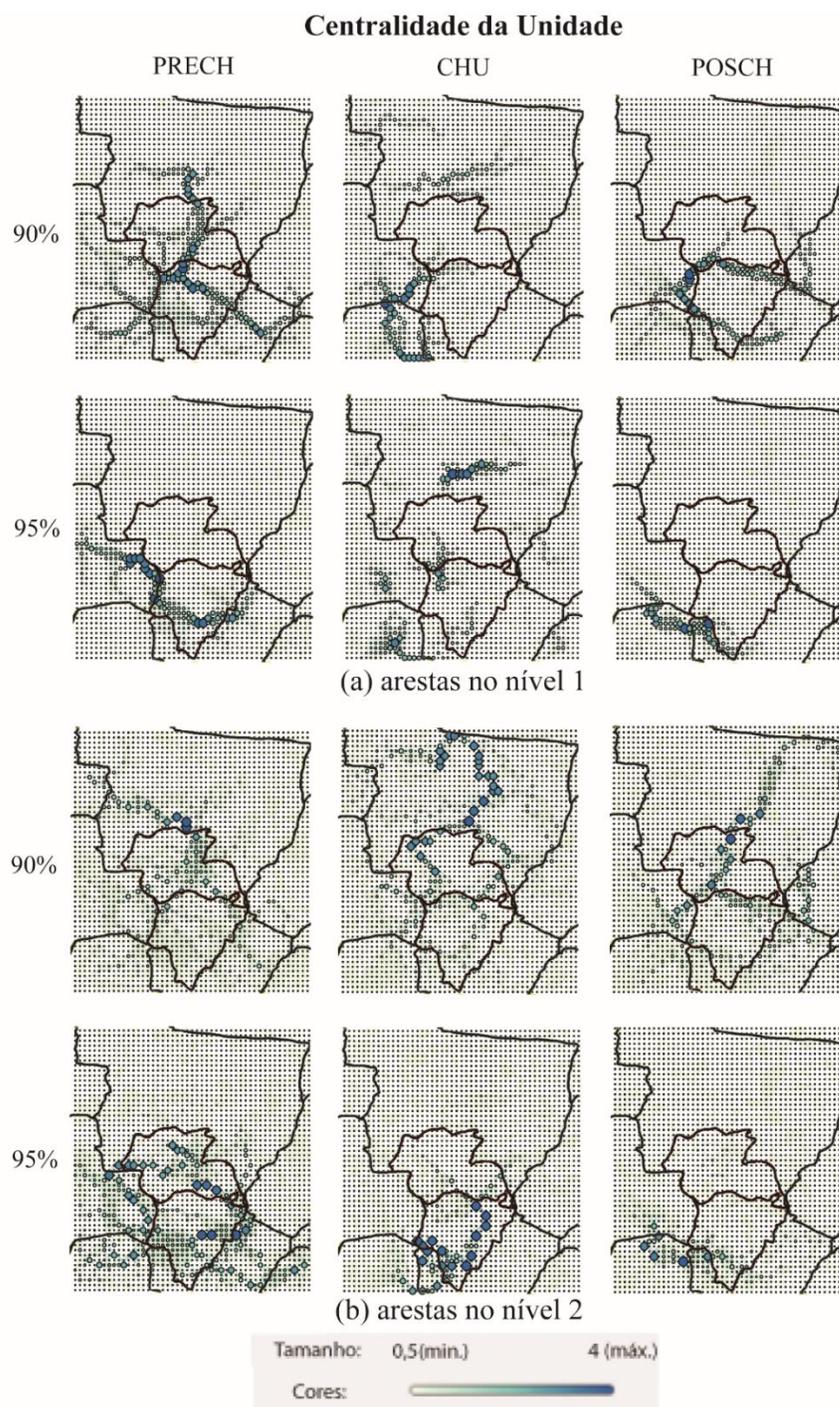


Figura 36 - Medidas da centralidade da unidade para os períodos PRECH, CHU e POSCH, nos eventos extremos de 90% e 95%, com atraso dinâmico de 3 dias e arestas: (a) nível 1 e (b) nível 2. O menor valor possui tamanho de referência 0,5 e cor branca e o maior valor possui tamanho de referência 4 e cor azul escuro.

Para melhor visualização, ver figuras ampliadas nos ANEXOS 22 (página 109) e 23 (página 110).

#### 4.6 MEDIDAS DE CENTRALIDADE DE PROXIMIDADE

Conforme Figura 37a, para arestas de nível 1 e eventos extremos de 90%, os locais com maiores possibilidades de precipitação nos períodos:

- PRECH: os valores elevados situam-se no centro-norte do estado de MT, da Chapada dos Parecis até a Serra Formosa, ao norte, e Serra do Roncador, a leste, em biomas de cerrado e floresta amazônica, todas as sub-bacias e toda região sul da área de estudo, que abrange o Pantanal e o bioma de cerrado no sudoeste do estado de MS.
- CHU: os valores elevados estão distribuídos em grande parte da área de estudo, em destaque, ao sul, no pantanal, Serra da Bodoquenha e sub-bacia do rio Miranda. Na região central, na sub-bacia do rio Correntes e no Pantanal, na divisa dos estados de MT e MS. Além disso, nos biomas de cerrado e floresta amazônica no centro-norte do estado de MT, sobre a Chapada dos Parecis, Serra dos Caiabis, Serra Formosa e Chapada dos Guimarães.
- POSCH: os valores elevados localizam-se na maior parte da região centro-sul da área de estudo, abrangendo as bacias dos rios Paraguai, Cuiabá, Correntes, Taquari, Aquidauana e Miranda, sobre a Serra de Maracaju, bioma de cerrado a sudeste do estado de MT e a leste do estado de MS. Valores menos elevados em grande parte do Pantanal, leste da Bolívia e norte do Paraguai.

Para arestas nível 1 e eventos extremos de 95% (Figura 37a), os locais com maiores possibilidades de precipitação nos períodos:

- PRECH: os valores elevados situam-se a leste da Bolívia, norte do Paraguai, na região centro-sul do Pantanal, nas sub-bacias dos rios Correntes, Taquari, Aquidauana e Miranda, na Serra de Maracaju, e região de cerrado no sudeste do estado de MS.
- CHU: os valores elevados situam-se no centro do estado de MT, sobre a Serra do Roncador e ao sul das serras dos Caiabis e Formosa, nos biomas de cerrado e floresta amazônica. Também nas regiões centro-sul do Pantanal, leste da Bolívia, norte do Paraguai, e na região da Serra da Bodoquenha. Verifica-se que há valores com menor intensidade dispersos em quase toda área de estudo, assim como no percentil de 90%.

- POSCH: os valores elevados situam-se ao leste da Bolívia, norte de Paraguai, sul do Pantanal, nas sub-bacias dos rios Miranda e Aquidauana e na Serra da Bodoquenha. E com menor intensidade na divisa entre os estados de MT e MS e nas sub-bacias dos rios Correntes e Taquari.

Conforme Figura 37b, para arestas de nível 2 e eventos extremos de 90%, os locais com maiores possibilidades de precipitação nos períodos:

- PRECH: os valores elevados estão em quase toda área de estudo, exceto na região norte e nordeste do estado de MT.
- CHU: os valores elevados estão em quase toda área de estudo, exceto na região nordeste do estado de MT e leste do estado de MS.
- POSCH: os valores elevados estão em quase toda área de estudo, exceto na região noroeste do estado de MT.

Para arestas nível 2 e eventos extremos de 95% (Figura 37b), os locais com maiores possibilidades de precipitação nos períodos:

- PRECH: os valores elevados estão localizados no centro-sul da área de estudo, em destaque no estado do MT, o pantanal mato-grossense, as bacias dos rios Paraguai, Cuiabá, São Lourenço e Correntes e regiões da Chapada dos Guimarães e Serra da Petrovina, em bioma de cerrado. E no estado de MS, o extremo leste, nos biomas de cerrado e Mata Atlântica.
- CHU: os valores elevados estão localizados ao leste da Bolívia, norte do Paraguai, todo Pantanal brasileiro, nas sub-bacias dos rios Paraguai, São Lourenço, Correntes, Aquidauana e Miranda, e nas regiões da Chapada dos Guimarães e na Serra da Petrovina, no bioma de cerrado a sudeste do estado de MT.
- POSCH: os valores elevados estão localizados a leste da Bolívia, norte do Paraguai, pantanal sul mato-grossense, sub-bacias dos rios Miranda, Aquidauana, Taquari, Correntes, Cuiabá e Paraguai, no centro do estado de MT no bioma de cerrado, na Serra de Maracaju, nos biomas de cerrado e Mata Atlântica, a leste do estado de MS.

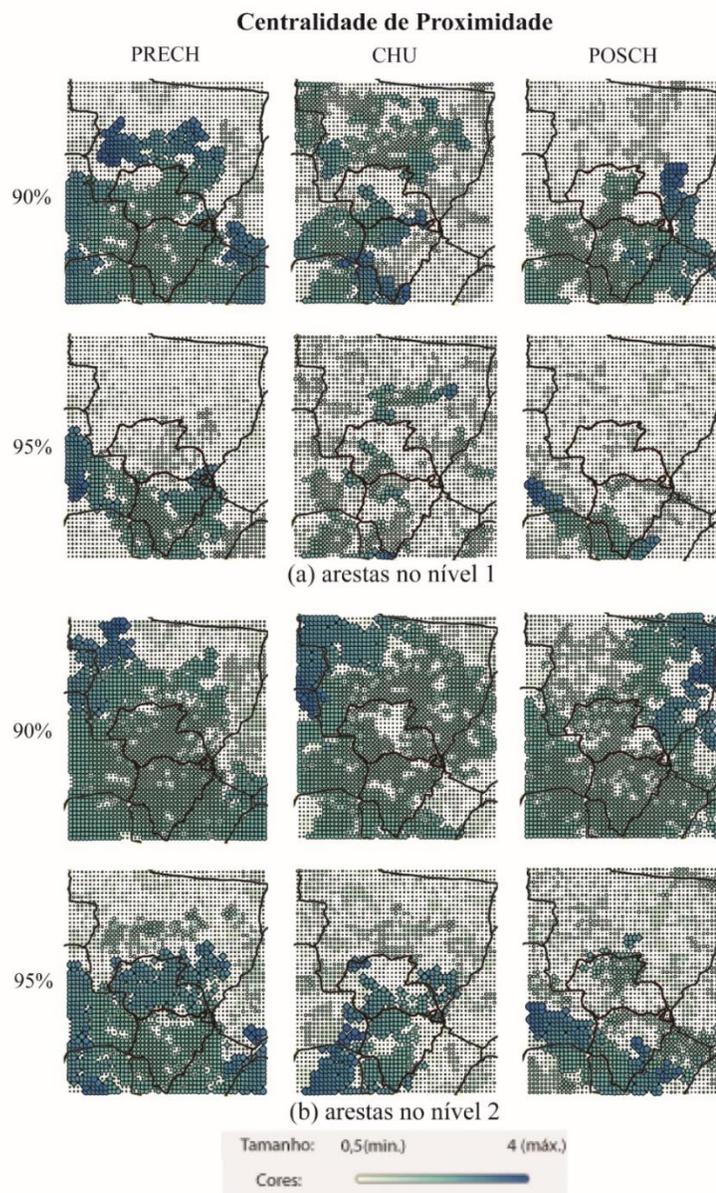


Figura 37 - Medidas da centralidade de proximidade para os períodos PRECH, CHU e POSCH, nos eventos extremos de 90% e 95%, com atraso dinâmico de 3 dias e arestas: (a) nível 1 e (b) nível 2. O menor valor possui tamanho de referência 0,5 e cor branca e o maior valor possui tamanho de referência 4 e cor azul escuro. Para melhor visualização, ver figuras ampliadas nos ANEXOS 24 (página 111) e 25 (página 112).

## **4.7 DISCUSSÃO**

A seguir, serão apresentadas as discussões dos períodos em estudo, indicando a melhor representação gráfica.

### **4.7.1 PERÍODO PRECH**

Conforme as medidas estudadas, no período PRECH, o sistema atmosférico ZCAS, que é o deslocamento de sistemas equatoriais para o sul, é melhor representado pelo gráfico de eventos extremos de 90% com nível de arestas 1 (Figura 36a), pois apresenta uma configuração de deslocamento de precipitação compatível com a região. Outro sistema atmosférico na região é o SALLJ, que percorre do leste da Cordilheira dos Andes até o sul do Brasil, e seu deslocamento pode ser representado pelos quatro gráficos apresentados na Figura 36.

Os locais com maiores possibilidades de precipitação no período PRECH, correspondem aos gráficos de eventos extremos de 90% com nível de arestas 1 e 2 (Figura 37).

### **4.7.2 PERÍODO CHU**

No período CHU, ocorre o período com o maior volume de chuvas em toda região, onde os sistemas atmosféricos ZCAS e SALLJ atuam com maior intensidade, levando a elevada umidade da região equatorial em direção ao sul do Brasil. O deslocamento do ZCAS é melhor representado pelo gráfico com evento extremo de 90% e nível de arestas 2 (Figura 36b). E o deslocamento do SALLJ pode ser representado pelos quatro gráficos apresentados na Figura 36.

Os locais com maiores possibilidades de precipitação no período CHU, corresponde aos gráficos de eventos extremos de 90% com nível de arestas 1 e 2 (Figura 37).

### **4.7.3 PERÍODO POSCH**

No período POSCH, ocorre a diminuição do movimento atmosférico para o sul do Brasil dos sistemas ZCAS e SALLJ, conseqüentemente diminuindo as precipitações, principalmente na região norte da área de estudo, e o deslocamento do ZCAS pode ser representado pelo gráfico de eventos extremos de 90% e nível de arestas 2 (Figura 36b). E o deslocamento do SALLJ pode ser representado pelos quatro gráficos apresentados na Figura 36.

Os locais com maiores possibilidades de precipitação no período PRECH, corresponde ao gráfico de eventos extremos de 90% com nível de arestas 2 (Figura 37b).

## 5 CONCLUSÕES

Neste trabalho, foi analisado a precipitação na área de estudo, com a utilização de RCs, a partir de dados obtidos do satélite TRMM, no qual foi obtida a série-temporal de cada nó da rede. Por meio do sincronismo de eventos extremos utilizando a correlação não-linear SE, foram obtidas as arestas de cada par de nós, finalizando a construção das RCs.

Na sequência, foram calculados e obtidos os gráficos de três medidas de centralidade de RCs: grau, centralidade de unidade e centralidade de proximidade.

Deste modo, foram analisados os padrões espaciais dessas medidas, nos períodos PRECH (outubro e novembro), CHU (dezembro, janeiro e fevereiro) e POSCH (março e abril), para atraso dinâmico máximo de 3 dias, eventos extremos de precipitação de percentil 90 e 95 e níveis de arestas 1 e 2.

Os sistemas atmosféricos atuantes na região durante o período chuvoso são o ZCAS e SALLJ. Onde, o ZCAS carrega a umidade da Amazônia no noroeste para a região sudeste da América do Sul passando sobre a área de estudo, causando a precipitação sobre a região. E o SALLJ carrega a umidade da Amazônia no noroeste da América do Sul percorrendo o leste da Cordilheira dos Andes, passando pela região sudoeste da área de estudo, até a região sul do continente. De acordo com as medidas de centralidades das RCs obtidas, os gráficos para atraso dinâmico de 3 dias, eventos extremos de 90% e níveis de arestas 1 e 2, representam melhor o comportamento do deslocamento e precipitação na região, em todos os períodos.

Desse modo, apesar da grande área de estudo e séries temporais envolvendo vários anos, as RCs representam de forma gráfica, os eventos que ocorrem em diferentes regiões espaciais, possibilitando o estudo da propagação e interação de eventos extremos, demonstrando que essa técnica pode ser utilizada como uma nova ferramenta para estudo de sistemas climáticos, em período chuvoso.

## 5.1 CONTRIBUIÇÕES

Por meio deste trabalho, destacam-se as seguintes contribuições:

- Montagem de RCs em uma representação espaço-temporal, com uma base de dados de aproximadamente 14 anos, com a aplicação de sincronismo de eventos extremos entre séries temporais de precipitação;
- Aplicação de medidas de centralidade de RCs no estudo da precipitação, no período chuvoso, que permitem ao pesquisador, a análise do comportamento das RCs na área de estudo;
- Representação gráfica das medidas de RCs, que permite uma análise visual dos deslocamentos e precipitações na área de estudo, facilitando o entendimento dos resultados das medidas de centralidade obtidas;
- Analisar o comportamento dos eventos extremos de precipitação nos períodos PRECH, CHU e POSCH, permitindo ao pesquisador analisar a precipitação em diversas fases do período de chuvoso.

