



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI  
EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS – PPGCA

AMANDA GAMA ROSA

**AVALIAÇÃO DA AÇÃO DA PRECIPITAÇÃO NAS EROSÕES NA ÁREA  
URBANA DO MUNICÍPIO DE RONDON DO PARÁ-PA, BRASIL**

**Belém - PA**

**2017**

AMANDA GAMA ROSA

**AVALIAÇÃO DA AÇÃO DA PRECIPITAÇÃO NAS EROSÕES NA ÁREA  
URBANA DO MUNICÍPIO DE RONDON DO PARÁ-PA, BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Pará em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/ Amazônia Oriental e Museu Paraense Emílio Goeldi, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientador: Dr. Adriano Marlison Leão de Sousa

**Belém - PA**

**2017**

Dados Internacionais de Catalogação de Publicação (CIP)  
Biblioteca do Instituto de Geociências/SIBI/UFPA

---

Rosa, Amanda Gama, 1992-

Avaliação da ação da precipitação nas erosões na área urbana do município de Rondon do Pará-PA, Brasil / Amanda Gama Rosa. – 2017.

152 f. : il. ; 30 cm

Inclui bibliografias

Orientador: Adriano Marlison Leão de Sousa

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Belém, 2017.

1. Erosão - Rondon do Pará (PA). 2. Precipitação (Meteorologia) - Rondon do Pará (PA). 3. Planejamento Urbano - Rondon do Pará (PA). I. Título.

CDD 22. ed. 551.302098115

---

AMANDA GAMA ROSA

**AValiação DA SUSCETIBILIDADE EROSIVA E DA AÇÃO DA CHUVA NAS  
EROSÕES NA ÁREA URBANA DO MUNICÍPIO DE RONDON DO PARÁ-PA,  
BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais, Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará em parceria com o Museu Paraense Emílio Goeldi e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária da Amazônia Oriental, como requisito para obtenção do título de Mestra em Ciências Ambientais. Área em Clima e Dinâmica Socioambiental na Amazônia.

Data de aprovação: 24 / 02 / 2017

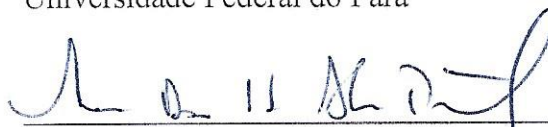
Banca examinadora:



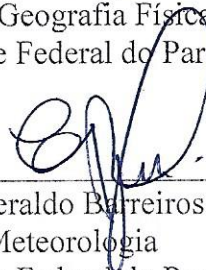
Prof. Dr. Adriano Marlism Leão de Sousa - Orientador  
Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental  
Universidade Federal Rural da Amazônia



Prof. Dr. Tony Carlos Dias da Costa - Membro  
Doutor em Geociências  
Universidade Federal do Pará



Profª. Dra. Marcia Aparecida da Silva Pimentel - Membro  
Doutora em Geografia Física  
Universidade Federal do Pará



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

Dedico,  
Aos meus queridos pais, Marizete e  
Ricardo Rosa, que são exemplos  
para a minha vida.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus pela vida e pela oportunidade do aprendizado.

Ao Dr. Adriano Marlisom Leão de Sousa, pela oportunidade do trabalho, pela orientação, apoio e confiança.

À Universidade Federal do Pará e ao corpo docente do programa de mestrado em Ciências Ambientais pelos conhecimentos transmitidos.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais – PPGCA e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pelo apoio financeiro.

Aos professores Jamer Andrade da Costa, Everaldo Barreiros de Souza e Maria Isabel Vitorino pelo apoio e oportunidade de realização de análises e elaboração de trabalhos.

Ao Serviço Geológico do Brasil – CPRM, em especial à Dianne Danielle Farias Fonseca, pela disponibilidade de dados acerca da erosão em Rondon do Pará - PA e pelo apoio à dissertação.

À Defesa Civil do Estado do Pará, em especial ao Coordenador Adjunto de Defesa Civil Sr. Adailton Francelino de Souza, pela disponibilidade de dados de ocorrências de desastres naturais no Estado do Pará.

Ao Giordane Rafael Sodré pelo apoio e auxílio na análise dos dados de precipitação por satélites.

Aos colegas do Laboratório de Modelagem Hidroclimática da Amazônia: Joyce Tatiane, Juliana Rodrigues, Adrea Dias, Paulo Vinícius e Ana Karla pelo apoio, troca de energia e momentos de descontração.

Aos colegas da turma de mestrado de 2015 pela amizade, incentivo e momentos de alegria.

À família: Ricardo Rosa, Marizete Rosa e Isabela Rosa pelo amor, apoio, carinho e incentivo.

Ao amigo Dario Carvalho pelo companheirismo, apoio e paciência.

A todos aqueles que eu tenha me esquecido de mencionar, mas que foram fundamentais para a realização deste trabalho.

*“A menos que modifiquemos a  
nossa maneira de pensar, não  
seremos capazes de resolver os  
problemas causados pela forma como  
nos acostumamos a ver o mundo.”*

*Albert Einstein*

## RESUMO

Os eventos de desastres naturais têm recebido muito destaque nos últimos anos em função da sua magnitude e intensidade, além do efeito que têm causado sobre a população. A população urbana é uma das mais afetadas, especialmente aquela que ocupa áreas impróprias dentro das cidades, como encostas, áreas baixas que sofrem inundação, áreas sem drenagem adequada, entre outras. Um dos eventos mais recorrentes em áreas urbanas e que estão em evidência no Estado do Pará são os processos erosivos. E é no contexto paraense, mais especificamente no território urbano do Município de Rondon do Pará (Mesorregião do Sudeste Paraense), que este trabalho foi desenvolvido, a fim de gerar informação acerca destes eventos para o poder público e para a população residente, que vem sofrendo com a consequência destes desastres. Para isto, foi avaliado, inicialmente, o comportamento da chuva e seus efeitos sobre as erosões na região, através da análise da Normal Provisória gerada para o local, a partir de dados dos satélites CMORPH, do Balanço Hidrológico e da análise de um estudo de caso dos eventos registrados no município. Posteriormente, através do cálculo e análise da erosividade da chuva (R) de 1999 a 2015 e com projeções para 2035, seu período de retorno e probabilidade de ocorrência, buscou-se identificar qual período do ano e em quais anos é mais provável a perda de solo por erosões. Com base na análise da distribuição e comportamento da chuva na região, foi observado, através da normal provisória, que o ano hidrológico inicia em outubro com a estação chuvosa e finaliza em setembro com o fim a estiagem, sendo o mês de março o mais chuvoso e agosto o menos chuvoso. O balanço hidrológico exibiu excedente hídrico nos meses de janeiro a abril e deficiência hídrica de junho a novembro, havendo reposição a partir de dezembro com a retomada das chuvas. Os casos de erosão apresentaram distribuição anual semelhante à distribuição da precipitação, indicando sua grande influência sobre os mesmos. A análise individual dos casos mostrou que a erosão pode ser decorrente tanto de precipitação ocorrida no dia do evento como acumulada nos cinco dias antecedentes ao evento, sendo este último caso o mais comum. Quanto à análise da erosividade, observou-se que, com base nas análises de 1999 a 2015, o valor do fator R foi  $16.390 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , com probabilidade de 47% de ser igualado ou superado pelo menos uma vez a cada 2,1 anos. No período de 2016 a 2035, o valor de R foi  $13.038 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . Entre fevereiro a abril e janeiro a abril, são prováveis as maiores perdas de solo para 1999-2015 e 2016-2035, respectivamente. A partir das análises realizadas



neste trabalho, foi possível indicar quais os períodos do ano em que são esperadas maior quantidade e intensidade de eventos erosivos.