## 5.2 TRABALHOS FUTUROS

Os resultados obtidos permitem estudos que contribuam no avanço das análises climáticas da região. Dessa forma, recomenda-se que:

- Uso de análise multivariada, como temperatura e intensidade solar, dados de relevo e ocupação do solo, para verificar a influência de outros elementos nos resultados;
- Sejam utilizados dados de satélite TRMM que cubram todo o território brasileiro, possibilitando aplicar na análise do comportamento da precipitação em áreas mais extensas;
- Utilização de RCs para o estudo do período de estiagem nas bacias hidrográficas, pois, o período de seca influencia diretamente na economia da região, assim como o período chuvoso;

- Criação de visualização espaço-temporal da expansão/compressão da RC;
- Uso de RCs utilizando dados de mudanças de vegetação em larga escala, resultantes de desmatamento e/ou redução das chuvas, para simulação e previsão da estabilidade ou perda florestal em períodos futuros.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACHLIOPTAS, D. et al. On the Bias of Traceroute Sampling; or, Power-law Degree Distributions in Regular Graphs. **Journal of the ACM (JACM)**, New York, NY, USA, 56, n. 4, Jun. 2009. Disponível em: <<https://dl.acm.org/citation.cfm?doid=1538902.1538905>>. Acesso em: 23 maio 2018.

ALBERT, R.; BARABÁSI, A.-L. Statistical mechanics of complex networks. **Reviews of Modern Physics**, Notre Dame, 74, 30 Jan. 2002.

ANTHONISSE, J. M. The Rush in a Directed Graph. **Stichting Mathematisch Centrum. Mathematische Besliskunde**, Amsterdam, 9, 1971. Disponível em: <<http://www.citeulike.org/user/dheerajrav/article/8254181>>. Acesso em: 16 maio 2018.

ARENAS, A. et al. Synchronization in complex networks. **Physics Reports**, v. 469, n. 3, p. 93-153, Dec. 2008. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0370157308003384>>. Acesso em: 21 maio 2018.

BARTHÉLEMY, M. Betweenness centrality in large complex networks. **The European Physical Journal B**, 14 May. 2004. 163–168.

BASTIAN, M.; HEYMANN, S.; JACOMY, M. Gephi: An Open Source Software for Exploring and Manipulating Networks. **Third International ICWSM Conference**, 2009.

BIUDES, M. S. et al. Patterns of energy exchange for tropical ecosystems across a climate gradient in Mato Grosso, Brazil. **Agricultural and Forest Meteorology**, 202, 15 Mar. 2015. 112-124. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168192314003189>>. Acesso em: 15 jun. 2018.

BOCCALETTI, et al. Complex networks: Structure and dynamics. **Physics Report**, v. 424, n. 4-5, p. 175-308, Jan. 2006.

BOERS, N. et al. Complex networks identify spatial patterns of extreme rainfall events of the South American Monsoon System. **Geophysical Research Letters**, v. 40, n. 16, p. 4386-4392, 28 Aug. 2013.

- BOERS, N. et al. The South American rainfall dipole: A complex network analysis of extreme events. **Geophysical Research Letters**, v. 41, n. 20, p. 7397-7405, 28 Oct. 2014.
- BORBA, E. M. **Medidas de Centralidade em Grafos e Aplicações em redes de dados**. Dissertação (Mestrado em Matemática Aplicada) Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Instituto de Matemática - Programa de Pós-Graduação em Matemática Aplicada. Porto Alegre. 2013.
- BRANDÃO, W. C.; PARREIRAS, F. S. **Uma Abordagem Baseada em Métricas de Redes Complexas para o Estabelecimento do Grau de Influência de Termos em Documentos**. XI Encontro Nacional de Pesquisa em Ciência da Informação. [S.l.]: [s.n.]. 2010.
- BRANDES, U. A Faster Algorithm for Betweenness Centrality. **Journal of Mathematical Sociology**, 25, 2001. 163-177.
- BRANDES, U.; KENIS, P.; WAGNER, D. **Centrality in Policy Network Drawings**. Graph drawing international symposium. Berlin: Springer. 1999. p. 250-258.
- BRASIL. Agência Nacional de Águas. **Implementação de Práticas de Gerenciamento Integrado de Bacia Hidrográfica para o Pantanal e Bacia do Alto Paraguai ANA/GEF/PNUMA/OEA**. Agência Nacional de Águas – ANA. Brasília, p. 316. 2004.
- BRITO, S. G. D. A. **Papel da dimensionalidade em redes complexas: conexões com a mecânica estatística não-extensiva**. Tese (Doutorado em Física) Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Ciências Exatas e da Terra. Programa de Pós-Graduação em Física. Natal. 2017.
- BUTTS, C. T. Social Network Analysis with sna. **Journal of Statistical Software**, v. 24, n. 6, Feb. 2008.
- CABRAL, R. D. S. **Estudo da Variabilidade de Medidas em Redes Complexas**. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) Universidade Federal de Minas Gerais - Escola de Engenharia - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. Belo Horizonte. 2013.
- CALHEIROS, D. F.; OLIVEIRA, M. D. D. O Rio Paraguai e sua Planície de Inundação do Pantanal Mato-Grossense. **Revista Ciência & Ambiente** 41, v. 41, n. 1, p. 113-130, Jul./Dez. 2010.

- CARDOSO, M. R. D.; MARCUZZO, F. F. N. **Mapeamento de três decênios da precipitação pluviométrica total e sazonal do bioma Pantanal**. [S.l.]: [s.n.]. 2010. Repositório Institucional de Geociências - Produção Científica - Trabalhos apresentados em eventos.
- CARVALHO, A. M. **Dinâmica de Doenças Infecciosas em Redes Complexas**. Tese (Doutorado em Física) Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Física. Programa de Pós-Graduação em Física. Porto Alegre. 2012.
- CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; LIEBMANN, B. The South Atlantic Convergence Zone: Intensity, Form, Persistence, and Relationships with Intraseasonal to Interannual Activity and Extreme Rainfall. **Journal of Climate**, v. 17, n. 1, p. 88-108, jan. 2004. Acesso em: 12 set. 2018.
- CASTRO, P. A. D. **Rede Complexa e Criticalidade Auto-Organizada: Modelos e Aplicações** -. Tese (Doutorado em Ciências: Física Básica) Universidade de São Paulo - Instituto de Física de São Carlos - Departamento de Física e Informática. [S.l.]. 2007.
- CHENA, D. et al. Identifying influential nodes in complex networks. **Physica A**, v. 391, p. 1777-1787, 2 out. 2011.
- CHERVEN, K. **Network Graph Analysis and Visualization with Gephi**. Birmingham: Packt Publishing Ltd., 2013.
- CHERVEN, K. **Mastering Gephi Network Visualization**. Birmingham: Packt Publishing Ltd., 2015.
- COHEN, R.; HAVLIN, S. **Complex Networks: Structure, Robustness and Function**. New York: Cambridge University Press, 2010. Disponível em: <<https://www.cambridge.org/core/books/complex-networks/97986C242A6F1D8668A5E0E9194B53EC>>. Acesso em: 07 maio 2018.
- COLLISCHONN, B. et al. Desempenho do Satélite TRMM na Estimativa de Precipitação sobre a Bacia do Paraguai Superior. **Revista Brasileira de Cartografia**, 59, n. 1, Abr. 2007. Disponível em: <<http://www.lsie.unb.br/rbc/index.php/rbc/article/view/302>>. Acesso em: 29 jun. 2018.

- COSTA, L. D. F. et al. Characterization of complex networks: A survey of measurements. **Advances in Physics**, Abingdon, 56, n. 1, Feb. 2007. 167–242. Disponível em: <<https://arxiv.org/abs/cond-mat/0505185>>. Acesso em: 18 maio 2018.
- DONGES, J. F. et al. The backbone of the climate network. **EPL (Europhysics Letters)**, 87, n. 4, 8 Sep. 2009a. Disponível em: <<http://iopscience.iop.org/article/10.1209/0295-5075/87/48007>>. Acesso em: 21 maio 2018.
- DONGES, J. F. et al. Complex networks in climate dynamics. **Eur. Phys. J. Special Topics**, v. 174, p. 157–179, 2009b.
- DOROGOVTSEV, S. N.; MENDES, J. F. F. Evolution of networks. **Advances in Physics**, 51, n. 4, 2002. 67. Disponível em: <<https://arxiv.org/abs/cond-mat/0106144>>. Acesso em: 14 maio 2018.
- DWYER, T. et al. **Visual Analysis of Network Centralities**. APVis '06 Proceedings of the 2006 Asia-Pacific Symposium on Information Visualisation. Tokyo: [s.n.]. 2006. p. 189-197.
- ELLISON, N. B.; STEINFELD, C.; LAMPE, C. The Benefits of Facebook “Friends:” Social Capital and College Students’ Use of Online Social Network Sites. **Journal of Computer-Mediated Communication**, 12, n. 4, 1 Jul. 2007. 1143–1168. Disponível em: <<https://academic.oup.com/jcmc/article/12/4/1143/4582961>>. Acesso em: 23 maio 2018.
- ERDŐS, P.; RÉNYI, A. On Random Graphs. I. **Publicationes Mathematicae**, v. 6, p. 290-297, 1959. Disponível em: <<https://gnunet.org/node/1644>>. Acesso em: 22 out. 2018.
- FIGUEIREDO, D. R. Introdução a Redes Complexas. In: A.F., J. M. W. **Atualizações em Informática 2011**. Rio de Janeiro: PUC-Rio, 2011. p. 303--358.
- FREEMAN, L. C. A Set of Measures of Centrality Based on Betweenness. **Sociometry**, 40, n. 1, Mar. 1977. 35-41. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/3033543>>. Acesso em: 16 maio 2018.
- FREEMAN, L. C. Centrality in Social Networks Conceptual Clarification. **Social Networks**, v. 1, n. 3, p. 215-239, 1978/79.
- FREITAS, A. C. D. et al. Clima. In: GUIMARÃES, E.; TREVELIN, C. C.; MANOEL, P. S. **Pantanal: paisagens, flora e fauna**. 1. ed. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2015. p. 15-20.

- GAN, M. A.; KOUSKY, V. E.; ROPELEWSKI, C. F. The South America Monsoon Circulation and Its Relationship to Rainfall over West-Central Brazil. **Journal of Climate**, 17, n. 1, Jan. 2004.
- HUFFMAN, G. J. et al. The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-Global, Multiyear, Combined-Sensor Precipitation Estimates at Fine Scales. **Journal of Hydrometeorology**, v. 8, n. 1, Fev. 2007. Acesso em: 29 out. 2018.
- KHOKHAR, D. **Gephi Cookbook**. Birmingham: Packt Publishing Ltd., 2015.
- LEHMANN, K. A.; KAUFMANN, M. Decentralized algorithms for evaluating centrality in complex networks. **Technical Report of the Wilhelm-Schickard-Institut**, Oct. 2003.
- MALIK, ; MARWAN, ; KURTHS,. Spatial structures and directionalities in Monsoonal precipitation over South Asia. **Nonlinear Processes in Geophysics**, v. 17, n. 5, p. 371-381, 1 Sep. 2010.
- MALIK, N. **Extremes in events and dynamics : a nonlinear data analysis perspective on the past and present dynamics of the Indian summer monsoon**. Tese (Doutorado em Ciências Naturais) Universität Potsdam. [S.l.]. 2012.
- MALIK, N. et al. Analysis of spatial and temporal extreme monsoonal rainfall over South Asia using complex networks. **Climate Dynamics**, v. 39, n. 3-4, p. 971-987, Aug. 2011.
- MARCUZZO, F. F. N. Distribuição Espacial da Sazonalidade da Precipitação Pluviométrica no Mato Grosso do Sul e Estudo de Anomalias Interanual. **Acta Geográfica**, Boa Vista, 8, n. 16, Jan./Mar. 2014. 22-39. Disponível em: <<https://revista.ufrr.br/actageo/article/view/1366>>. Acesso em: 19 jul. 2018.
- MARCUZZO, F. F. N. et al. **Chuvvas no Pantanal brasileiro**: análise histórica e tendência futura. Anais 3º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal. Cáceres, MT: Embrapa Informática Agropecuária/INPE. 2010. p. 170 -180.
- MARCUZZO, F. F. N.; ROCHA, H. M.; MELO, D. C. R. Mapeamento da Precipitação Pluviométrica no Bioma Pantanal do Estado do Mato Grosso. **Geoambiente On-Line**, Jatai, v. 16, Jan-Jun 2011. Disponível em: <[www2.jatai.ufg.br/ojs/index.php/geoambiente](http://www2.jatai.ufg.br/ojs/index.php/geoambiente)>.

- MARENGO, J. A. et al. Climatology of the Low-Level Jet East of the Andes as Derived from the NCEP–NCAR Reanalyses: Characteristics and Temporal Variability. **Journal of Climate**, 17, n. 12, Jun. 2004. 2261–2280. Acesso em: 18 jun. 2018.
- MARENGO, J. A. et al. Review Recent developments on the South American monsoon system. **International Journal of Climatology**, 1, Jan. 2012. 1 - 21.
- MARWAN, N.; KURTHS, J. Complex network based techniques to identify extreme events and (sudden) transitions in spatio-temporal systems. **Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science**, v. 25, n. 9, Apr. 2015.
- MIRSHAHVALLAD,. **Organization of information pathways in complex networks**. (Doctoral Thesis) Umea University - Department of Physics. Umea, Sweden. 2013.
- NEWMAN, M. E. J. Scientific collaboration networks. II. Shortest paths, weighted networks, and centrality. **Physical Review E**, 64, 28 Jun. 2001. Disponível em: <<https://journals.aps.org/pre/abstract/10.1103/PhysRevE.64.016132>>. Acesso em: 14 maio 2018.
- NEWMAN, M. E. J. A measure of betweenness centrality based on random walks. **Social Networks**, 27, n. 1, Jan. 2005. 39-54. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378873304000681>>. Acesso em: 11 maio 2018.
- NICHOLSON, S. On the question of the “recovery” of the rains in the West African Sahel. **Journal of Arid Environments**, v. 63, n. 3, p. 615-641, Nov. 2005. Acesso em: 29 out. 2018.
- NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro, RJ: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1989. 422 p.
- 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**. Tese (Doutorado em Meteorologia) Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Programa de Pós-Graduação em Meteorologia. Campina Grande, PB. 2008.
- NOVAIS, J. W. Z. **Variação Espaço-Temporal dos Fluxos Radioativos Abaixo do Dossel em Floresta Sazonalmente Alagada no Pantanal Mato-Grossense**. Tese

(Doutorado em Física Ambiental) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental. Cuiabá. 2013.

NUNES DA CUNHA, C.; JUNK, W. J. Year-to-year changes in water level drive the invasion of *Vochysia divergens* in Pantanal grasslands. **Applied Vegetation Science**, 7, n. 1, May 2004. 103-110. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1654-109X.2004.tb00600.x>>. Acesso em: 15 jun. 2018.

OLIVEIRA, N. D. L.; MARCUZZO, F. F. N. Influência do el niño e la niña no número de dias de precipitação pluviométrica do estado do Mato Grosso do Sul. **Ateliê Geográfico**, Goiânia-GO, v. 10, n. 1, p. 73-94, abr. 2016.

OLIVEIRA, N. D. L.; MARCUZZO, F. F. N.; BARROS, R. G. Influência do El Niño e La Niña no número de dias de precipitação pluviométrica no Estado do Mato Grosso. **Ciência e Natura**, Santa Maria, RS, v. 37, n. 4, p. 284-297, set-dez 2015.

PAZ, A. R. D. et al. Large-scale modelling of channel flow and floodplain inundation dynamics and its application to the Pantanal (Brazil). **Hydrological Processes**, 25, 28 Dec. 2010. 1498–1516.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrol. Earth Syst. Sci.**, v. 11, p. 1633–1644, 2007. Acesso em: 01 nov. 2018.

PEREIRA, R. R. D. **Método de Análise de Vulnerabilidade Utilizando Redes Complexas: Aplicação na Rede de Transporte Aéreo Brasileira**. Dissertação (Mestrado em Transportes), Publicação PPGT/ENC. T.DM-008/2016, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília. Brasília, DF. 2016.

PIKOVSKY, A.; ROSENBLUM, M.; KURTHS, J. **Synchronization A universal concept in nonlinear sciences**. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2001.

QIONG, Q.; DONGXIA, W. **Evaluation Method for Node Importance in Complex Networks Based on Eccentricity of Node**. 2nd IEEE International Conference on Computer and Communications. Chengdu, China: [s.n.]. 2016.

QUIROGA, R. Q.; KREUZ, T.; GRASSBERGER, P. Event synchronization: A simple and fast method to measure synchronicity and time delay patterns. **Physical Review**, v. 66, n. 4, Nov. 2002.

RAO, V. B.; HADA, K. Characteristics of Rainfall over Brazil: Annual Variations and Connections with the Southern Oscillation. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 42, n. 2, p. 81-91, Jun. 1990.

REBOITA, M. S. et al. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 25, n. 2, Jan. 2010. 185-204.

REBOITA, M. S. et al. Entendendo o Tempo e o Clima na América do Sul. **Terra e Didática**, 8, n. 1, 2012. 34-50. Disponível em: <<https://ocs.ige.unicamp.br/ojs/terraedidatica/article/view/1077>>. Acesso em: 19 jul. 2018.

ROCHA, W. A. A. D. **Aspectos de Redes Complexas com Aplicações em Neurociência**. Dissertação (Mestrado em Matemática Aplicada) Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica. Campinas. 2017.

RODRIGUES, F. A. **Caracterização, Classificação e Análise de Redes Complexas**. Tese (Doutorado em Física) Universidade de São Paulo, Instituto de Física de São Carlos, Departamento de Física e Informática. São Carlos, SP. 2007.

RONQUI, J. R. F.; TRAVIESO, G. Analyzing complex networks through correlations in centrality measurements. **Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment**, 2015, 26 May 2015.

SABIDUSSI, G. The Centrality Index of a Graph. **Psychometrika**, 31, n. 4, Dec. 1966. 581-603. Disponível em: <<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/BF02289527.pdf>>. Acesso em: 16 maio 2018.

SALLO, F. D. S. **Dinâmica da água no sistema solo-vegetação-atmosfera em floresta de Vochysia divergens Pohl monodominante no Pantanal**. Tese (Doutorado em Física Ambiental) Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental. Cuiabá. 2017.

SANTANA, C. N. D. et al. Graph theory defining non-local dependency of rainfall in Northeast Brazil. **Ecological Complexity**, v. 6, p. 272–277, 2009. Disponível em: <[www.elsevier.com/locate/ecocom](http://www.elsevier.com/locate/ecocom)>.

SETTE, D. M. Os Climas do Cerrado do Centro-Oeste. **Revista Brasileira de Climatologia**, 1, n. 1, Dez. 2005.

SILVA, L. B. D. **Relações entre Aporte de Serrapilheira, Nutrientes e Efluxo de Dióxido de Carbono em Floresta Inundável de *Vochysia divergens* Pohl no Pantanal Mato-Grossense**. Tese (Doutorado em Física Ambiental) Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental. Cuiabá-MT. 2013.

SOUSA, S. B. D. et al. **Análise comparativa entre dados TRMM e estações pluviométricas no Pantanal brasileiro: ano base 2006**. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR. Foz do Iguaçu, PR: [s.n.]. 2013.

STEINHAEUSER, K.; CHAWLA, N. V.; GANGULY, A. R. **Complex Networks in Climate Science: Progress, Opportunities and Challenges**. NASA Conference on Intelligent Data Understanding (CIDU). Mountain View, CA: [s.n.]. 2010.

STOLBOVA, et al. Topology and seasonal evolution of the network of extreme precipitation over the Indian subcontinent and Sri Lanka. **Nonlinear Processes Geophysics**, p. 21, 901–917, Aug. 2014.

STOLBOVA, V. **Indian Summer Monsoon: critical transition, predictability and extremes**. Tese (Doutorado em Ciências Naturais) Humboldt-Universität zu Berlin. [S.l.]. 2016.

TSONIS, A. A.; ROEBBER, P. J. The architecture of the climate network. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, Milwaukee, 15, Feb. 2004. 497 – 504.

TSONIS, A. A.; SWANSON, K. L.; ROEBBER, P. J. What Do Networks Have to Do with Climate? **BAMS (Bulletin of the American Meteorological Society)**, 87, n. 5, 1 May 2006. 585–596. Disponível em: <<https://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/BAMS-87-5-585>>. Acesso em: 21 maio 2018.

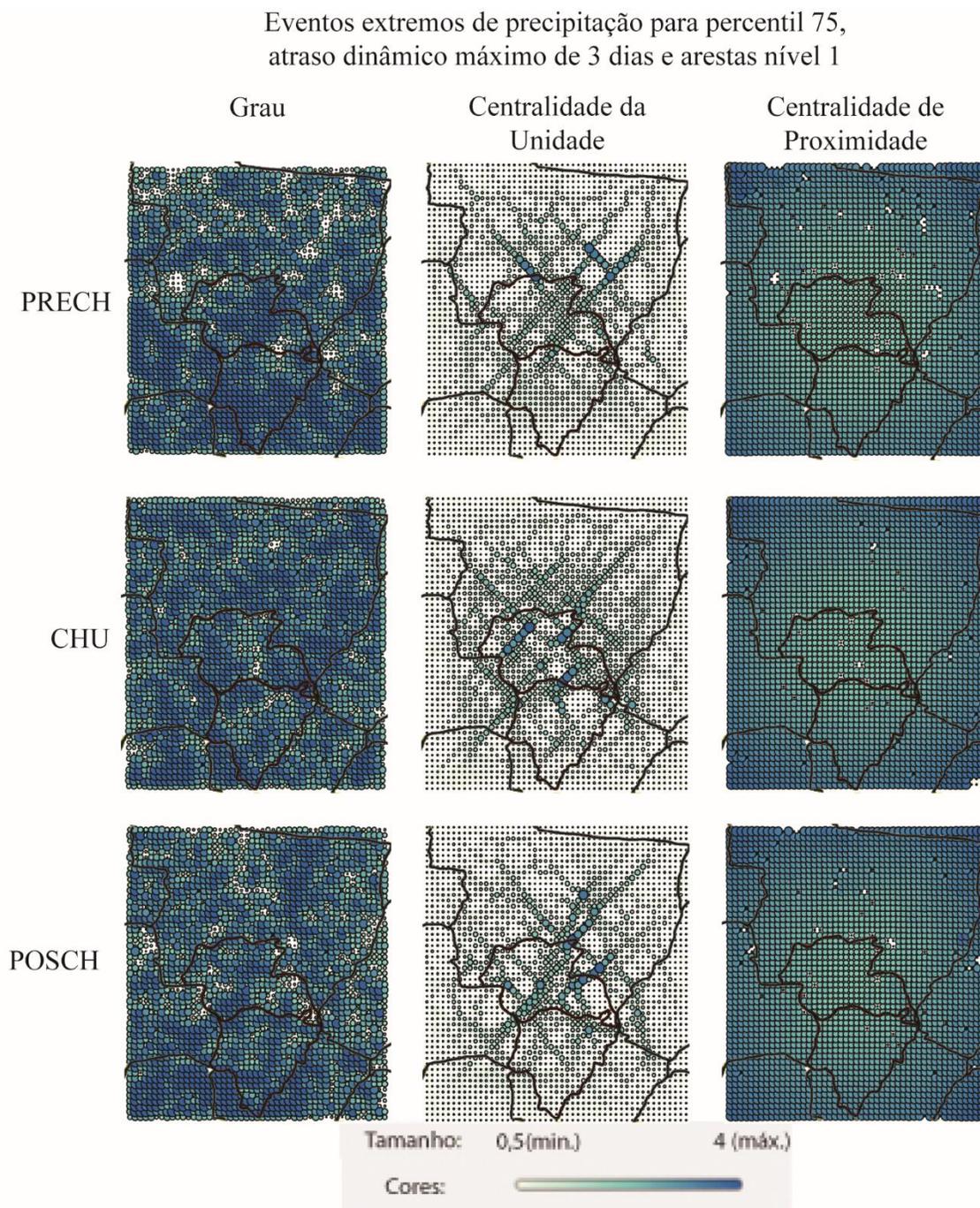
- TSONIS, A. A.; SWANSON, K.; KRAVTSOV, S. A new dynamical mechanism for major climate shifts. **Geophysical Research Letters**, 34, n. 13, 16 Jul. 2007.
- TUCCI, C. E. M. Recursos Hídricos do Pantanal. **XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, João Pessoa, p. 1-18, 2005.
- VOSGERAU, R. A. **Análise da Entropia em Redes Complexas**. Tese (Doutorado em Ciências) Universidade Federal de Ponta Grossa, Programa de Pós-Graduação em Ciências, Área de Concentração - Física. Ponta Grossa. 2016.
- WOLFF, D. B. et al. Ground Validation for the Tropical Rainfall Measuring Mission. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, v. 22, n. 4, Abr. 2005. Acesso em: 29 out. 2018.
- XIE, Z. **Centrality Measures in Text Mining**: Prediction of Noun Phrases that Appear in Abstracts. ACLstudent '05 Proceedings of the ACL Student Research Workshop. Ann Arbor, Michigan: Association for Computational Linguistics Stroudsburg, PA, USA. 2005. p. 103-108.
- YAMASAKI, K.; GOZOLCHIANI, A.; HAVLIN, S. Climate Networks around the Globe are Significantly Affected by El Niño. **Physical Review Letters**, 100, Jun. 2008.

## 7 ANEXOS

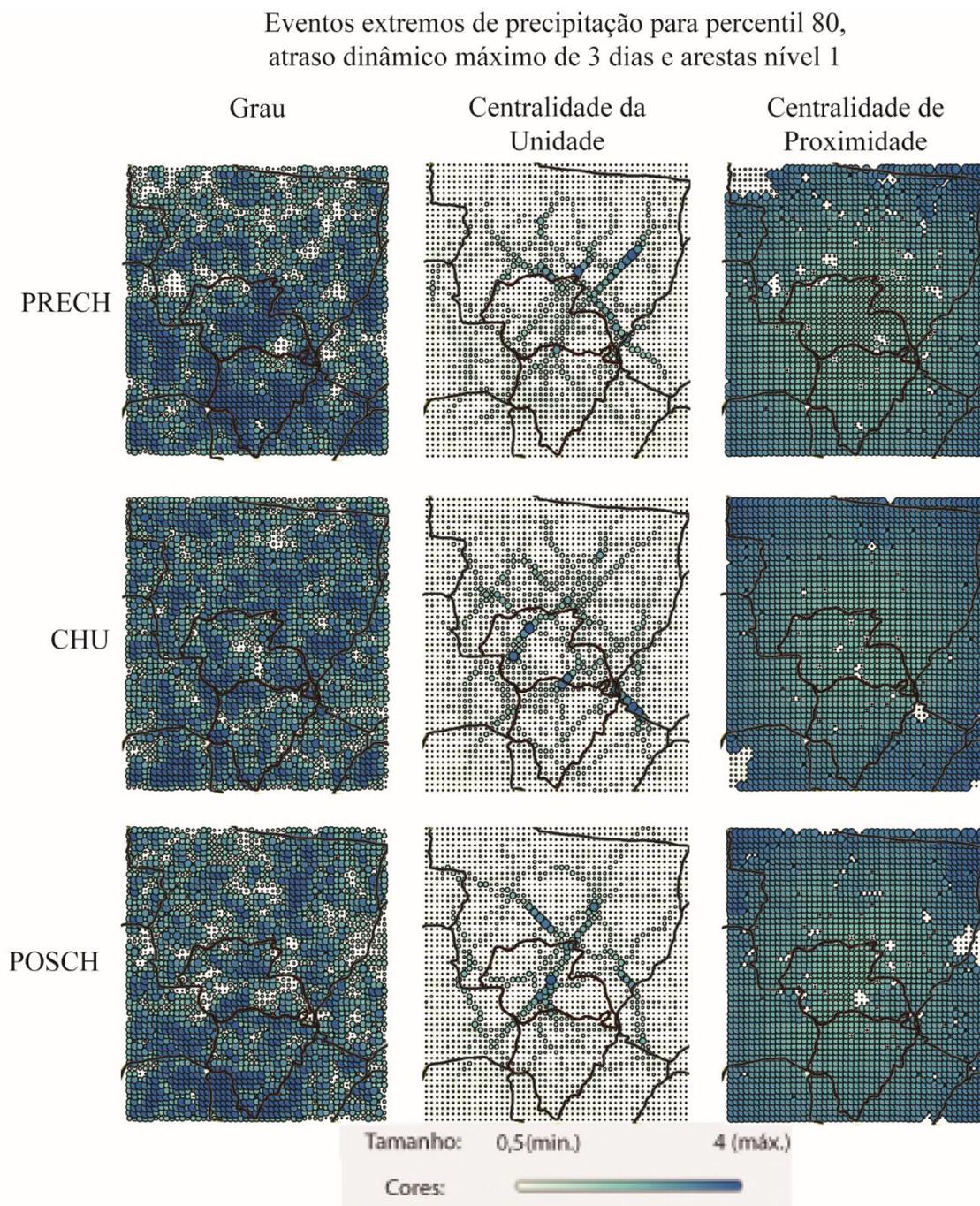
ANEXO 1 - Figura 29a - Eventos extremos de precipitação para percentil 75, atraso dinâmico máximo de 3 dias e arestas nível 1 .....	88
ANEXO 2 – Figura 29b - Eventos extremos de precipitação para percentil 80, atraso dinâmico máximo de 3 dias e arestas nível 1 .....	89
ANEXO 3 - Figura 29c - Eventos extremos de precipitação para percentil 85, atraso dinâmico máximo de 3 dias e arestas nível 1 .....	90
ANEXO 4 - Figura 30a - Eventos extremos de precipitação para percentil 90, atraso dinâmico máximo de 3 dias e arestas nível 1 .....	91
ANEXO 5 - Figura 30b - Eventos extremos de precipitação para percentil 95, atraso dinâmico máximo de 3 dias e arestas nível 1 .....	92
ANEXO 6 - Figura 31a - Medidas de centralidade para eventos extremos de percentil 90, arestas nível 1 e atraso dinâmico máximo ( $\tau_{max}$ ) de 2 dias .....	93
ANEXO 7 - Figura 31b - Medidas de centralidade para eventos extremos de percentil 90, arestas nível 1 e atraso dinâmico máximo ( $\tau_{max}$ ) de 3 dias .....	94
ANEXO 8 - Figura 31c - Medidas de centralidade para eventos extremos de percentil 90, arestas nível 1 e atraso dinâmico máximo ( $\tau_{max}$ ) de 4 dias .....	95
ANEXO 9 - Figura 31d - Medidas de centralidade para eventos extremos de percentil 90, arestas nível 1 e atraso dinâmico máximo ( $\tau_{max}$ ) de 5 dias .....	96
ANEXO 10 – Figura 32a - Medidas de centralidade para eventos extremos de percentil 95, arestas nível 1 e atraso dinâmico máximo ( $\tau_{max}$ ) de 2 dias .....	97
ANEXO 11 - Figura 32b - Medidas de centralidade para eventos extremos de percentil 95, arestas nível 1 e atraso dinâmico máximo ( $\tau_{max}$ ) de 3 dias .....	98
ANEXO 12 - Figura 32c - Medidas de centralidade para eventos extremos de percentil 95, arestas nível 1 e atraso dinâmico máximo ( $\tau_{max}$ ) de 4 dias .....	99
ANEXO 13 - Figura 32d - Medidas de centralidade para eventos extremos de percentil 95, arestas nível 1 e atraso dinâmico máximo ( $\tau_{max}$ ) de 5 dias .....	100
ANEXO 14 – Figura 33a - Eventos extremos de precipitação para percentil 90, atraso dinâmico máximo de 3 dias e arestas nível 1 .....	101

ANEXO 15 - Figura 33b - Eventos extremos de precipitação para percentil 90, atraso dinâmico máximo de 3 dias e arestas nível 2.....	102
ANEXO 16 - Figura 33c - Eventos extremos de precipitação para percentil 90, atraso dinâmico máximo de 3 dias e arestas nível 3.....	103
ANEXO 17 - Figura 34a - Eventos extremos de precipitação para percentil 95, atraso dinâmico máximo de 3 dias e arestas nível 1.....	104
ANEXO 18 - Figura 34b - Eventos extremos de precipitação para percentil 95, atraso dinâmico máximo de 3 dias e arestas nível 2.....	105
ANEXO 19 - Figura 34c - Eventos extremos de precipitação para percentil 95, atraso dinâmico máximo de 3 dias e arestas nível 3.....	106
ANEXO 20 – Figura 35a - Medidas de Grau para atraso dinâmico máximo de 3 dias, arestas nível 1 e eventos extremos de percentis 90 e 95. ....	107
ANEXO 21 - Figura 35b - Medidas de Grau para atraso dinâmico máximo de 3 dias, arestas nível 2 e eventos extremos de percentis 90 e 95. ....	108
ANEXO 22 - Figura 36a - Medidas de Centralidade da Unidade para atraso dinâmico máximo de 3 dias, arestas nível 1 e eventos extremos de percentis 90 e 95. ....	109
ANEXO 23 - Figura 36b - Medidas de Centralidade da Unidade para atraso dinâmico máximo de 3 dias, arestas nível 2 e eventos extremos de percentis 90 e 95. ....	110
ANEXO 24 - Figura 37a - Medidas de Centralidade de Proximidade para atraso dinâmico máximo de 3 dias, arestas nível 1 e eventos extremos de percentis 90 e 95. ....	111
ANEXO 25 - Figura 37b - Medidas de Centralidade de Proximidade para atraso dinâmico máximo de 3 dias, arestas nível 2 e eventos extremos de percentis 90 e 95. ....	112