**Palavras-chave:** Erosão; Precipitação; Planejamento Urbano.

## ABSTRACT

The events of natural disasters have received much attention in recent years due to their magnitude and intensity, as well as the effect they have had on the population. The urban population is one of the most affected, especially the one that occupies inappropriate areas within the cities, like slopes, floodplain areas, areas without adequate drainage, among others. One of the most recurrent events in urban areas and that are in evidence in the State of Pará are the erosive processes. And it is in the Pará context, more specifically in the urban territory of the city of Rondon do Pará (mesoregion southeast Paraense), that this work was developed, in order to generate information about these events for the public power and for the resident population, that has been suffering with the consequence of these disasters. For this, initially, the behavior of the rain and its effects on the erosions in the region was evaluated, through the analysis of the Provisional Normal generated for the place, based on data from the CMORPH satellites, the Hydrological Balance and the analysis of a study of case of events registered in the city. Subsequently, through the calculation and analysis of rain erosivity (R) from 1999 to 2015 and with projections for 2035, its return period and probability of occurrence, it was searched to identify which period of the year and in which years the loss due to erosion is most likely. Based on the analysis of the distribution and behavior of rainfall in the region, it was observed, through provisional normal, that the hydrological year starts in October with the rainy season and ends in September with the aim of drought, being the month of March the wettest and August the less rainy. The hydrological balance showed surplus water in the months from January to April and water deficiency from June to November, with replacement from December with the return of the rains. The cases of erosion presented annual distribution similar to the distribution of precipitation, indicating its great influence on them. Individual analysis of cases showed that erosion may be due as much precipitation occurred on the day of the event as accumulated in the five days prior to the event, the latter being the most common case. Regarding the analysis of erosivity, it was observed that, based on the analyzes from 1999 to 2015, the value of the R factor was  $16,390 \text{ MJ mm ha}^{-1}\text{h}^{-1}\text{year}^{-1}$ , with a probability of 47% being equaled or exceeded at least one once every 2.1 years. In the period from 2016 to 2035, the R value was  $13,038 \text{ MJ mm ha}^{-1}\text{h}^{-1}\text{year}^{-1}$ . Between February to April and January to April, the largest soil losses are likely for 1999-2015 and 2016-2035, respectively. From the

analyzes carried out in this work, it was possible to indicate which periods of the year in which more quantity and intensity of erosive events are expected.

**Key-words:** Erosion; Precipitation; Urban Planning.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01	Percentual de desastres naturais mais frequentes no Estado do Pará (1991-2012).	27
Figura 02	Área de estudo – Área Urbana de Rondon do Pará/PA.	39
Figura 03	Crescimento Populacional do Município, Estado e País.	40
Figura 04	Enchentes ocorridas em Rondon do Pará em dias de chuva.	42
Figura 05	Focos de Erosão em 2013 na área urbana de Rondon do Pará.	43
Figura 06	Erosão Gusmão em 2013.	43
Figura 07	Erosão Rua Leandro em 2013.	44
Figura 08	Erosão Fábrica de Palmito em 2013.	44
Figura 09	Erosão Rua Bahia em 2013.	45
Figura 10	Erosão Varanda da Paz em 2013.	45
Figura 11	Erosão Jaderlândia em 2013.	46
Figura 12	Erosão Novo Horizonte 01 em 2013.	46
Figura 13	Erosão Novo Horizonte 02 em 2013.	47
Figura 14	Focos de erosão em 2015 em Rondon do Pará (CPRM, 2015).	47
Figura 15	Baixo Platô, com processo erosivo.	49
Figura 16	Área urbana do município de Rondon do Pará/PA e localização dos Rios Pebas e Ararandeuá (Imagem CNES/ Atrium extraída do Google Earth).	49
Figura 17	Características da Topografia Local (visualização a partir do bairro Novo Horizonte).	50
Figura 18	Características da Topografia Local (visualização a partir do bairro Jaderlândia).	50

Figura 19	Ponto de deságua de águas pluviais em galerias em Rondon do Pará (na Rua Bahia) em 2015, a esquerda, e em 2016, a direita.	51
Figura 20	Caminho percorrido pelo Rio Ararandeuá, Córrego Pebas e demais.	54
Figura 21	Bairros de Rondon do Pará e a expansão urbana.	57
Figura 22	Normal Provisória do município de Rondon do Pará (PA), com base nos anos 1999 a 2015.	70
Figura 23	Distribuição e frequência de eventos erosivos e distribuição da precipitação em Rondon do Pará (PA) entre 1999 e 2015.	71
Figura 24	Extrato do Balanço Hidrológico de Rondon do Pará (PA) para o período de 1999 a 2015.	72
Figura 25	Capacidade de Água Disponível (CAD) e Armazenamento (ARM) de água no solo durante o ano em Rondon do Pará, com base nos anos de 1999 a 2015.	73
Figura 26	Comportamento da precipitação no dia do evento erosivo e nos cinco dias que o antecederam. Cada gráfico representa um dos eventos erosivos, em ordem cronológica. Observação: O dia do evento é sempre o último dia apresentado no gráfico, representado pela coluna de cor laranja.	75
Figura 27	Domínios dos modelos: (a) global HadGEM2 (resolução 140 x 208 Km) e (b) regional RegCM4 (resolução 28 x 28 Km) sobre a América do Sul tropical com o destaque para (c) a região da Amazônia Legal Brasileira. As cores representam a topografia (m) e as isolinhas azuis mostram a hidrologia (rios principais).	84
Figura 28	Distribuição do fator erosividade (R) médio anual para os períodos de 1999 a 2015 (dados observados) e 2016 a 2035 (dados de modelagem).	88
Figura 29	Distribuição do fator erosividade (R) e da precipitação médias anuais de Rondon do Pará (PA), nos períodos de 1999 a 2015 (a esquerda) e 2016 a 2035 (a direita).	90

Figura 30 Curva de probabilidade de ocorrência e período de retorno da 92  
erosividade anual de Rondon do Pará (PA) no período de 1999 a  
2015.

Figura 31 Curva de regressão entre a erosividade média mensal (R) e o 93  
coeficiente de chuva de Rondon do Pará (PA), nos períodos de 1999  
a 2015 (a esquerda) e de 2016 a 2035 (a direita).

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01	Classificação dos desastres quanto à intensidade.	25
Tabela 02	Satélites de órbita polar utilizados no CMORPH.	35
Tabela 03	Satélites geoestacionários utilizados no CMORPH.	35
Tabela 04	População em Rondon do Pará – 1991, 2000 e 2010.	41
Tabela 05	Disponibilidade hídrica superficial, precipitação e vazão na unidade de planejamento Acará-Guamá.	53
Tabela 06	Histórico de desmatamento pelo PRODES (INPE) para os municípios do entorno, do estado do Pará e da Amazônia Legal.	56
Tabela 07	Eventos erosivos identificados pela Defesa Civil do Estado do Pará entre os anos 1999 e 2015.	70
Tabela 08	Classificação do Índice de Erosividade Anual (R).	85
Tabela 09	Distribuição média mensal da precipitação, da erosividade absoluta e relativa e do coeficiente de chuva de Rondon do Pará (PA), nos períodos de 1999 a 2015 e 2016 a 2035.	87
Tabela 10	Probabilidade de ocorrência e período de retorno dos valores anuais de erosividade de Rondon do Pará (PA) no período de 1999 a 2015.	91