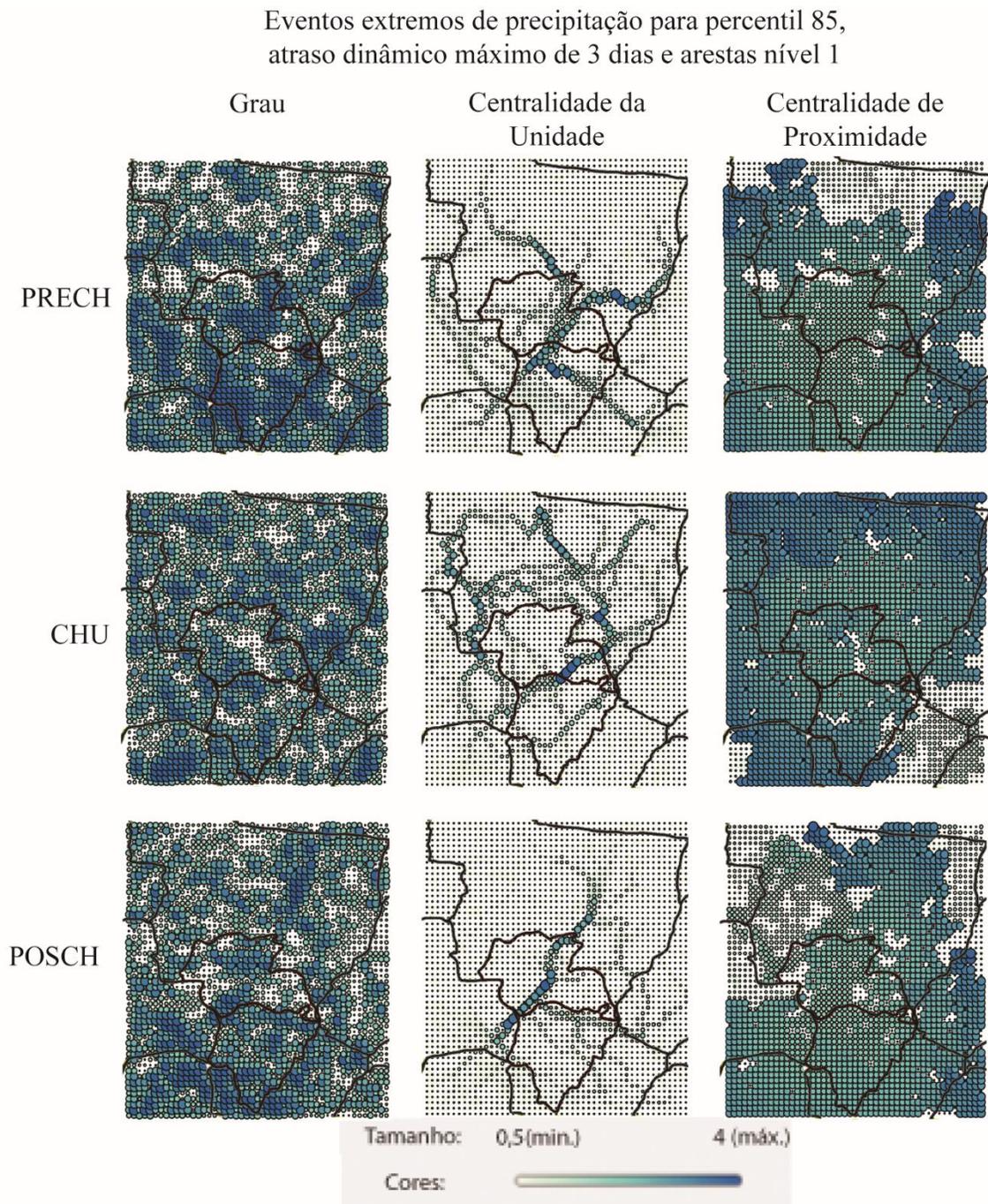
ANEXO 1 - Figura 29a - Eventos extremos de precipitação para percentil 75, atraso dinâmico máximo de 3 dias e arestas nível 1



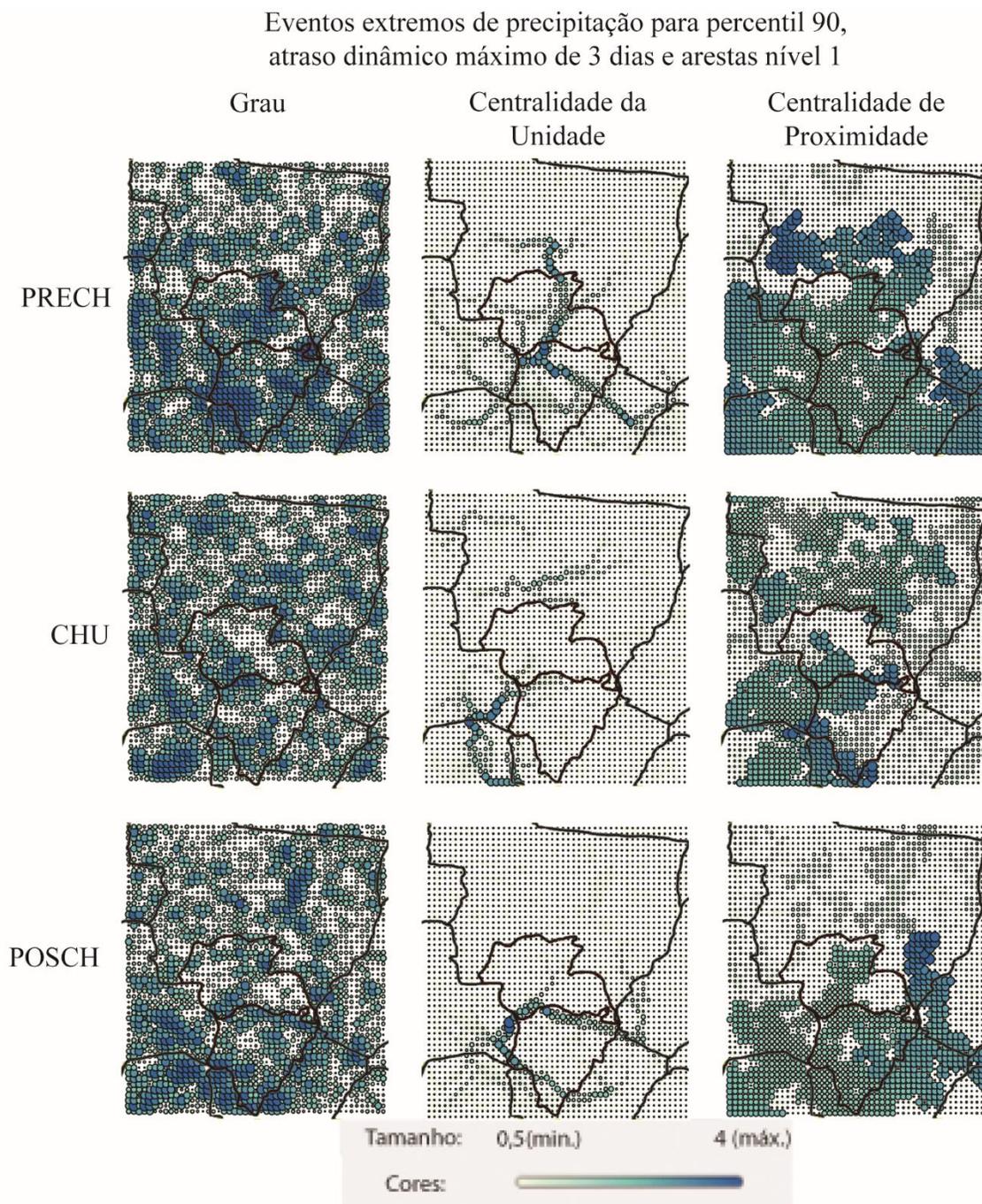
ANEXO 2 – Figura 29b - Eventos extremos de precipitação para percentil 80, atraso dinâmico máximo de 3 dias e arestas nível 1



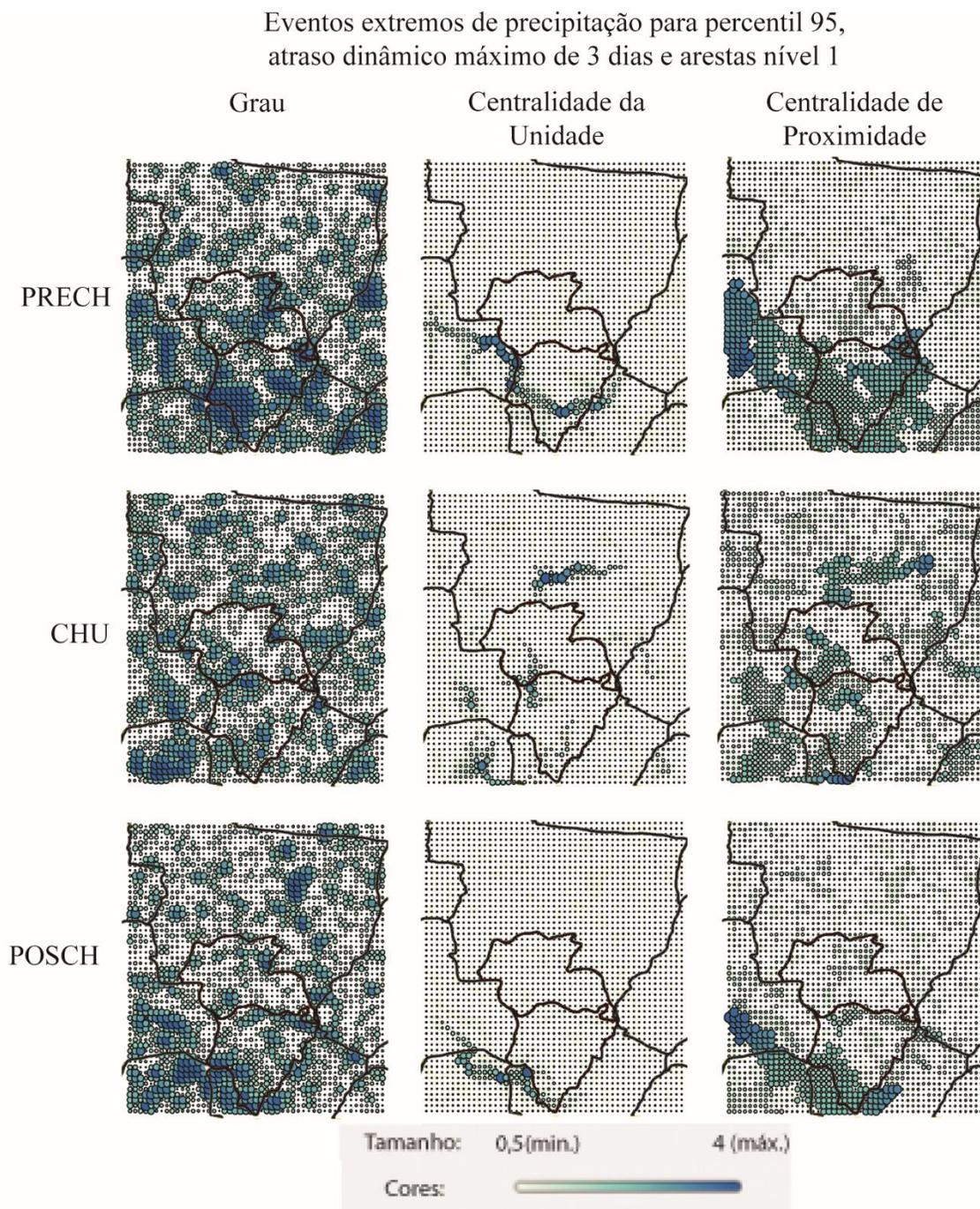
ANEXO 3 - Figura 29c - Eventos extremos de precipitação para percentil 85, atraso dinâmico máximo de 3 dias e arestas nível 1



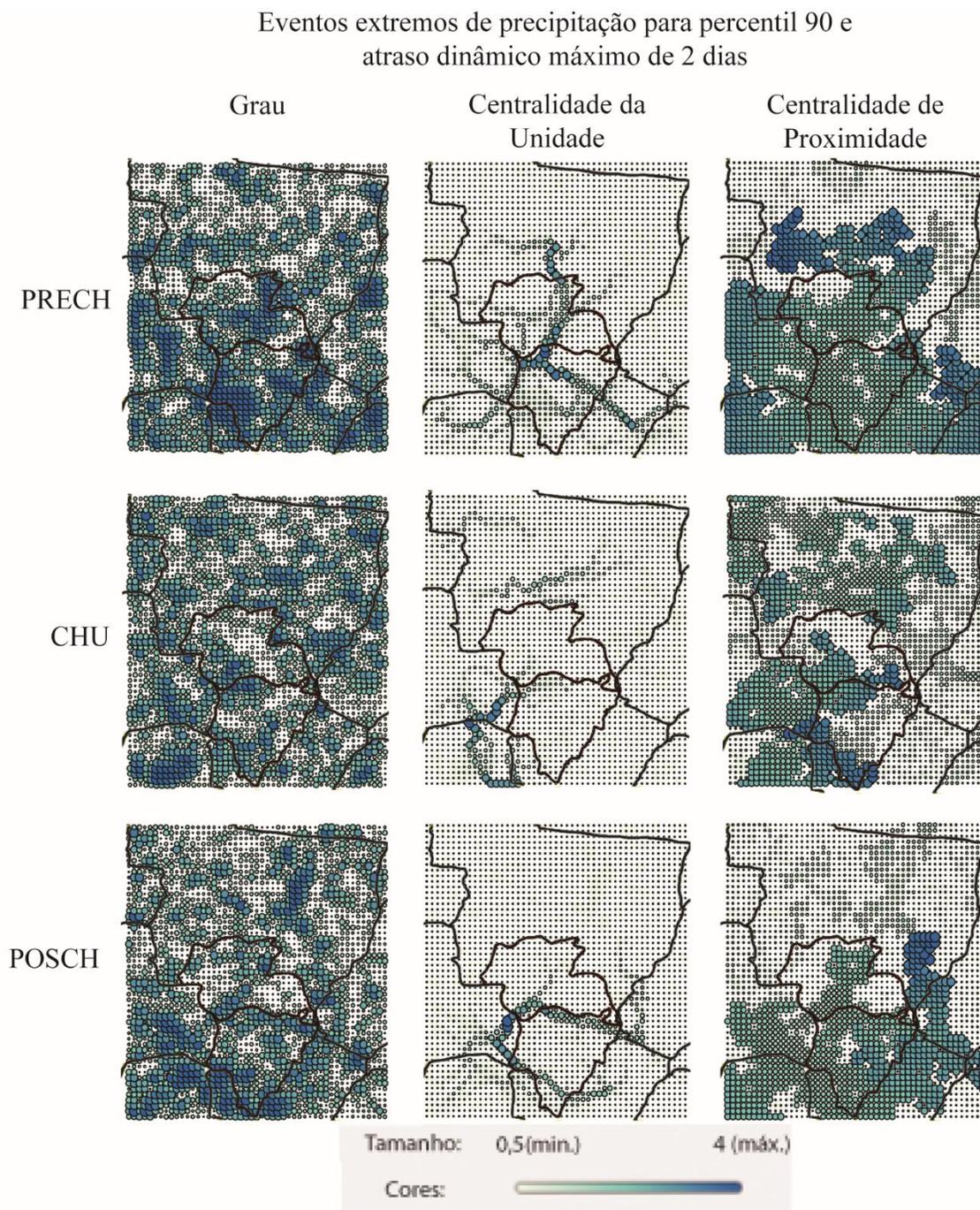
ANEXO 4 - Figura 30a - Eventos extremos de precipitação para percentil 90, atraso dinâmico máximo de 3 dias e arestas nível 1