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

°C	Graus Celsius
ANA	Agência Nacional de Águas
ASAN	Alta Subtropical do Atlântico Norte
ASAS	Alta Subtropical do Atlântico Sul
CENAD	Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres
CMORPH	Climate Prediction Center morphing method
CNRH	Concelho Nacional de Recursos Hídricos
COBRADE	Classificação e Codificação Brasileira de Desastres
CPC	Climate Prediction Center
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
E	Energia Cinética da Chuva
ECP	Estado de Clamidade Pública
EI <sub>30</sub>	Índice de Erosividade da Chuva
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EUPS	Equação Universal de Perda de Solo
Ghz	Giga Hertz
GOES	Geostationary Operational Enviromental Satellites
h	Hora
ha	Hectare
hab/km <sup>2</sup>	Habitante por quilômetro quadrado
HadGEM2	Hadley Centre Global Environmental Model version 2
I <sub>30</sub>	Intensidade máxima em 30 minutos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IDHM	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IR	Infrared
km	Quilômetro
km <sup>2</sup>	Quilômetro quadrado
LIs	Linhas de Instabilidade
m <sup>2</sup>	Metro quadrado
MCG	Modelos Climáticos Globais



MCR	Modelos Climáticos Regionais
MDE	Modelo Digital de Elevação
MJ	Mega Joule
mm	Milímetros
MW	Microwave
NCEP	National Centers for Environmental Prediction
NIR	Infravermelho Próximo
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
OMM	Organização Mundial da Saúde
Pa	Precipitação média anual
PIB	Produto Interno Bruto
Pm	Precipitação média mensal
PNRH	Plano Nacional de Recursos Hídricos
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
ppm	Parte por milhão
Pr	Probabilidade de ocorrência
R	Índice de Erosividade da Chuva
R	Red
Rc	Coeficiente de chuva
RCP	Representative Concentration Pathways
RegCM4	Regional Climate Model version 4
SE	Situação de Emergência
T	Período de retorno
TMPA	TRMM Multisatellite Precipitation Analysis
TRMM	Tropical Rainfall Measuring Mission
UTM	Universal Transversa de Mercator
W/m <sup>2</sup>	Watt por metro quadrado
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	20
<b>1.1 Introdução</b> .....	20
1.1.1 Interdisciplinaridade da pesquisa segundo a área de concentração do curso de Pós-graduação em Ciências Ambientais .....	22
1.1.2 Caracterização do problema .....	22
1.1.2 Hipóteses da pesquisa.....	23
1.1.4 Objetivos.....	23
1.1.5 Apresentação do trabalho .....	23
<b>1.2 Referencial Teórico</b> .....	24
1.2.1 Desastres Naturais .....	24
1.2.1.1 Desastres Naturais no Brasil.....	25
1.2.1.2 Desastres Naturais no Pará .....	27
1.2.2 Erosão .....	28
1.2.2.1 Definição e Tipos.....	28
1.2.2.2 Fatores Condicionantes da Erosão.....	30
1.2.3 A Chuva e a Erosão .....	32
1.2.3.1 Chuva Determinada por Satélite.....	33
1.2.3.2 Chuva Determinada por Modelagem.....	36
<b>1.3 Área de Estudo</b> .....	38
1.3.1 Localização.....	38
1.3.2 Aspectos Socioambientais e Econômicos .....	40
1.3.3 Aspectos Geomorfológicos .....	48
1.3.4 Aspectos Pedológicos .....	51
1.3.5 Aspectos Climáticos .....	52
1.3.6 Hidrografia .....	53
1.3.7 Bacias Hidrográficas.....	53
1.3.8 Aspectos da Vegetação.....	54
1.3.9 A Expansão Urbana em Rondon do Pará .....	56
<b>CAPÍTULO 2 - A PRECIPITAÇÃO COMO FATOR ATIVO DE PROCESSOS EROSIVOS</b> .....	65
<b>2.1 Introdução</b> .....	65
<b>2.2 Material e Métodos</b> .....	66

2.2.1	Descrição da área.....	66
2.2.2	Descrição dos procedimentos experimentais.....	67
2.3	<b>Resultados e Discussão</b> .....	69
2.3.1	Normal Provisória de Rondon do Pará (PA) .....	69
2.3.2	A precipitação e os eventos erosivos entre 1999 e 2015 .....	69
2.3.3	Estudo de caso dos eventos erosivos ocorridos em Rondon do Pará (PA) .....	73
2.4	<b>Conclusão</b> .....	77
	<b>CAPÍTULO 3 - A EROSIVIDADE DA CHUVA ATUAL E FUTURA</b> .....	80
3.1	<b>Introdução</b> .....	80
3.2	<b>Material e Métodos</b> .....	82
3.2.1	Descrição da área.....	82
3.2.2	Dados utilizados .....	82
3.2.3	Determinação dos índices de erosividade.....	84
3.2.4	Probabilidade de ocorrência e período de retorno do índice de erosividade .....	85
3.2.5	Distribuição anual e mensal da percentagem acumulada da erosividade.....	86
3.2.6	Correlação entre a precipitação e o índice de erosividade.....	86
3.3	<b>Resultados e Discussão</b> .....	86
3.4	<b>Conclusão</b> .....	94
	<b>4 CONCLUSÕES GERAIS</b> .....	98
4.1	<b>Recomendações</b> .....	99
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	100
	<b>ANEXOS</b> .....	111
	<b>ANEXO A - DISTRIBUIÇÃO DOS DESASTRES NATURAIS POR REGIÃO BRASILEIRA</b> .....	112
	<b>ANEXO B - REGISTRO DOS DESASTRES NATURAIS NO PARÁ DE 1991-2012</b> .....	113
	<b>ANEXO C - REGISTRO DE EROSÕES NO PARÁ DE 1991-2012</b> .....	114
	<b>ANEXO D - PRANCHA DESCRITIVA DE EROSÃO – RUA BAHIA</b> .....	115
	<b>ANEXO E - PRANCHA DESCRITIVA DE EROSÃO – RUA LEANDRO</b> .....	116
	<b>ANEXO F - PRANCHA DESCRITIVA DE EROSÃO – RUA RAUL SILVA (GUSMÃO)</b> .....	117
	<b>ANEXO G - PRANCHA DESCRITIVA DE EROSÃO – RUA FRANCISCO NUNES</b> .....	118
	<b>ANEXO H - PRANCHA DESCRITIVA DE EROSÃO – BAIRRO JADERLÊNDA</b> .....	119

<b>ANEXO I - PRANCHA DESCRITIVA DE EROSÃO – BAIRRO NOVO HORIZONTE 01.....</b>	<b>120</b>
<b>ANEXO J - PRANCHA DESCRITIVA DE EROSÃO – BAIRRO NOVO HORIZONTE 02.....</b>	<b>121</b>
<b>ANEXO L - PRANCHA DESCRITIVA DE EROSÃO – BAIRRO NOVO HORIZONTE 03.....</b>	<b>122</b>
<b>ANEXO M - PRANCHA DESCRITIVA DE EROSÃO – BR - 222.....</b>	<b>123</b>
<b>ANEXO N – ARTIGO PUBLICADO: COMPORTAMENTO DA PRECIPITAÇÃO COMO FATOR ATIVO DE PROCESSOS EROSIVOS NO MUNICÍPIO DE RONDON DO PARÁ, PA (BRASIL) .....</b>	<b>124</b>
<b>ANEXO O - ARTIGO PUBLICADO: EROSIVIDADE DA CHUVA EM RONDON DO PARÁ, PA, BRASIL DE 1999 A 2015 E PROJETADA PARA 2035.....</b>	<b>136</b>

## **CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO GERAL**

### **1.1 Introdução**

Os desastres naturais compõem um tema cada vez mais presente no cotidiano da sociedade. Existe um aumento significativo não apenas na frequência e intensidade destes desastres, mas também nos impactos gerados (CEPED, 2013a). Nos últimos anos, o Brasil tem sofrido inúmeros desastres decorrentes de eventos naturais, como as inundações ocorridas em Alagoas e Pernambuco em 2010, em Santa Catarina em 2011, as chuvas intensas seguidas de movimento de terra na região serrana do Rio de Janeiro em 2011, que se repetiu em 2012 e 2013, entre vários outros acontecimentos. Na região norte do Brasil, os estados mais atingidos por esses tipos de eventos são o Pará, Acre e Amazonas, resultando em perdas de vidas e prejuízos ao meio ambiente, economia e sociedade (CPRM, 2015).

Muitos destes desastres são intensificados pelo crescimento acelerado e desordenado das cidades associado com a falta de planejamento urbano, o que tem potencializado as situações de risco em eventos naturais, causando desastres. Uma das principais causas destes desastres está ligada à ocupação de áreas impróprias, associada à falta de planejamento urbano e à falta de informação, tendo como consequência o dano a milhares de pessoas (MELLO et al., 2006).

Dentre os desastres naturais mais recorrentes, tem-se a erosão, um fenômeno natural que cada vez mais vem atingindo a população instalada em áreas impróprias, como encostas, regiões de solo inadequado à construção, áreas com má drenagem, entre outras (BINDA, 2008). Por definição, a erosão consiste em,

Um processo mecânico que age em superfície e profundidade, em certos tipos de solo e sob determinadas condições físicas, naturalmente relevantes, tornando-se críticas pela ação catalisadora do homem. Traduz-se na desagregação, transporte e deposição de partículas do solo, subsolo e rocha em decomposição pelas águas, ventos ou geleiras (MAGALHÃES, 2001, p.1).

Esses processos podem ser desencadeados naturalmente, em função de características intrínsecas da região, como o tipo de solo e material de origem, precipitação, escoamento superficial, ausência de cobertura vegetal, declividade, entre

outros fatores. Porém, a erosão pode ser acelerada devido à ação humana juntamente com ocupação não planejada (SILVA; MACHADO, 2014).

A ocupação urbana é um fator que tem se destacado nos últimos anos, a qual certas vezes ocorre de forma indiscriminada e sem planejamento do uso do solo, podendo levar a processos erosivos em intensidade e velocidade que superam o limite de tolerância ambiental, pois a cobertura vegetal nativa passou a ser substituída por superfícies modificadas, condicionada por uma constante impermeabilização do solo (BINDA, 2008). Além disso, os solos urbanos passam por intensos processos de revolvimento e mistura dos horizontes, o que destrói a estrutura do solo, sendo um dos principais fatores que causam a compactação e modificação dos mesmos (SIMÕES, 2014). Esses processos podem formar sulcos e ravinas<sup>1</sup> e até voçorocas<sup>2</sup> urbanas, como foi apresentado nas pesquisas de Marçal e Guerra (2006), Karmann (2009), Silva e Machado (2014), entre outros pesquisadores.

Um dos fatores que também estão dentre os mais influentes na ocorrência de processos erosivos é a precipitação, desencadeando a conhecida erosão hídrica. A precipitação é considerada um fator ativo de eventos erosivos, exercendo significativa influência sobre estes através de sua intensidade, duração e frequência (SANTOS et al., 2010).

Dessa forma, o conhecimento das características dos solos, o reconhecimento dos processos de degradação, sua distribuição espacial, do comportamento da precipitação local e, conseqüentemente, da adoção de práticas de conservação do solo, de avaliação e mitigação de impactos ambientais se tornam fundamentais no planejamento urbano.

No contexto do estado do Pará, um município que se destacou nos últimos anos, especialmente em 2015, em casos de eventos erosivos foi o município de Rondon do Pará, especialmente na sua área urbana (RONDON DO PARÁ, 2014; CPRM, 2015). Assim, esta foi escolhida para área de interesse deste estudo, em função de suas

---

<sup>1</sup>A erosões em sulcos são resultantes de irregularidades na superfície do solo que geram canais preferenciais de escoamento de água, formando pequenas incisões na superfície do terreno, que podem evoluir por aprofundamento para ravinas (BONNA, 2011).

<sup>2</sup>São definidas como o estágio mais avançado de erosão e o mais difícil de ser corrigido (BONNA, 2011). Podem ser resultado de diferentes processos: da passagem gradual de erosão laminar para erosões em sulcos e ravinas, que terão, posteriormente, suas dimensões aumentadas; da ação das águas subterrâneas sobre o desenvolvimento lateral e a remontante das voçorocas; e a partir de movimentos de massa de antigos deslizamentos de terra devido o escoamento superficial concentrado na cicatriz do deslizamento (BRAGA, 2007).

peculiaridades e pelo seu histórico de problemas ambientais associados à erosão do solo, principalmente devido às condições naturais da região e da falta de planejamento urbano.

Diante do exposto, este trabalho tem como objetivos principais avaliar, inicialmente, o comportamento da chuva como fator ativo na ocorrência de erosões, e depois a erosividade da chuva na região, tanto atual como futuramente.

#### 1.1.1 Interdisciplinaridade da pesquisa segundo a área de concentração do curso de Pós-graduação em Ciências Ambientais

Esta pesquisa está de acordo com a área de concentração deste curso, *Clima e Dinâmica Socioambiental na Amazônia*, assentindo aos fins interdisciplinares deste programa. A dissertação apresentada envolve tanto a influência do clima e dos outros fatores ambientais sobre os ecossistemas, quando trata do potencial de eventos erosivos, quanto a distribuição do território amazônico em função dos aspectos socioambientais. Além disso, essas duas vertentes estão diretamente associadas ao comportamento social, visto que os efeitos das mudanças da terra, das mudanças climáticas e dos fenômenos naturais podem influenciar na distribuição da sociedade e nas relações sociais.

#### 1.1.2 Caracterização do problema

O conhecimento acerca da ocorrência de erosões, especialmente em áreas urbanas, é crucial para o planejamento territorial. Diante disto, este trabalho apresenta os seguintes problemas de pesquisa:

- Sendo a chuva um dos principais fatores condicionantes da erosão, há distinções no desenvolvimento de processos erosivos quando se considerar variações no comportamento da chuva?
- Com base no histórico da precipitação na região, é possível avaliar o potencial de ocorrer processos erosivos?

### 1.1.2 Hipóteses da pesquisa

- É possível verificar que as características distintas da chuva, ocorrendo no dia do evento ou nos dias que o antecedem, influenciem de forma diferente no desencadeamento de processos erosivos.
- Através da avaliação da erosividade da chuva atual e futura, é possível verificar em quais meses do ano é mais provável o movimento de solo por erosão e quais anos, futuramente, terão mais chances de ocorrência destes eventos.

### 1.1.4 Objetivos

#### a) Geral

Avaliar os processos erosivos, segundo a influência dos seus fatores climáticos, na área urbana do Município de Rondon do Pará (PA).