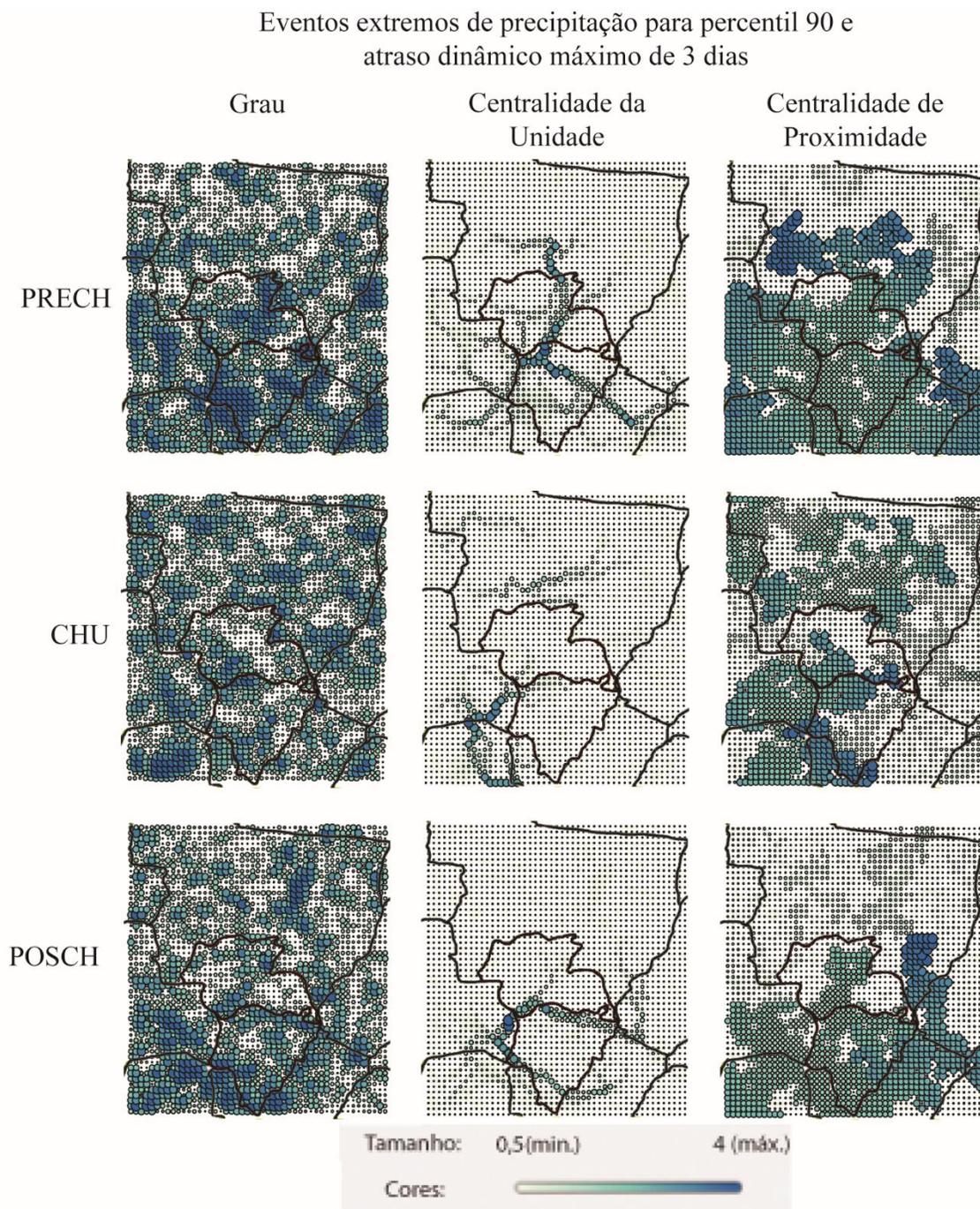
ANEXO 5 - Figura 30b - Eventos extremos de precipitação para percentil 95, atraso dinâmico máximo de 3 dias e arestas nível 1



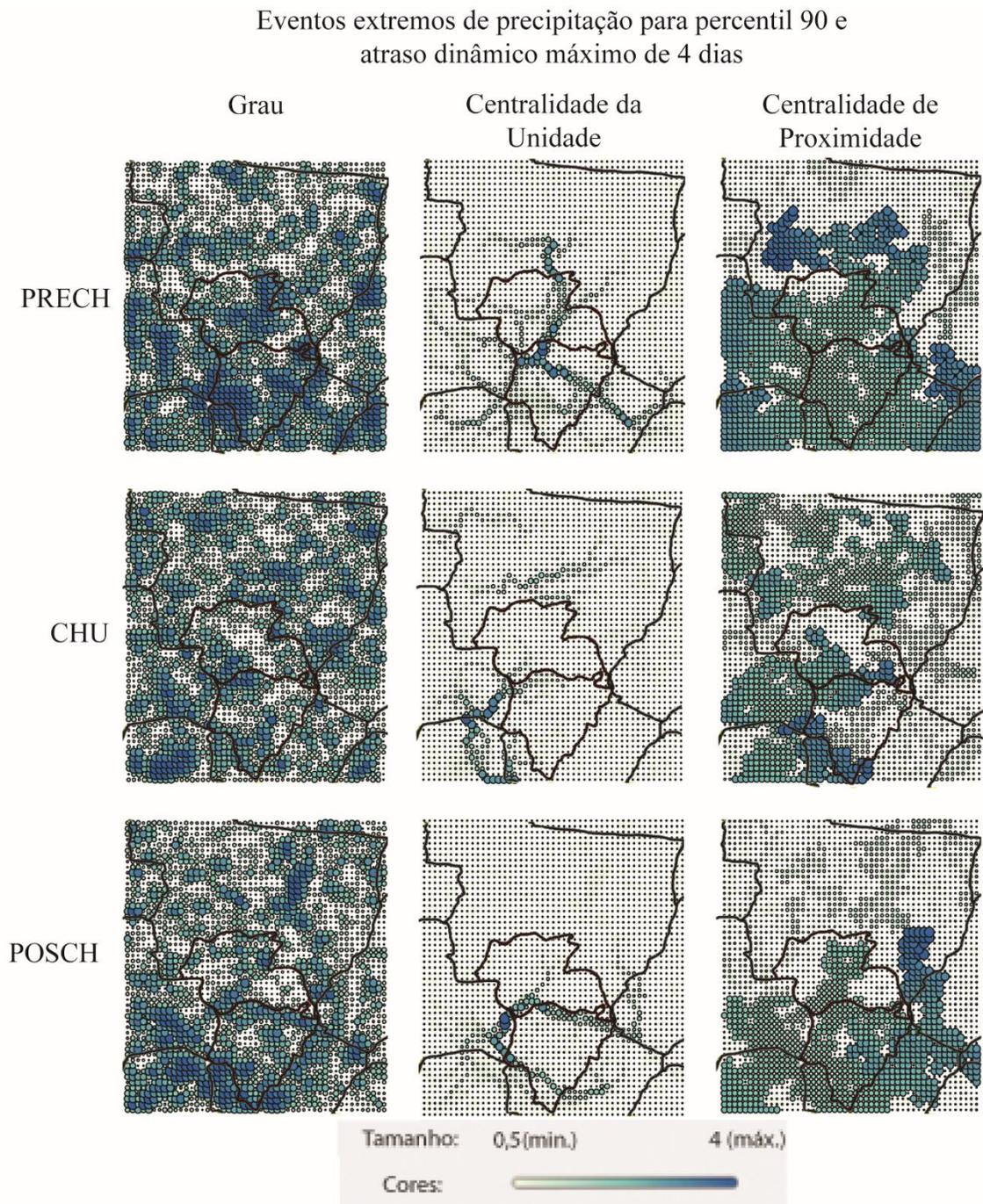
ANEXO 6 - Figura 31a - Medidas de centralidade para eventos extremos de percentil 90, arestas nível 1 e atraso dinâmico máximo ( $\tau_{max}$ ) de 2 dias



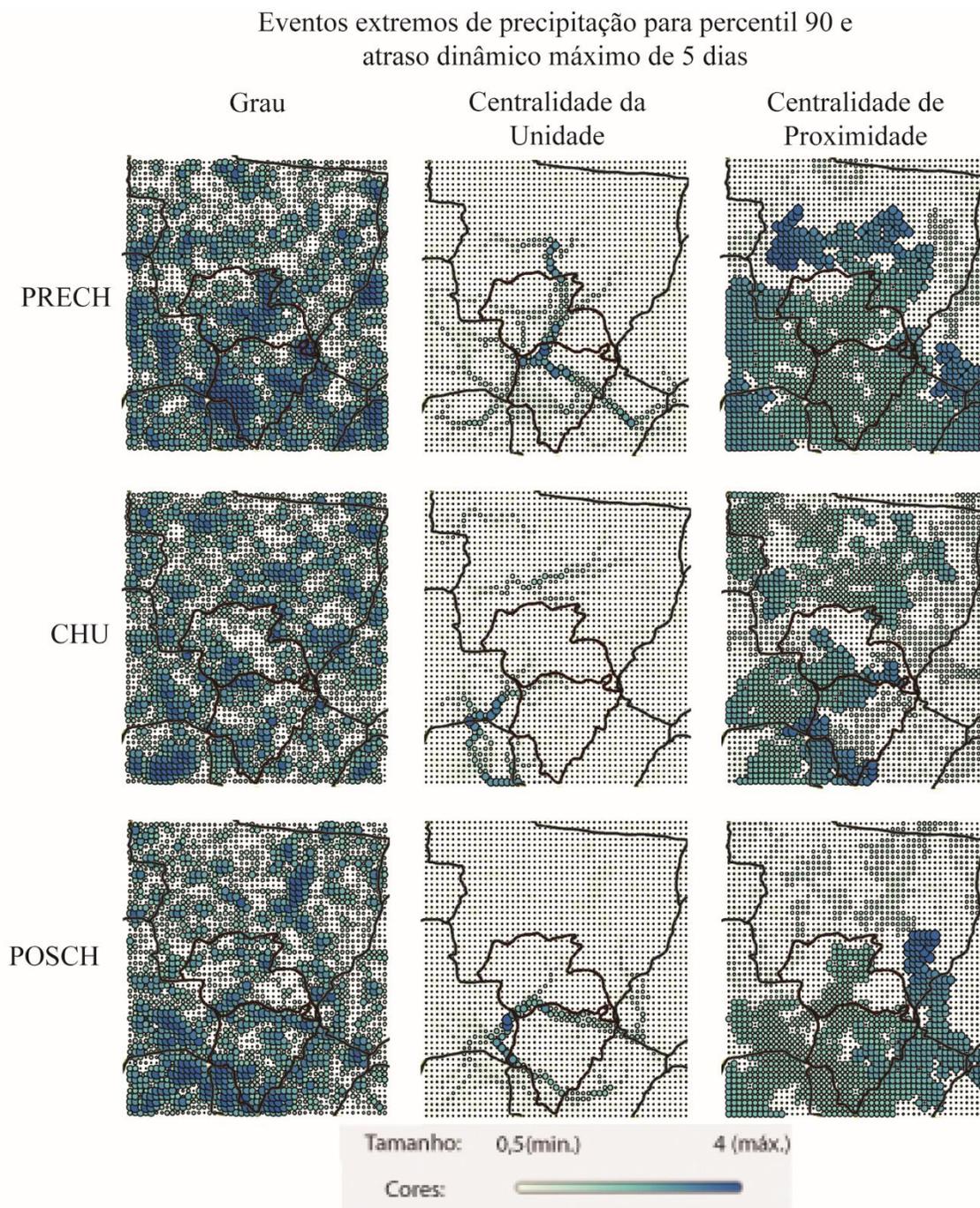
ANEXO 7 - Figura 31b - Medidas de centralidade para eventos extremos de percentil 90, arestas nível 1 e atraso dinâmico máximo ( $\tau_{max}$ ) de 3 dias



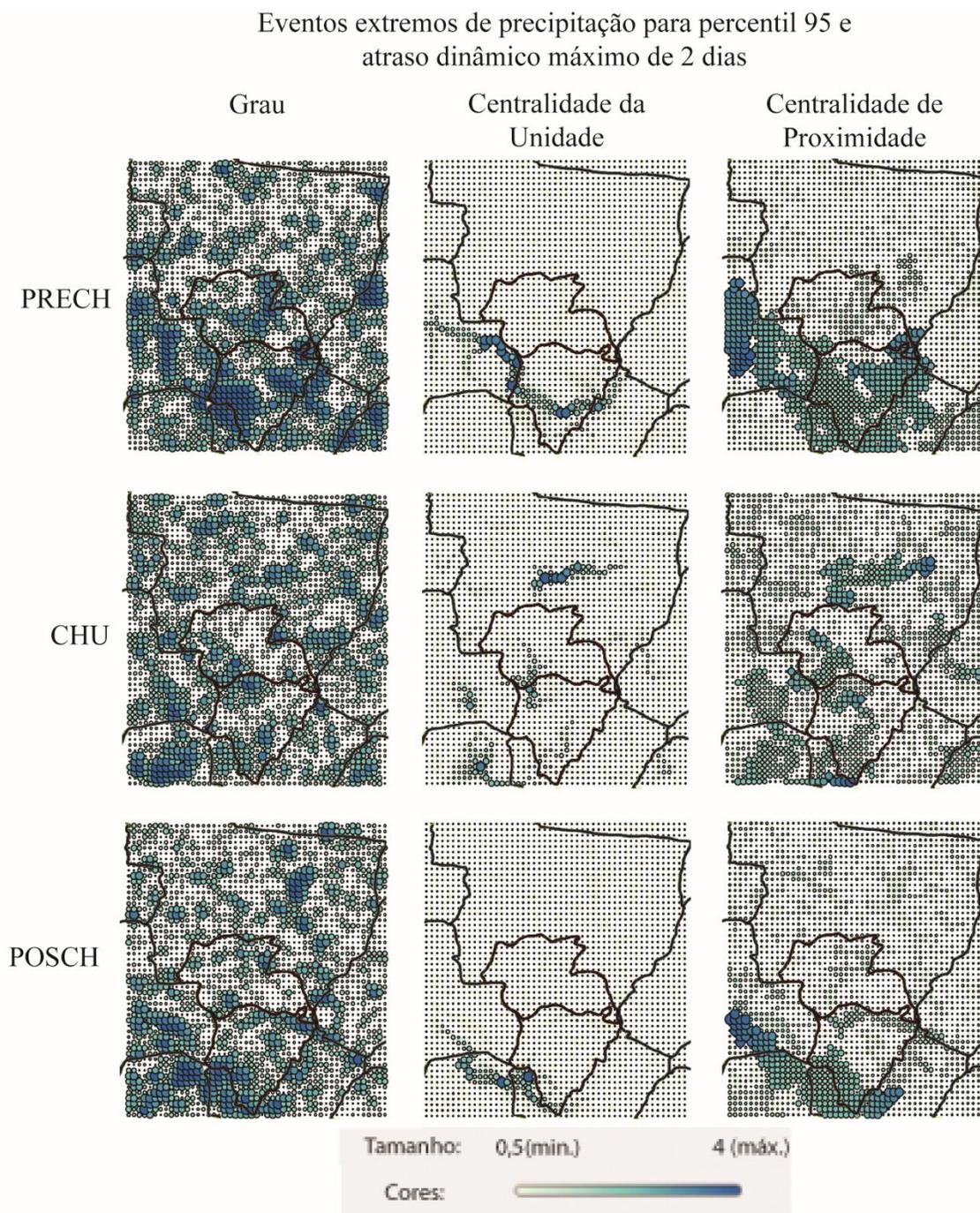
ANEXO 8 - Figura 31c - Medidas de centralidade para eventos extremos de percentil 90, arestas nível 1 e atraso dinâmico máximo ( $\tau_{max}$ ) de 4 dias



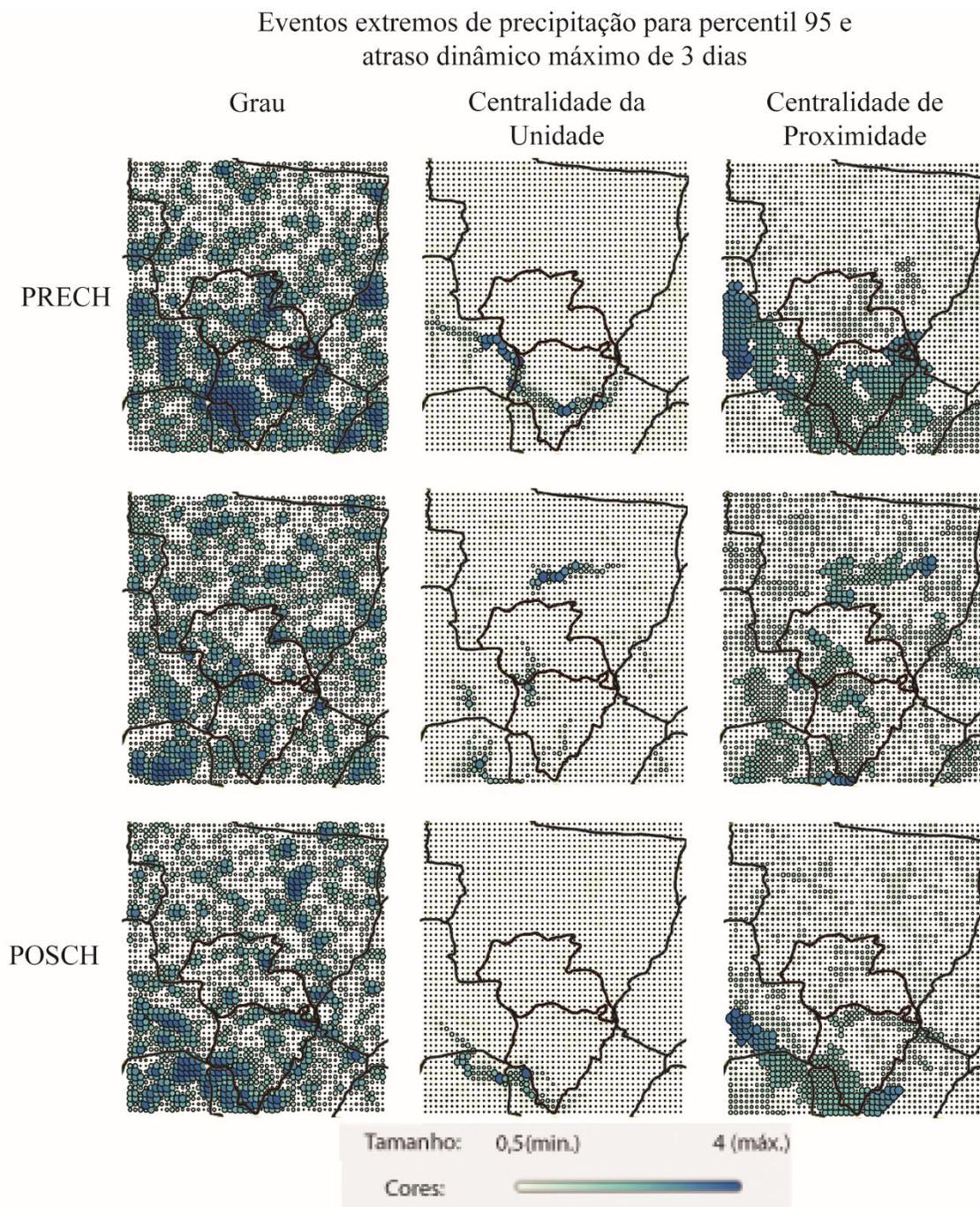
ANEXO 9 - Figura 31d - Medidas de centralidade para eventos extremos de percentil 90, arestas nível 1 e atraso dinâmico máximo ( $\tau_{max}$ ) de 5 dias



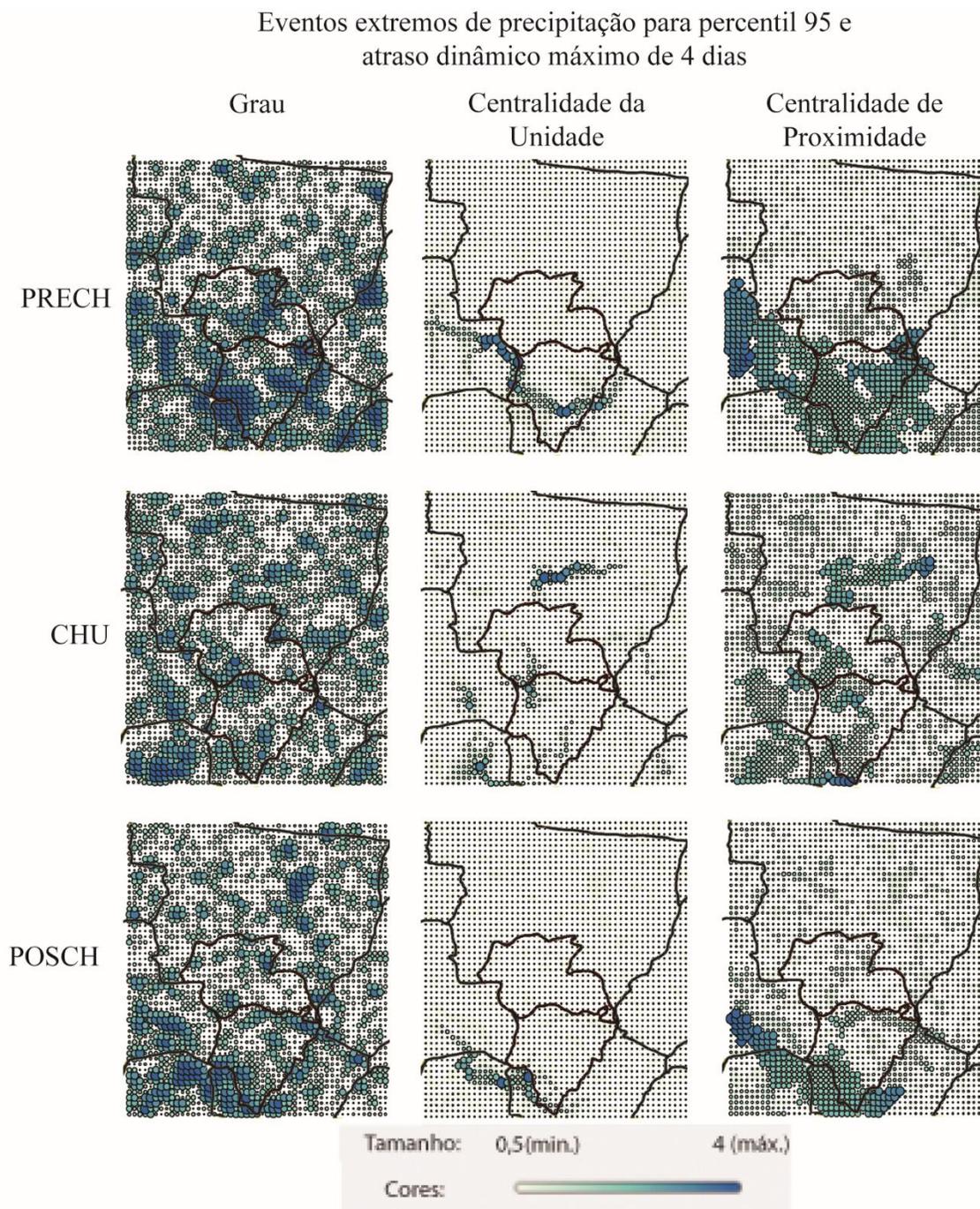
ANEXO 10 – Figura 32a - Medidas de centralidade para eventos extremos de percentil 95, arestas nível 1 e atraso dinâmico máximo ( $\tau_{\max}$ ) de 2 dias



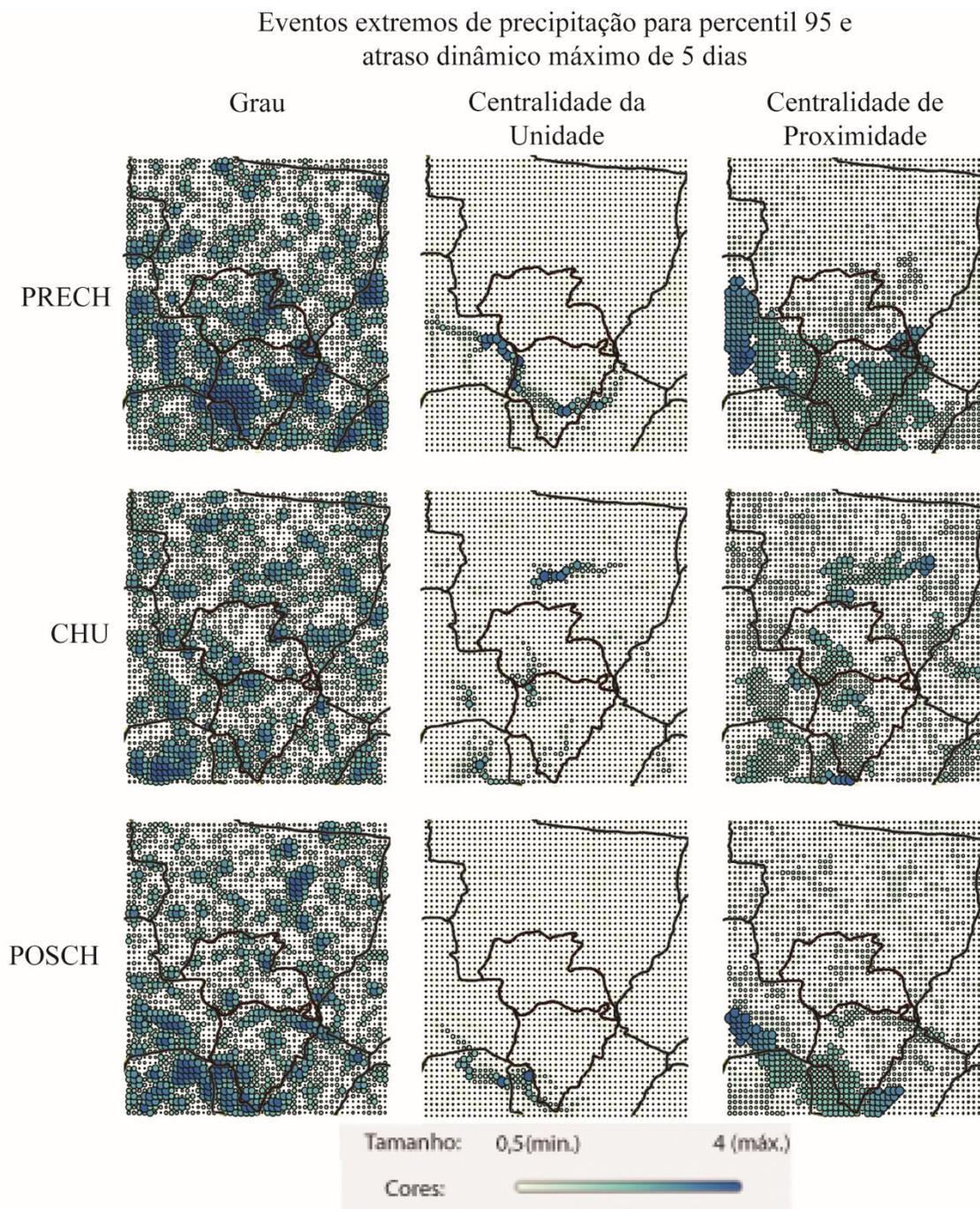
ANEXO 11 - Figura 32b - Medidas de centralidade para eventos extremos de percentil 95, arestas nível 1 e atraso dinâmico máximo ( $\tau_{max}$ ) de 3 dias



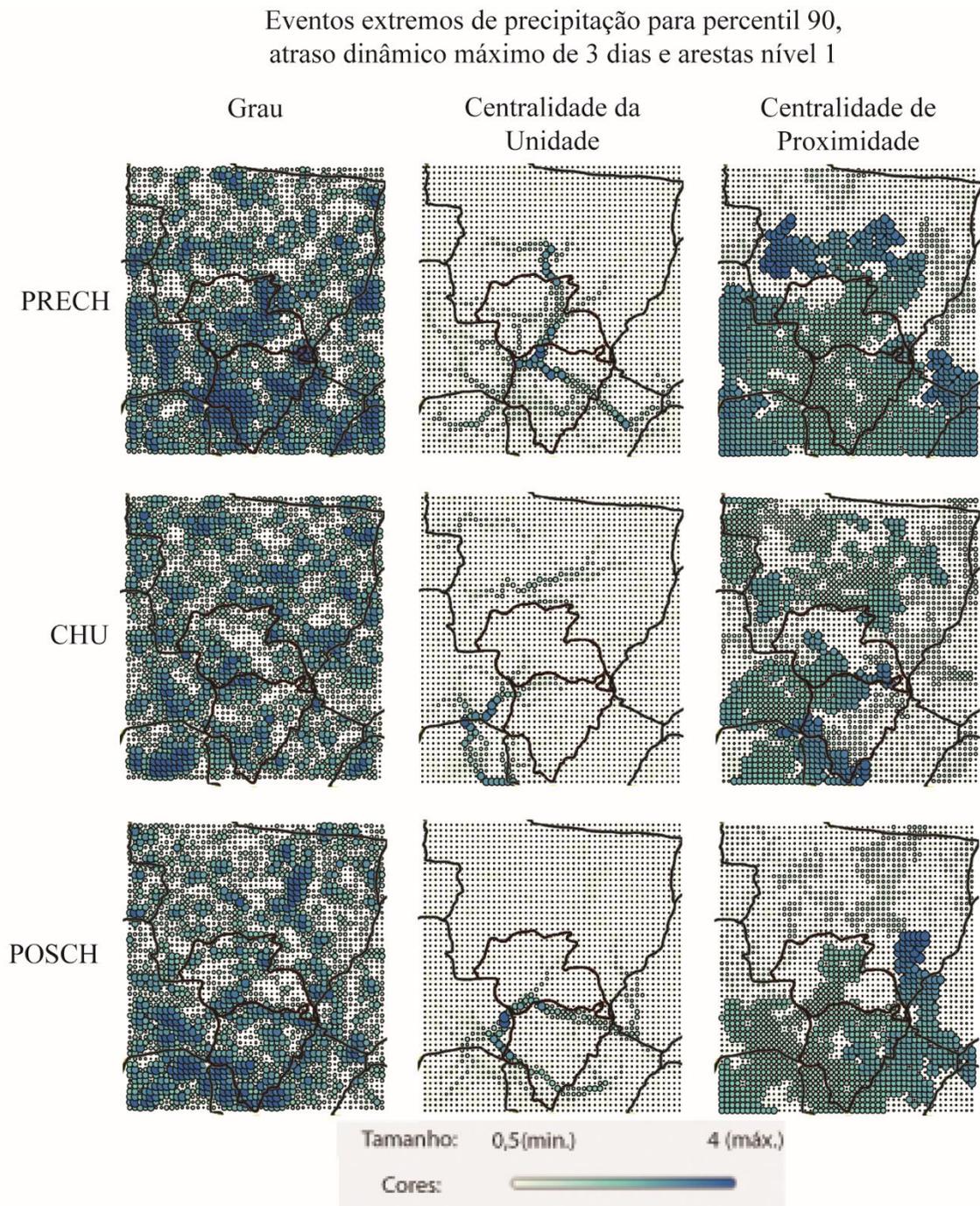
ANEXO 12 - Figura 32c - Medidas de centralidade para eventos extremos de percentil 95, arestas nível 1 e atraso dinâmico máximo ( $\tau_{max}$ ) de 4 dias



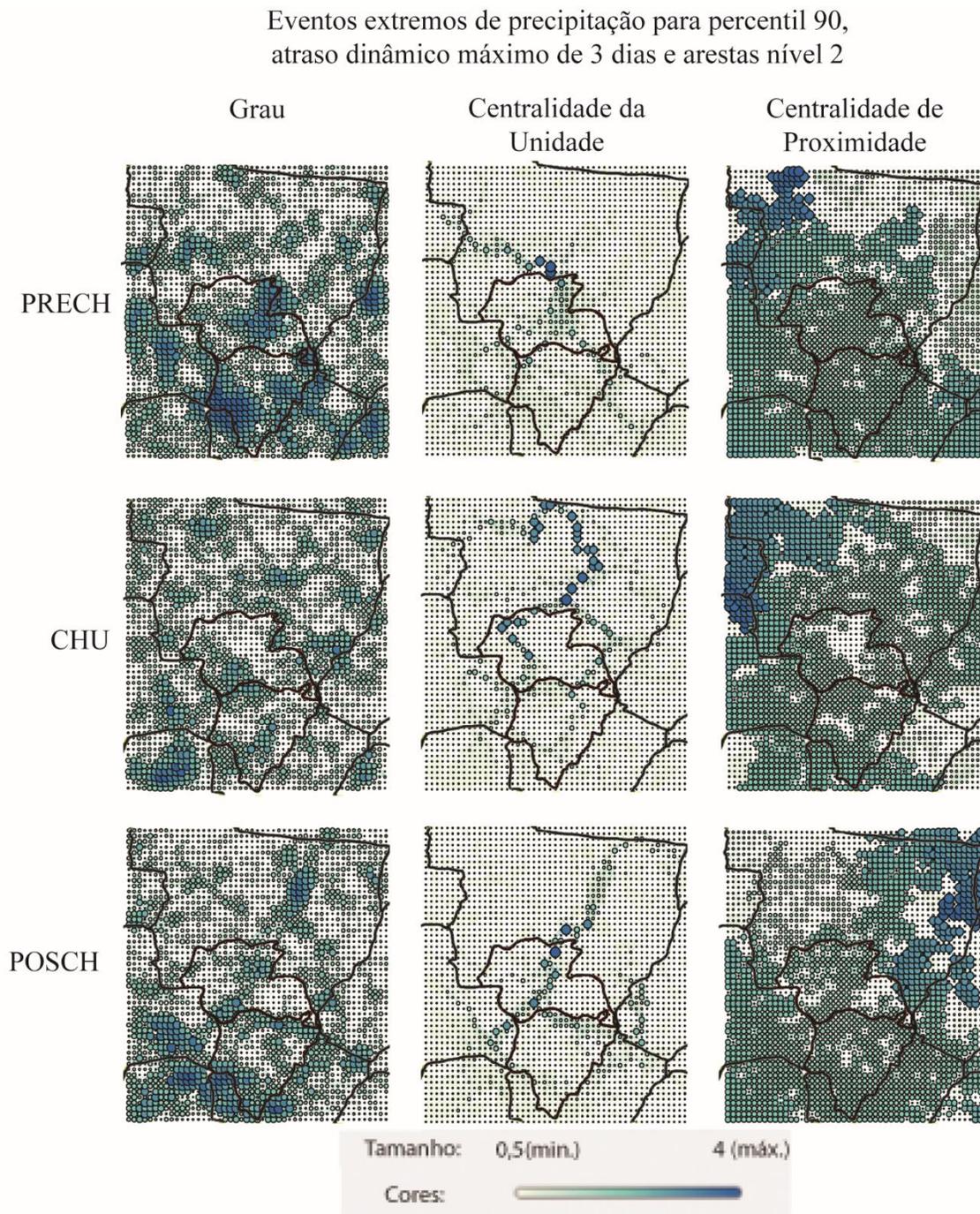
ANEXO 13 - Figura 32d - Medidas de centralidade para eventos extremos de percentil 95, arestas nível 1 e atraso dinâmico máximo ( $\tau_{max}$ ) de 5 dias