#### b) Específicos

- Gerar a Normal Provisória e o balanço hidrológico para a área urbana do município de Rondon do Pará.
- Avaliar o comportamento da chuva como fator influente nas ocorrências dos eventos de erosão registradas em Rondon do Pará;
- Determinar a erosividade da chuva atual e futura a fim de identificar os períodos mais propícios à ocorrência de erosões;

### 1.1.5 Apresentação do trabalho

O trabalho foi desenvolvido no contexto por qual passa o município de Rondon do Pará (PA), especialmente sua área urbana, em uma sequência de eventos erosivos que ganhou destaque nos últimos anos, especialmente a partir de 2013. Seu objetivo geral foi avaliar os processos erosivos que vêm ocorrendo no município, através da avaliação do comportamento da chuva no desencadeamento desses processos e da erosividade da chuva para o local. O estudo foi dividido em três partes compondo os capítulos 1, 2 e 3.

O capítulo 1, “**Introdução Geral**”, traz os principais conceitos e referências bibliográficas utilizadas nas discussões dos resultados deste trabalho, além da



caracterização detalhada da área de estudo. O capítulo 2, intitulado “**A Precipitação como Fator Ativo de Processos Erosivos**”, determina a normal provisória para o município de Rondon do Pará (PA) e o seu balanço hidrológico, focando no comportamento da chuva no desencadeamento de erosões durante o ano, além da análise de um estudo de caso dos eventos erosivos registrados oficialmente na área urbana do município entre 1999 e 2015. Posteriormente, o capítulo 3, “**A Erosividade da Chuva Atual e Futura**”, realiza a determinação do índice de erosividade da chuva de 1999 a 2035 para a área urbana de Rondon do Pará, a partir de dados de precipitação observados por satélites (CMORPH) e estimados por modelagem (RegCM4), além da estimativa da probabilidade de ocorrência e período de retorno do índice, sua distribuição anual e sua correlação com a precipitação.

## 1.2 Referencial Teórico

### 1.2.1 Desastres Naturais

Os desastres naturais podem ser decorrentes de diversos fenômenos naturais (inundações, escorregamentos, erosões, terremotos, furacões, tempestades, estiagens e diversos outros) quando estes ocorrem em áreas ocupadas pelo homem, levando o mesmo nome dos fenômenos. (TOMINAGA, 2009).

A UN-ISDR (2009) e Marcelino (2008) conceituam desastre natural como uma grave perturbação do funcionamento de uma comunidade resultando em perdas não somente humanas, como também materiais, econômicas e ambientais, cujos danos superam a capacidade que dada comunidade tem de arcar com seus próprios recursos ou de conviver com o impacto.

Apesar de ter causas especialmente naturais, o que se observa hoje é a intensificação desses desastres naturais sob influência da ação antrópica e da urbanização descontrolada (SIMÕES; OLIVEIRA, 2014).

Os desastres podem ser classificados de acordo com a sua origem e intensidade. Quanto à origem, os desastres podem ser naturais (quando causados por fenômenos e desequilíbrios da natureza, independentemente da ação antrópica) ou Humanos (resultantes de ações ou omissões humanas). Exemplos de desastres naturais são as inundações, escorregamento, tornado, entre outros, e de desastres humanos são os

incêndios urbanos, contaminação de rios, rompimento de barragens e outros (TOMINAGA, 2009; MARCELINO, 2008). Apesar desta definição, o que se observa hoje é que os desastres naturais, mesmo tendo origem natural, podem ter sua intensidade e frequência dependentes da ação ou omissão humana.

Quanto à intensidade, importante para facilitar no planejamento de resposta e recuperação da área atingida, os desastres podem ser classificados em quatro níveis, de acordo com a tabela abaixo (Tabela 01) (MAGALHÃES, 2001).

Tabela 01: Classificação dos desastres quanto à intensidade.

<b>Nível</b>	<b>Intensidade</b>	<b>Situação</b>
<b>I</b>	Desastres de pequeno porte, onde os impactos causados são pouco importantes e os prejuízos pouco vultosos. (Prejuízo menor que 5% do PIB municipal)	Facilmente superável com os recursos do município.
<b>II</b>	De média intensidade, onde os impactos são de alguma importância e os prejuízos são significativos, embora não sejam vultosos. (Prejuízos entre 5% e 10% do PIB municipal)	Superável pelo município, desde que envolva uma mobilização e administração especial.
<b>III</b>	De grande intensidade, com danos importantes e prejuízos vultosos. (Prejuízos entre 10% e 30% do PIB municipal)	A situação de normalidade pode ser restabelecida com recursos locais, desde que complementados com recursos estaduais e federais. (Situação de Emergência - SE)
<b>IV</b>	De muito grande intensidade, com impactos muito significativos e prejuízos muito vultosos. (Prejuízos maiores que 30% do PIB municipal)	Não é superável pelo município, sem que receba ajuda externa. Eventualmente necessita de ajuda internacional. (Estado de Calamidade Pública - ECP)

Fonte: TOMINAGA (2009).

### 1.2.1.1 Desastres Naturais no Brasil

Anualmente muitos desastres resultantes de eventos naturais afetam todo o país, acarretando em, além de perdas materiais, perdas de milhares de vidas humanas, indo além das expectativas dos sistemas de alerta atuantes. Nos últimos anos, o Brasil tem sofrido com diversos destes desastres, com destaque para as inundações de Alagoas e Pernambuco em 2010, de Santa Catarina em 2011, para as enxurradas catastróficas ocorridas na região serrana do Rio de Janeiro em 2011 e nos estados de Minas Gerais e

Espírito Santo em 2012 e 2013. Na região norte do Brasil os estados mais atingidos por desastres naturais, principalmente inundações são o Acre, Amazonas e Pará (CPRM, 2015). No Brasil, os eventos de estiagem e seca, seguidos por enxurrada, inundação, vendavais e granizo são os mais recorrentes (Anexo A).

Em comparação com a década de 1990, a década e 2000 apresentou um aumento de mais de seis vezes da ocorrência de desastres naturais, porém os números de ocorrências não permitem afirmar uma porcentagem exata de aumento de eventos devido à fragilidade histórica do Sistema de Defesa Civil manter seus registros atualizados. O evento de erosão, foco deste trabalho, apresentou um aumento de cerca de 9,6% neste período, afetando no mínimo 1.142.340 pessoas em todo o país (CEPED, 2013a).

Segundo a Defesa Civil Nacional, no período de 1991 a 2012, foram registrados oficialmente 349 casos de desastres associados à erosão no Brasil e, deste total, 31% (108 ocorrências) dos casos ocorreram na Região Norte, a qual apresentou a maior quantidade de registros oficiais de erosões no país (CEPED, 2013a).

Com o objetivo de minimizar perdas humanas e materiais, o Governo Federal criou o Plano Nacional de Gestão de Riscos e Respostas a Desastres Naturais, que consiste em um programa de prevenção de desastres naturais que visa reduzir seus efeitos sobre a população. Segundo o CPRM (2015), este programa,

Em ação coordenada pela Casa Civil da Presidência da República, e em consonância com os Ministérios da Integração Nacional, Ministério das Cidades, Ministério de Ciência e Tecnologia, Ministério da Defesa e o Ministério de Minas e Energia, convênios de colaboração mútua foram firmados para executar em todo o país o diagnóstico e mapeamento de áreas com potencial de risco alto a muito alto (CPRM, p. 4, 2015).