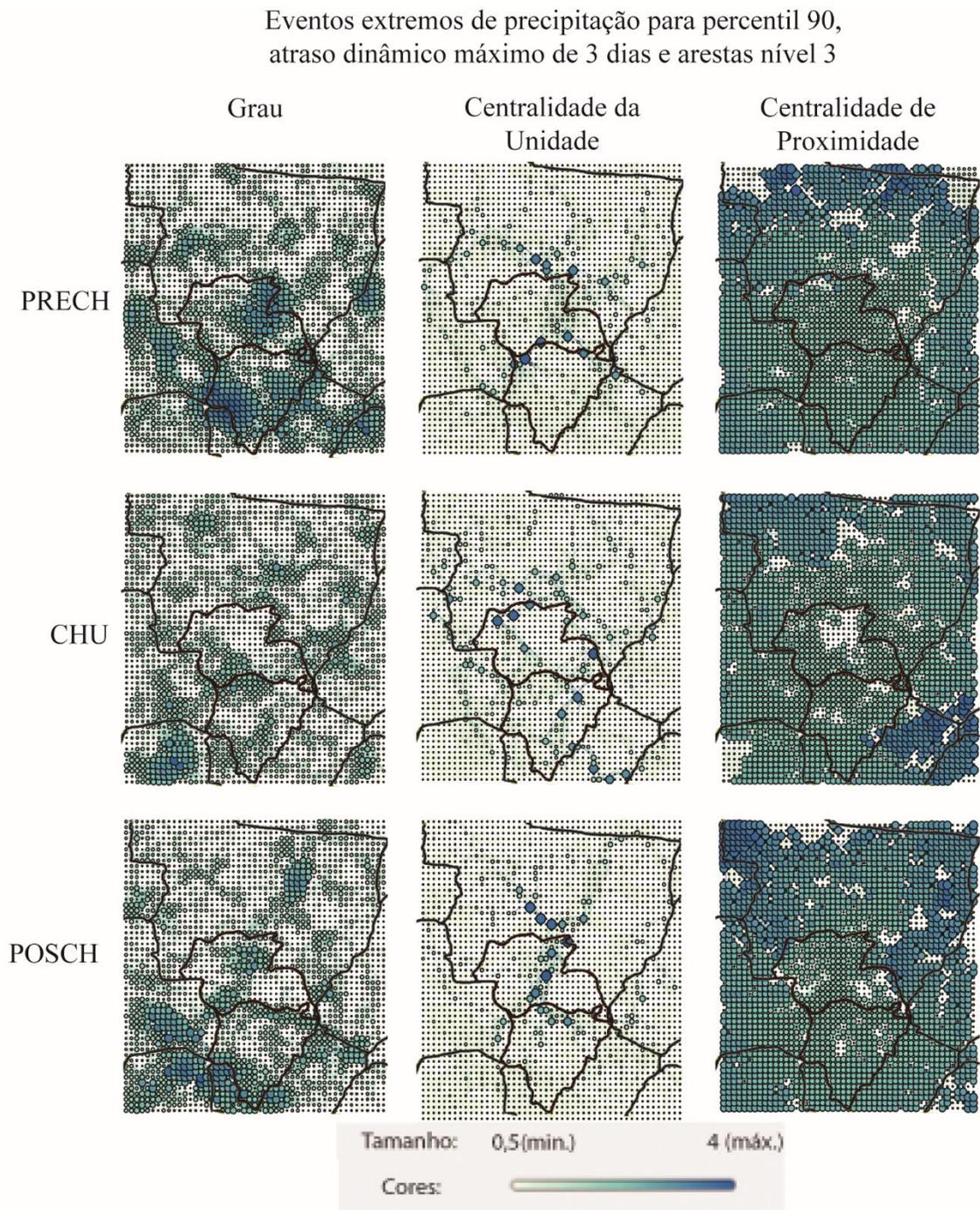
ANEXO 14 – Figura 33a - Eventos extremos de precipitação para percentil 90, atraso dinâmico máximo de 3 dias e arestas nível 1



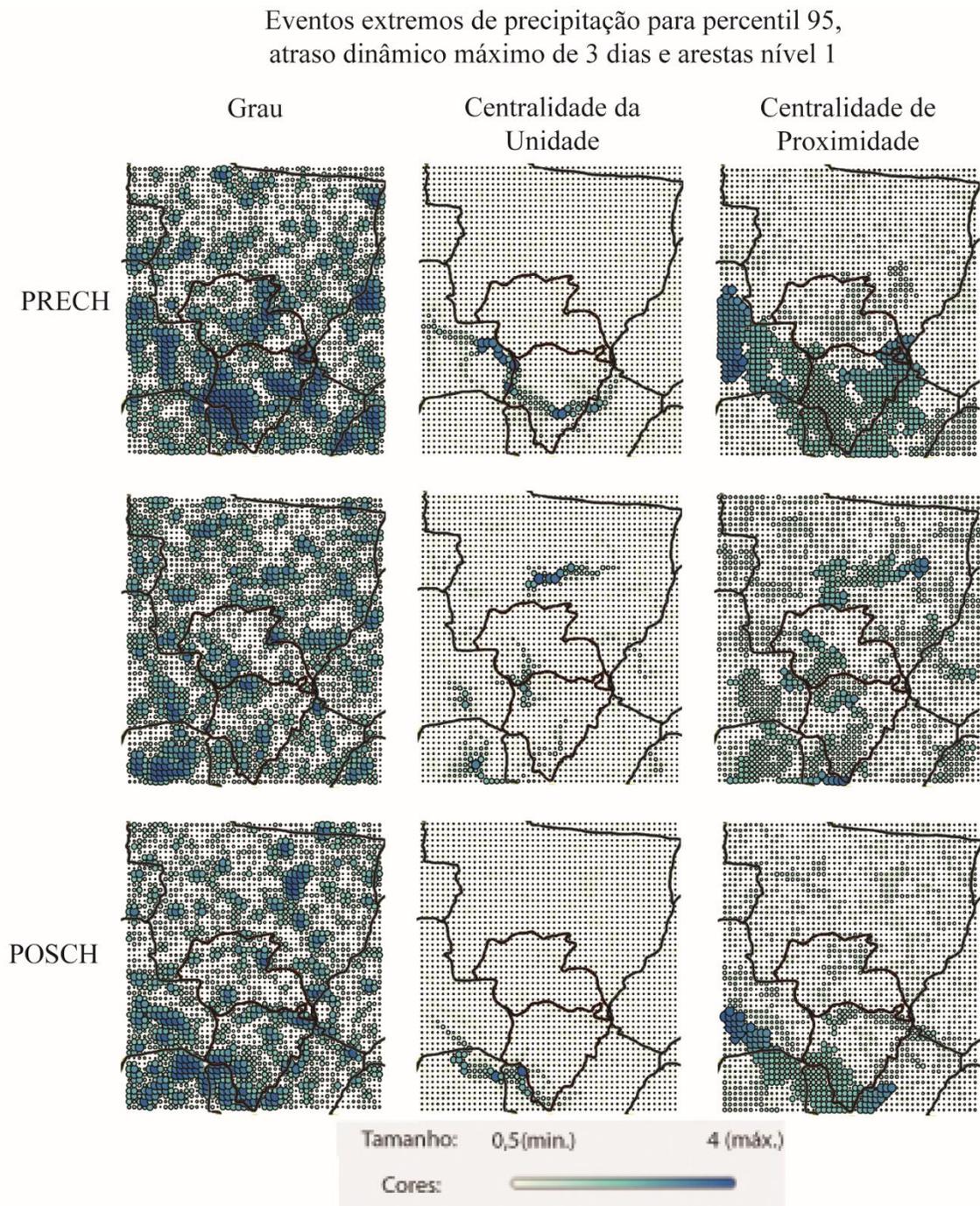
ANEXO 15 - Figura 33b - Eventos extremos de precipitação para percentil 90, atraso dinâmico máximo de 3 dias e arestas nível 2



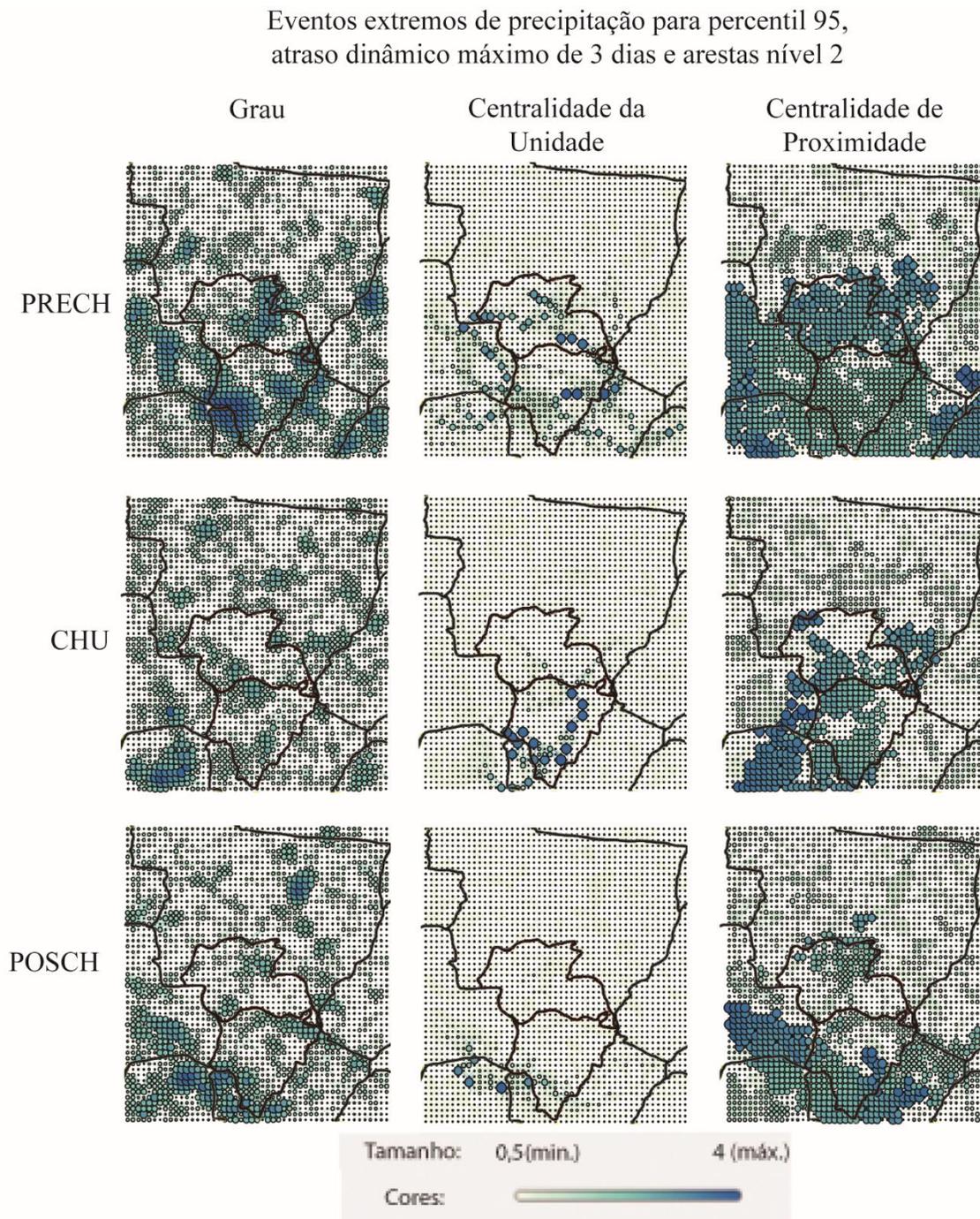
ANEXO 16 - Figura 33c - Eventos extremos de precipitação para percentil 90, atraso dinâmico máximo de 3 dias e arestas nível 3



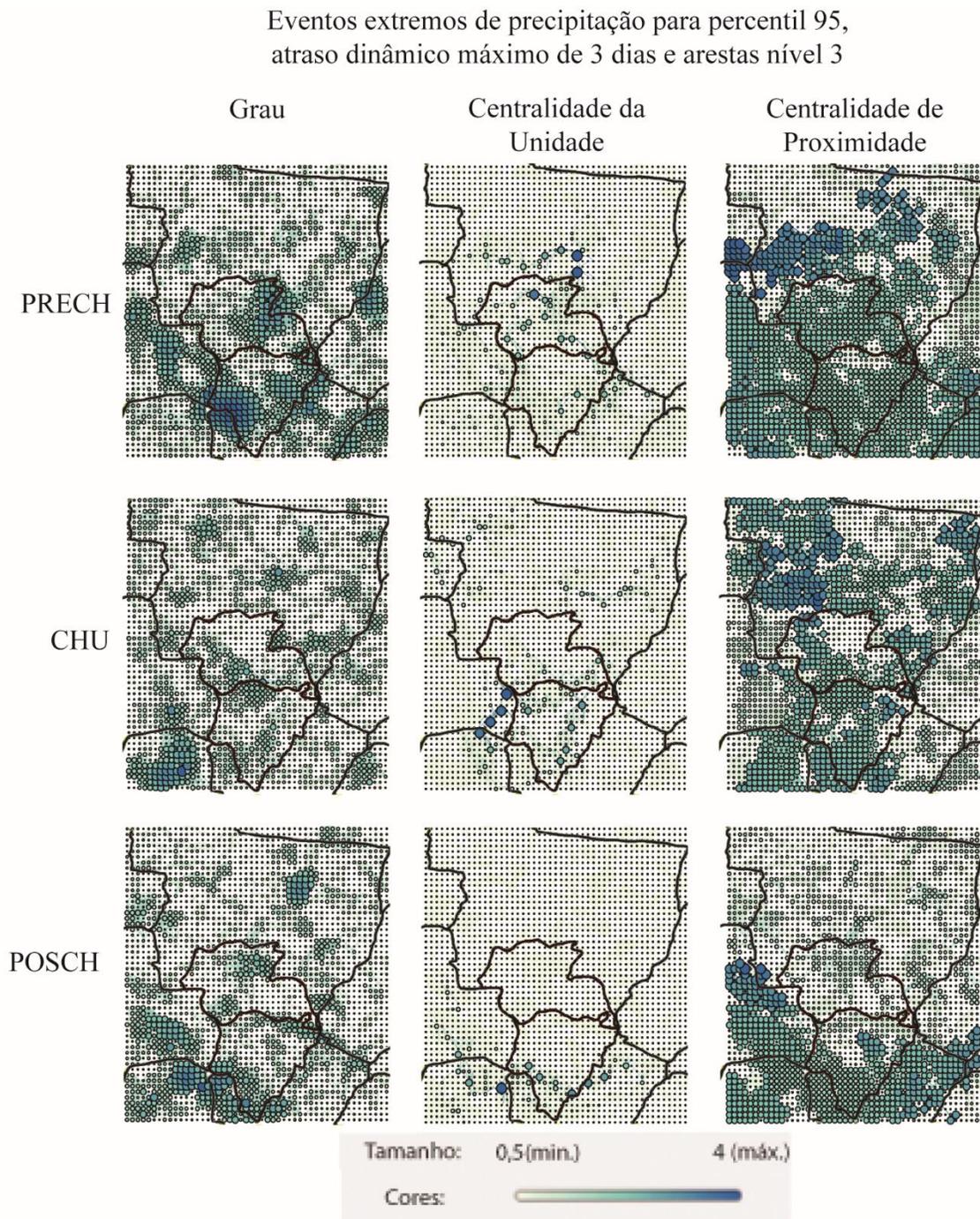
ANEXO 17 - Figura 34a - Eventos extremos de precipitação para percentil 95, atraso dinâmico máximo de 3 dias e arestas nível 1



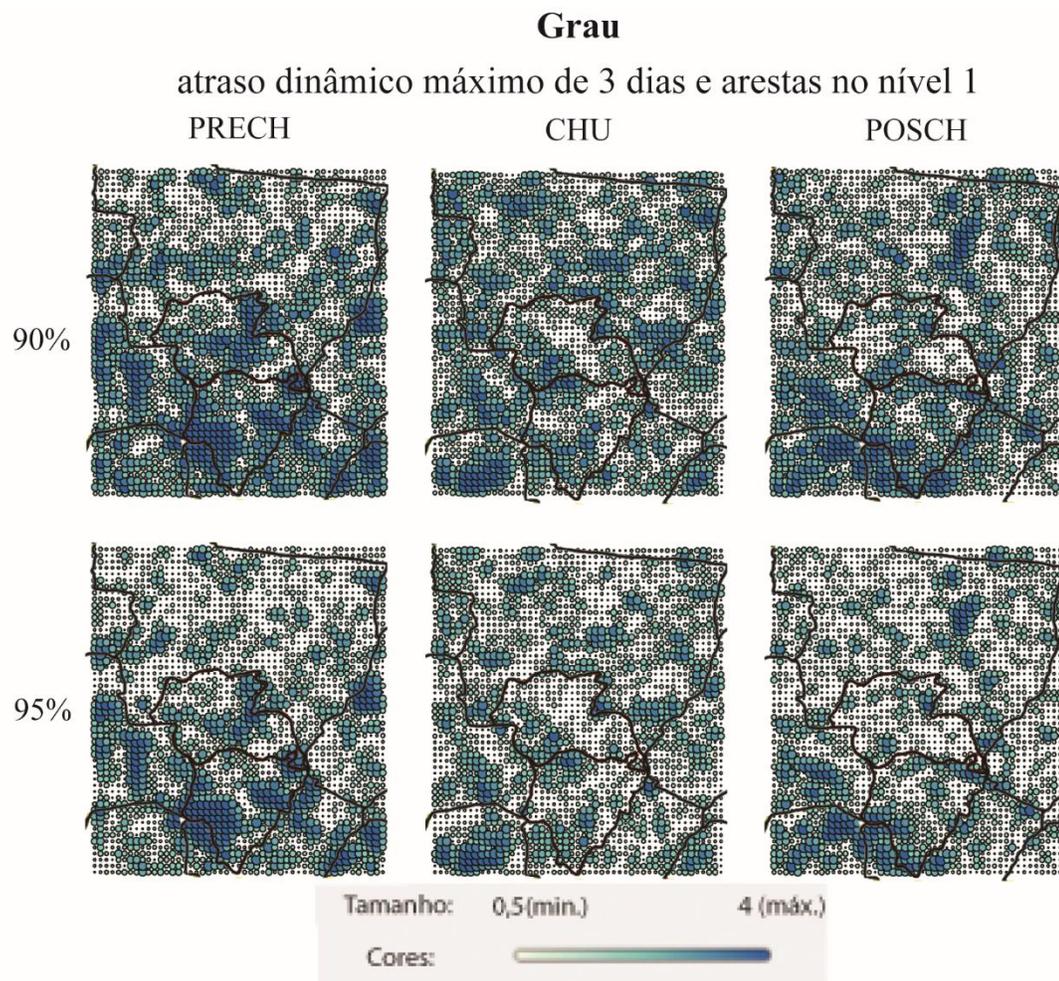
ANEXO 18 - Figura 34b - Eventos extremos de precipitação para percentil 95, atraso dinâmico máximo de 3 dias e arestas nível 2



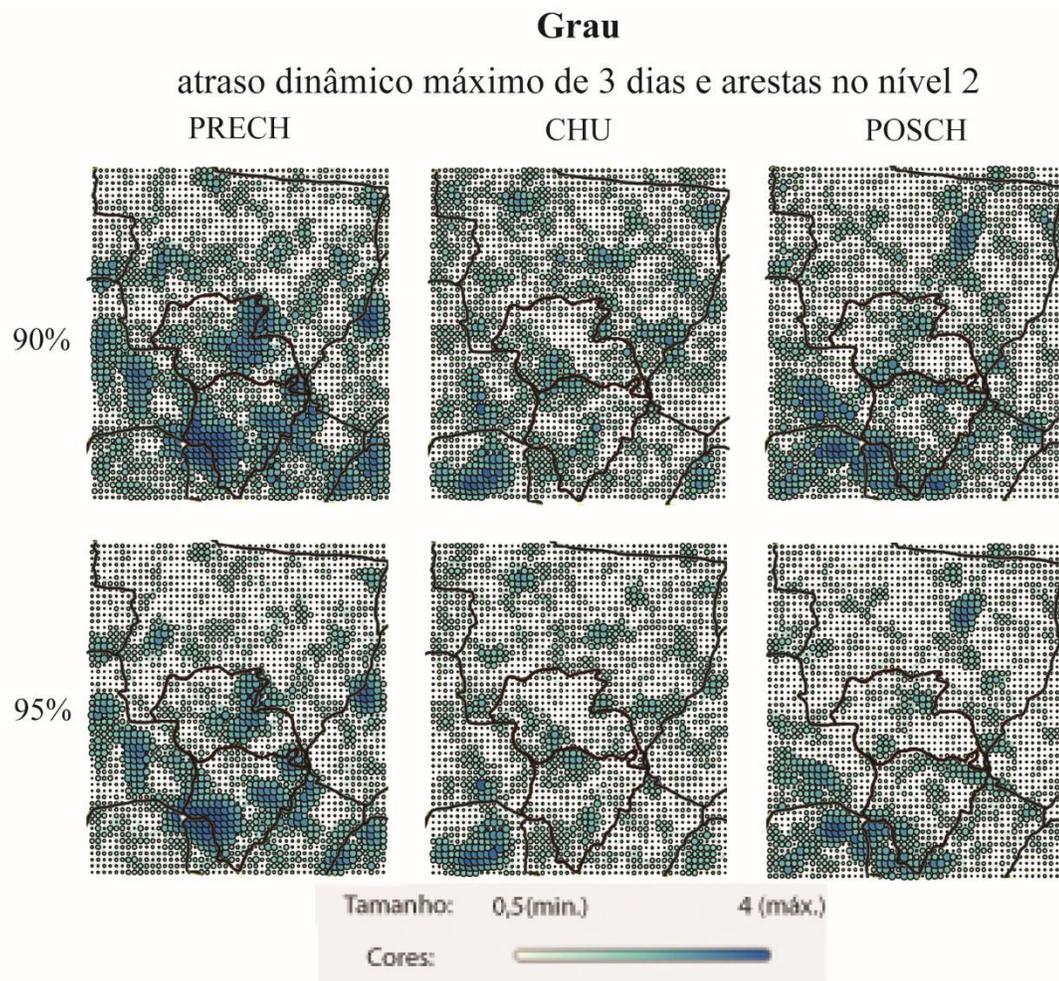
ANEXO 19 - Figura 34c - Eventos extremos de precipitação para percentil 95, atraso dinâmico máximo de 3 dias e arestas nível 3



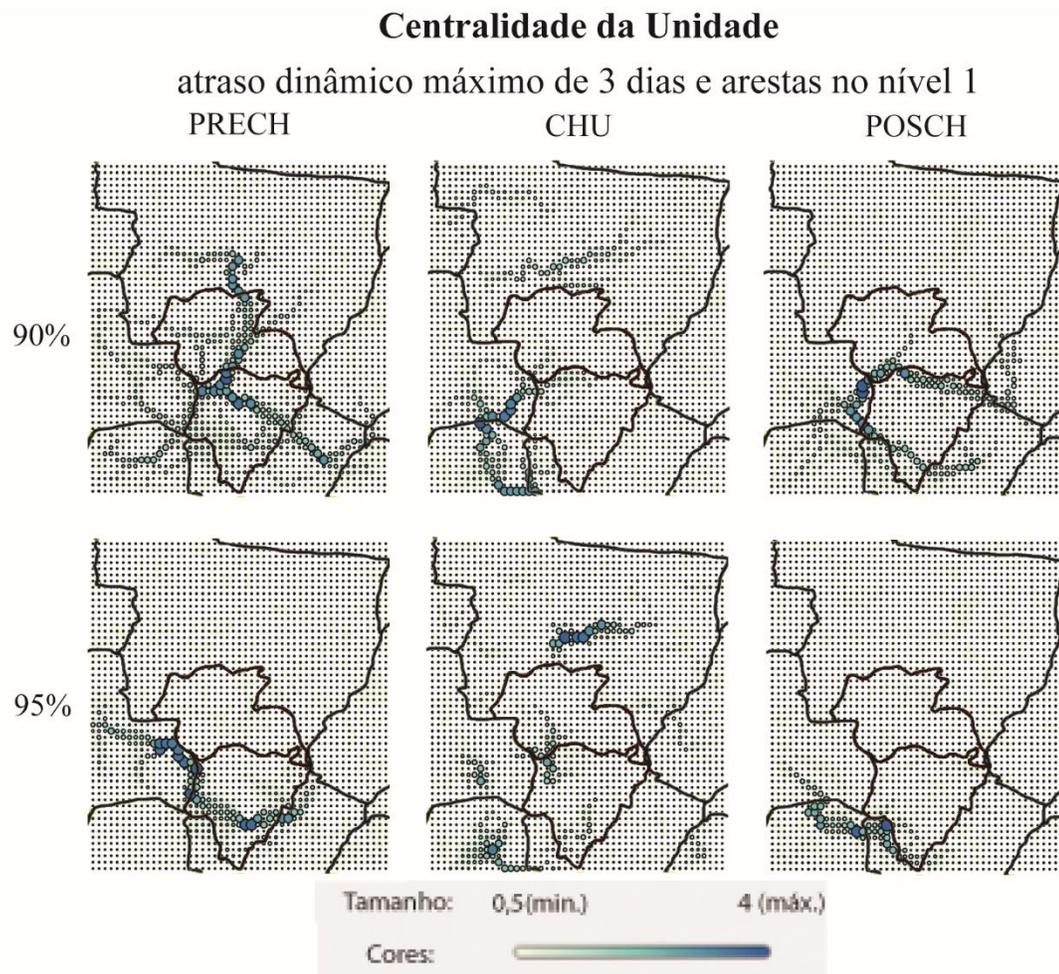
ANEXO 20 – Figura 35a - Medidas de Grau para atraso dinâmico máximo de 3 dias, arestas nível 1 e eventos extremos de percentis 90 e 95.



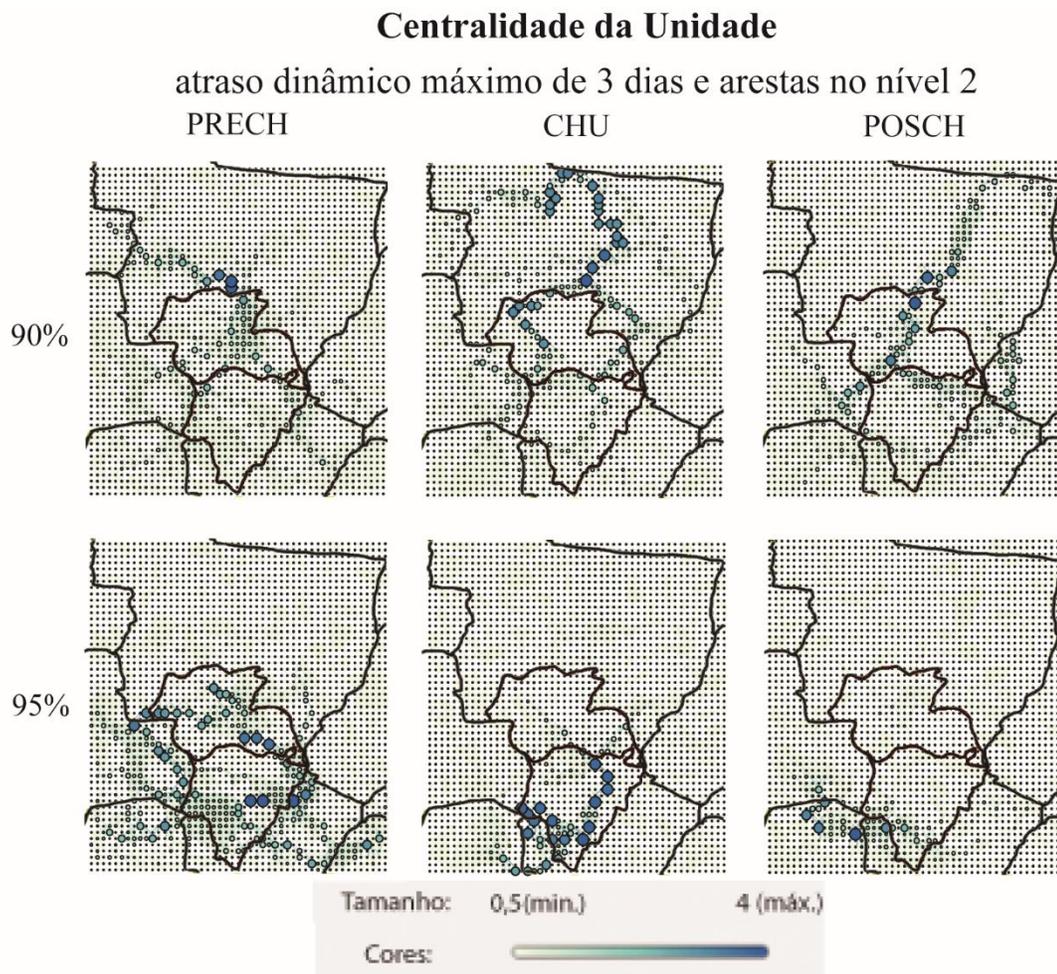
ANEXO 21 - Figura 35b - Medidas de Grau para atraso dinâmico máximo de 3 dias, arestas nível 2 e eventos extremos de percentis 90 e 95.



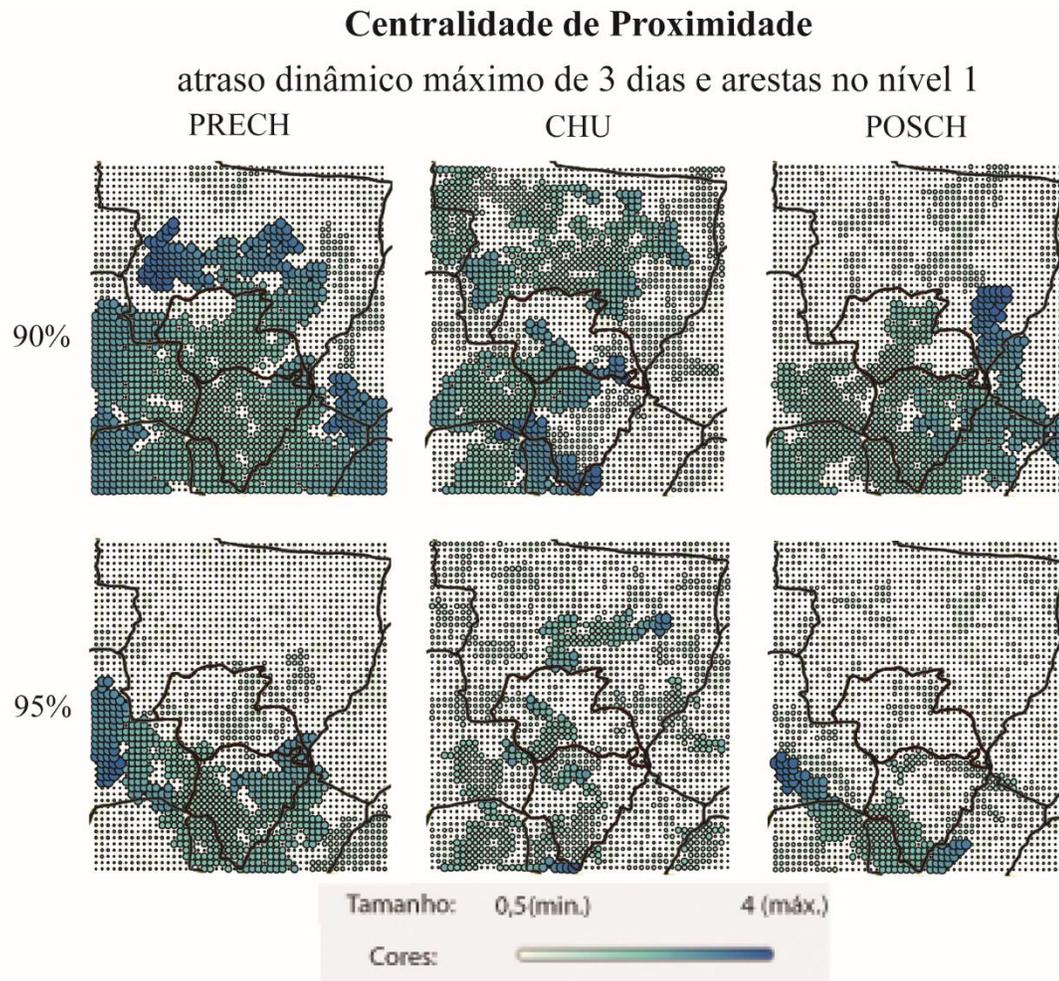
ANEXO 22 - Figura 36a - Medidas de Centralidade da Unidade para atraso dinâmico máximo de 3 dias, arestas nível 1 e eventos extremos de percentis 90 e 95.



ANEXO 23 - Figura 36b - Medidas de Centralidade da Unidade para atraso dinâmico máximo de 3 dias, arestas nível 2 e eventos extremos de percentis 90 e 95.



ANEXO 24 - Figura 37a - Medidas de Centralidade de Proximidade para atraso dinâmico máximo de 3 dias, arestas nível 1 e eventos extremos de percentis 90 e 95.



ANEXO 25 - Figura 37b - Medidas de Centralidade de Proximidade para atraso dinâmico máximo de 3 dias, arestas nível 2 e eventos extremos de percentis 90 e 95.