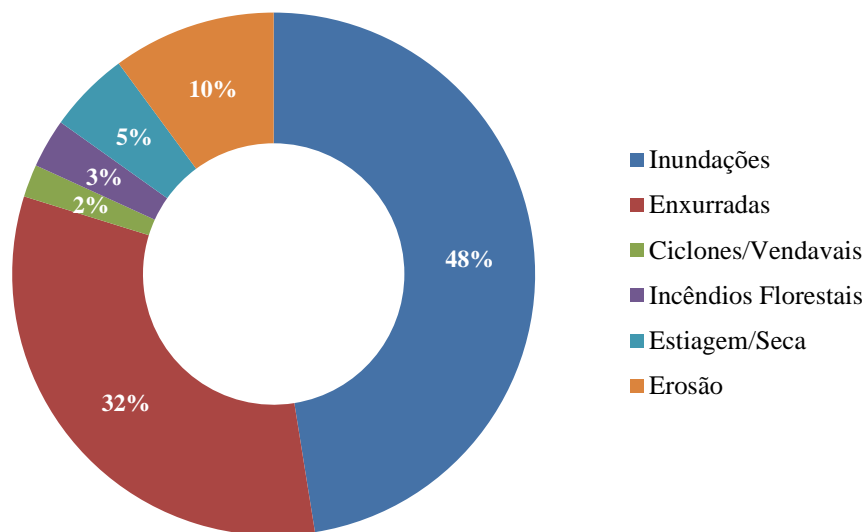
Este programa tem um plano de ação que é dividido em quatro eixos temáticos: prevenção, mapeamento, monitoramento e alerta e resposta a desastres. O mapeamento é realizado pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM), que de 2011 a 2014 realizou o mapeamento de 854 municípios em todo o Brasil. Os produtos gerados neste mapeamento são direcionados primeiramente à Defesa Civil, a qual realiza o monitoramento e a emissão de alertas de ocorrências de eventos. Os resultados também são encaminhados ao Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres (CENAD), que também tem a função de monitoramento, previsão, prevenção,

preparação, mitigação e resposta aos desastres naturais, encaminhando alertas aos estados e municípios em situação de risco (CPRM, 2015).

#### 1.2.1.2 Desastres Naturais no Pará

No Estado do Pará, de 1991 a 2012, foram registradas oficialmente 548 ocorrências de desastres naturais, dentre os quais destacam-se a estiagem e seca, erosão, granizos, incêndios florestais, enxurradas, alagamentos, movimentos de massa, inundações e vendavais (Figura 01), sendo as regiões do Baixo Amazonas e Sudoeste Paraense com maiores números de ocorrências (Anexo B), afetando no mínimo 1.445.862 paraenses (CEPED, 2013b). Estes números parecem altos, porém na realidade este número de eventos tende a ser muito maior, tendo em vista a deficiência na obtenção e armazenamento de dados nos anos iniciais das medições e que alguns municípios do Pará não são mapeados.

Figura 01: Percentual de desastres naturais mais frequentes no Estado do Pará (1991-2012)



Fonte: Adaptado de CEPED (2013b).

De acordo com Martorano (2006), no ano de 2005, 41 dos 143 municípios paraenses foram afetados por desastres naturais. Destes, em um município foi decretado estado de calamidade pública (Novo Progresso), em 13 foi decretado estado de alerta (Itupiranga, Parauapebas, São Felix do Xingu, Nova Ipixuna, Novo Progresso, Baião, Uruará, Portel, Senador José Porfírio, Vitória do Xingu, Gurupá, Belterra e Cachoeira do Arari) e nos demais foi decretada situação de emergência. Os desastres que mais se destacaram

neste ano foram inundações, enchente, estiagem e enxurrada, e grande parte dessas ocorrências está associada a processos hidroclimáticos (FONSECA; SZLFZSTEIN, 2013). As inundações ocorrem em todas as regiões do estado do Pará, especialmente entre os meses de março a maio. Já as estiagens são mais frequentes na região oeste do Estado, principalmente no período de outubro e novembro (NINA; SZLFZSTEIN, 2014).

Estes desastres naturais podem afetar potencialmente as finanças públicas no Estado pela redução das receitas, devido à redução da capacidade produtiva e da arrecadação de impostos na região afetada, e ao aumento dos gastos associados à realização das ações prioritárias de emergência. Além dos impactos financeiros, a ocorrência desses desastres decorre no desalojamento de milhares de famílias, causando problemas de saúde pública, e de infraestrutura (NINA; SZLFZSTEIN, 2014; BENSON; CLAY, 2004).

O Pará foi o estado que apresentou a maior quantidade de registros oficiais de erosões no Brasil entre 1991 e 2012 (54 ocorrências), representando cerca de 20% do total nacional (CEPED, 2013b). No Anexo C apresenta-se a distribuição destes eventos no estado do Pará.

O Estado do Pará está incluído no Plano Nacional de Gestão de Riscos e Respostas a Desastres Naturais, buscando minimizar essas ocorrências e fornecer subsídios e orientações para a população e poder público.

## 1.2.2 Erosão

### 1.2.2.1 Definição e Tipos

Integrante da dinâmica superficial da terra, a erosão constitui-se como o principal modelador fisiográfico do planeta. Consiste em um processo que ocorre naturalmente envolvendo as seguintes etapas: remoção de partículas, transporte e deposição lenta ou acelerada dos materiais, sejam eles formados por rochas, solos ou depósitos superficiais inconsolidados (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990; BONNA, 2011).

De forma geral, os processos erosivos são abordados, quanto a sua natureza, por erosão geológica ou natural (desenvolvimento equilibrado pela renovação/formação do solo, sob condições ambientais naturais) e erosão acelerada ou antrópica (quando o “equilíbrio” do ambiente é rompido por ações humanas; com intensidade superior à formação do solo, impedindo recuperação natural) (BONNA, 2011).

Quanto à sua classificação em função dos seus fatores ativos (condicionantes), as erosões podem ser divididas em 15 tipos, conforme foi proposto por Zachar (1982), porém, em síntese, o mais comum hoje é classificá-las em quatro grandes grupos: erosão eólica, erosão glacial, erosão hídrica e erosão organogênica (CARVALHO et al., 2006).

A erosão eólica é aquela caracterizada pela remoção e deposição do solo por ação do vento. A erosão glacial pode ocorrer de duas formas: quando, em condições de temperaturas muito baixas, as águas da chuva penetram entre as rochas e congelam, passando a exercer maior pressão sobre as rochas, que acabam fraturando; e quando blocos de gelo se desprendem das geleiras, deslizando pelas encostas e desgastando as rochas (CARVALHO et al., 2006; BONNA, 2011). A erosão organogênica é decorrente da ação de organismos, como plantas, animais e humanos (CARVALHO et al., 2006). Por fim, a erosão hídrica é aquela caracterizada pela remoção e transporte dos horizontes superficiais do solo pela ação das águas. É o tipo de erosão mais comum no Brasil e nas regiões de Domínio Tropical úmido, assim será a modalidade que terá mais destaque neste estudo (BONNA, 2011).

A erosão hídrica ocorre a partir da desagregação das partículas de solo como consequência do impacto direto das gotas de chuva, do escoamento superficial, da drenagem dos rios ou também da ação do mar. Após essa desagregação, parte significativa das partículas é transportada, removendo certa quantidade de solo (CEPED, 2013b).

Quanto à erosão hídrica, foco deste trabalho, de acordo com Carvalho et al. (2006) e Bonna (2011), esta pode ser classificada de acordo com seu estado evolutivo em alguns tipos principais: superficial (laminar), erosão interna e erosão em sulco, ravina e voçoroca. A erosão laminar ocorre em condições de solo saturado e de alto escoamento superficial, quando o próprio fluxo da água pluvial é capaz de remover uma camada fina e contínua do solo. A erosão interna, também chamada de erosão subterrânea, é resultante da percolação de água e remoção de partículas no interior do solo, formando cavidades de forma tubular a partir da face de uma encosta ou talude por meio do carreamento de partículas, ou mesmo distante destas. Podem também ocasionar afundamento de uma porção superficial do terreno, processo conhecido como subsidência.

As erosões em sulcos e ravinas podem ser consideradas como uma evolução da erosão laminar e são resultantes de irregularidades na superfície do solo que geram canais preferenciais de escoamento de água, formando pequenas incisões na superfície do terreno na forma de sulcos, que podem evoluir por aprofundamento para ravinas. Enquanto que as voçorocas são definidas como o estágio mais avançado de erosão e o mais difícil de ser corrigido (BONNA, 2011). Podem ser resultado de diferentes processos: da passagem gradual de erosão laminar para erosões em sulcos e ravinas, que terão, posteriormente, suas dimensões aumentadas; da ação das águas subterrâneas sobre o desenvolvimento lateral e a remontante das voçorocas; e a partir de movimentos de massa de antigos deslizamentos de terra devido o escoamento superficial concentrado na cicatriz do deslizamento (BRAGA, 2007). A ocorrência das voçorocas está intimamente relacionada com o ambiente de entorno, especialmente o relevo, tipo de solo e a cobertura vegetal. Podem atingir dezenas de metros de profundidade e centenas de metros de comprimento.

A Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE – 2012) apresenta uma classificação semelhante à proposta pelos autores citados acima, na qual a erosão hídrica pode ser dividida em: Erosão Costeira/Marinha (que se deve à ação das ondas, correntes marinhas e marés), Erosão de Margem Fluvial (desgaste das encostas dos rios devido a processos de corrosão, atrito e cavitação) e Erosão Continental (causada pela água da chuva: laminar, ravinas e voçorocas) (BRASIL, 2012).

#### 1.2.2.2 Fatores Condicionantes da Erosão

A maior ou menor suscetibilidade de uma área à erosão irá depender de variados fatores condicionantes, como o clima, a cobertura vegetal, as características topográficas, o tipo de manejo do solo e a natureza do solo (BONNA, 2011). Certos fatores deflagradores, extrínsecos das condições naturais do solo, podem influenciar grandemente na ocorrência desses eventos, sendo o principal deles o uso e cobertura do solo.

O fator climático está relacionado, especialmente, com a distribuição, quantidade e intensidade de chuvas. A chuva é um dos agentes responsáveis pela energia necessária para a ocorrência da erosão, tanto pelo impacto direto sobre a superfície do solo quanto pela sua capacidade de produzir escoamento superficial (PRUSKI, 2009). Quanto mais intensas elas forem, menos tempo e capacidade os solos terão para a água infiltrar,

favorecendo o aumento do escoamento na superfície e, conseqüentemente, o aumento das chances de ocorrência de erosão laminar, podendo evoluir para sulcos, ravinas e até voçorocas. A quantidade de chuva também é importante, porque uma chuva pode ser de intensidade relativamente baixa, porém pode durar um período muito longo, tornando os solos saturados e suscetíveis à erosão (BONNA, 2011).

O tipo de solo e material de origem tem papel fundamental nos processos erosivos, uma vez que sofre e influencia nesses processos, devido às suas propriedades físicas, químicas e biológicas. A sua espessura também influencia bastante no comportamento erosivo, já que solos mais rasos têm seus horizontes superiores saturados mais rapidamente, favorecendo o desencadeamento de enxurradas (SALOMÃO, 2012).

A declividade do terreno também é um fator importantíssimo do desenvolvimento de erosões, pois menores declividades, de relevos mais planos, favorecem a infiltração da água do solo, reduzindo o escoamento superficial e a chances de erosão. Em casos contrários, onde a declividade é maior, em relevos ondulados, o escoamento superficial aumenta o que aumenta as chances de ocorrências de erosões, principalmente o desenvolvimento de sulcos, ravinas e voçorocas (SILVA; MACHADO, 2014).

O uso e cobertura do solo é um dos fatores deflagradores mais importantes para a ocorrência de erosões. A cobertura vegetal nativa funciona como uma defesa natural do terreno contra processos erosivos, pois ela serve como uma proteção contra o impacto direto das chuvas, dispersão e quebra da energia das águas do escoamento superficial, aumento da infiltração e da capacidade de retenção de água pela estruturação do solo resultante da produção e incorporação da matéria orgânica (SALOMÃO, 2012). Coberturas mais rarefeitas, como campos de cerrado e campos gramíneos, desenvolvidos sobre solos mais jovens, como Cambissolos e Neossolo, por exemplo, são mais suscetíveis a processos erosivos. Áreas de solo exposto apresentam solos mais compactados e mais suscetíveis à erosão em função da ausência de vegetação. Áreas urbanas também possuem solos bastante compactados, além de altamente alterados e impermeabilizados, que, juntamente com o tráfego de pessoas e veículos, podem intensificar a erosão (SILVA; MACHADO, 2014).

Em condições ambientais, a dinâmica da erosão segue uma evolução natural, porém, a partir de intervenções antrópicas, o processo de erosão tende a se acelerar. Como exemplo tem-se a ocupação desordenada do solo pelo homem, resultando em perda de



solos férteis, assoreamento, poluição, desastres urbanos, entre outros impactos. Como consequência direta e previsível, em áreas urbanas, os processos erosivos são capazes de destruir habitações e obras de infraestrutura, destacando-se pela rapidez como ocorrem, pelas dimensões que atingem e pelos problemas que causam (TOMINAGA et al., 2009).

### 1.2.3 A Chuva e a Erosão

No Brasil, a erosão hídrica é uma das principais causas da degradação do solo (TOLEDO et al., 2012). Vários são os fatores que a promovem, como a declividade do terreno, os tipos de solo e seu material de origem, a cobertura vegetal e a precipitação que incide na região, que é considerada um dos principais fatores influentes (LIMA, 2003; PRUSKI, 2006; CABANÊZ et al., 2011). Este processo consiste na desagregação das partículas do solo pela ação do impacto das gotas de chuva e pelo escoamento superficial, que se inicia quando a quantidade de chuva é superior à taxa de infiltração instantânea do solo, ultrapassando o limite de agregação das partículas do solo, permitindo que sejam transportadas e depositadas em outro local (PINESE JÚNIOR et al., 2008).

A chuva é um elemento climático que exerce significativa influência sobre os processos erosivos, principalmente através da sua intensidade, duração e frequência (SANTOS et al., 2010) e, devido a isto, é fundamental analisar suas características. Desde muito tempo, autores como Ellison (1947) tratam da ação da chuva sobre a erosão. Este autor considera que a principal função das gotas de chuva é a de destacar partículas do solo, e a principal função do escoamento superficial é a de transportar materiais destacados do solo. Porém, estudos mais recentes complementam essa afirmação. Lima (2003) considera que, além da função de destacar partícula do solo (“salpicamento”), as gotas de chuva tem o poder de compactar solo pelo efeito da energia cinética que adquirem na queda, afetando a sua capacidade de infiltração e favorecendo o escoamento superficial, principalmente em solos com ausência de cobertura vegetal, a qual atua como uma defesa natural (MORGAN, 2005; TOLEDO et al., 2012).

Diante do exposto, dentro da avaliação dos processos de erosão hídrica é essencial analisar as características da chuva do local estudado. Muitas das vezes, os locais de estudo não apresentam dados satisfatórios de precipitação, seja pela quantidade ou pela qualidade, representando um grande obstáculo para a análise de suas características.

Porém, com o avanço das tecnologias de observação e estimativas de dados foi possível estimar a precipitação a partir da informação de satélites para quase todas as regiões o globo terrestre, auxiliando muitas pesquisas em áreas críticas. Além disso, tem-se a modelagem dos dados de precipitação para o futuro, buscando projetar condições climáticas futuras e, assim, planejar a conservação dos ambientes. A seguir, esses assuntos serão discutidos detalhadamente.

#### 1.2.3.1 Chuva Determinada por Satélite

Em função da vasta variabilidade espacial e temporal, a precipitação é uma das variáveis atmosféricas mais difíceis de estimar. Isso se deve, em grande parte, às precárias redes convencionais e em tempo real de pluviômetros e pela necessidade de uma densa rede de pluviômetros para o conhecimento da distribuição espaço-temporal da precipitação em uma dada região, se tornando um obstáculo à obtenção e avaliação de dados.

Dessa forma, a estimativa de precipitação por sensoriamento remoto, seja por satélites ou radares, mostra-se como uma alternativa, já que permite obter dados de precipitação com resolução espacial e temporal satisfatórias para a maioria das aplicações hidrológicas, embora possam apresentar incertezas associadas aos tipos de sensores (PEREIRA et al., 2013; FALCK et al., 2016). Este tipo de obtenção de dados tem ganhado maior importância em regiões onde variáveis climáticas oriundas de métodos convencionais são limitadas ou inexistentes, como sobre áreas oceânicas e montanhosas, e podem ser muito úteis, por exemplo, para estimar o estresse hídrico e avaliar a disponibilidade de água em regiões críticas (FISHER, 2004; BASTIAANSEN; HARSHADEEP, 2005).

Para a aquisição destes dados, os satélites ou radares possuem sensores passivos e ativos, respectivamente, que são capazes de detectar a radiação eletromagnética emitida e refletida pela superfície terrestre e atmosférica, que é interpretada no espectro eletromagnético através do comprimento de onda. Estes dados são processados pelas agências administradoras e disponibilizados para pesquisas e consultas, especialmente pela internet (JIMÉNEZ et al., 2013).

As técnicas de estimativa de chuva através de imagens de satélites, que será abordada neste trabalho, fazem uso da radiação que é emitida ou refletida pela nuvem.

A estimativa por satélite, geralmente, faz uso de dois tipos de técnicas de obtenção de dados: por infravermelho térmico (IR, do inglês *infrared*) e por micro-ondas passivas ou ativas (MW, do inglês *microwave*). A técnica IR tem como base a temperatura de topo frio das nuvens, permitindo avaliar a evolução dos sistemas precipitantes compostos por nuvens de grande desenvolvimento vertical. Tem grande resolução temporal, pois os sensores estão a bordo de satélites geoestacionários. Porém, existem certas desvantagens, como a que as estimativas de precipitação podem ser afetadas por nuvens do tipo cirrus que são frias e rasas, superestimando os dados (FALCK et al., 2016).

A técnica microondas passivas oferece medidas diretas de precipitação sobre o oceano e indiretas sobre o continente, porém tem baixa resolução espacial e temporal. As micro-ondas ativas oferecem medidas diretas da estrutura vertical da precipitação, porém têm como desvantagens a obtenção de dados em estreita faixa de dados por satélites de órbita baixa e a sensibilidade às taxas de precipitação (FALCK et al., 2016).

A partir desta forma de aquisição de dados de precipitação, produtos são gerados usando uma ou mais técnicas. Dentre estes, os mais utilizados para a América do Sul são: TMPA (TRMM Multisatellite Precipitation Analysis) (HUFFMAN et al., 2007), CMORPH (Center Morphing method) (JOYCE et al., 2004) e GOES (Geostationary Operational Environmental Satellites).

Para este estudo optou-se pelo uso de dados de precipitação estimados pela técnica CMORPH, em função de sua boa aplicabilidade para o Brasil (SODRÉ; RODRIGUES, 2013), do seu período de dados disponíveis, 1998 até o presente, e das características dos seus dados.

A técnica CMOPRH produz análises da precipitação global em alta resolução espacial e temporal, com dados disponibilizados pelo *National Centers for Environmental Prediction (NCEP)* da *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)*. Os seus dados são derivados de um conjunto de sensores micro-ondas de satélites de órbita polar (Tabela 02), propagados no tempo e espaço através de sensores infravermelhos provenientes de satélites geoestacionários (Tabela 03) (ARAÚJO; GUETTER, 2007; SODRÉ; RODRIGUES, 2013).

Tabela 02: Satélites de órbita polar utilizados no CMORPH.

Satélite	Sensor	Resolução espacial (km)	Altitude (km)
TRMM	TMI	4,6 x 6,9	402
DMSP F13	SSM/I	13,0 x 15,0	830
DMSP F14	SSM/I	13,0 x 15,0	830
DMSP F15	SSM/I	13,0 x 15,0	830
NOAA 15	AMSU-B	13,0 x 15,0	830
NOAA 16	AMSU-B	13,0 x 15,0	830
NOAA 17	AMSU-B	13,0 x 15,0	830

Fonte: Araújo e Guetter, 2007.

Tabela 03: Satélites geoestacionários utilizados no CMORPH.

Satélite	Localização do Nadir (no equador)	Comprimento de onda IR ( $\mu\text{m}$ )
GOES 8	75°W	10,7
GOES 10	135°W	10,7
Meteosat 7	0°	11,5
Meteosat 5	63°E	11,5
GMS 5	140°E	11,0

Fonte: Araújo e Guetter, 2007.

As estimativas de precipitação oriundas do microondas são determinadas pelos algoritmos de Ferraro (1997) para o sensor SSM/I, Ferraro et al.,(2000) para o sensor AMSU-B, e Kummerow et al., (2001) para o sensor TMI. As técnicas de micro-ondas são bastante eficientes para a estimativa da precipitação, pois a medida da radiação micro-ondas tem relação direta com a queda da chuva na superfície, ao contrário das técnicas de infravermelho, onde a relação entre a temperatura de brilho do infravermelho e a chuva é indireta (ARAÚJO; GUETTER, 2007). Na técnica de infravermelho, as observações de temperatura de brilho são usadas para deduzir alturas de topo das nuvens, nas quais baixas temperaturas de brilho implicam em altos topos de nuvem, o que resultaria em grande espessura da nuvem e grande probabilidade de chuva (MAIDMENT, 1993). Porém, dada à impossibilidade de discernir a parte convectiva do sistema da parte estratiforme ou nuvens Cirrus, que não geram chuvas, esta técnica de estimativa se mostra menos eficiente que a técnica de micro-ondas.

A energia proveniente do microondas se relaciona com a precipitação de duas formas: emissão/absorção e dispersão. Em baixas frequências de micro-ondas (10-37 Ghz) é notada a emissão termal das gotas de chuva, já em altas frequências (> 85 Ghz) é registrada a dispersão da radiação que sobe as superfície da Terra, em função das partículas de gelo na camada de chuva e topos de sistemas convectivos (JOYCE, 2004).

Visto que a resolução espacial e temporal dos satélites polares é insuficiente para representar satisfatoriamente a faixa de domínio CMORPH, são usados sensores infravermelhos, provenientes de satélites geostacionários, para propagar a varredura do microondas no tempo e no espaço, através de matrizes de propagação. A disponibilidade de dados desses sensores a cada meia hora torna-o muito mais atrativo para uso na propagação de dados de precipitação estimados por micro-ondas, o que torna os dados CMORPH muito eficientes, tanto espacialmente como temporalmente (ARAÚJO; GUETTER, 2007).

Os dados de precipitação resultantes da técnica CMORPH apresentam resolução espacial de 8 km, no equador, podendo apresentar resoluções de estimativas mais grosseiras, na ordem de 12x15 km, que são melhoradas por interpolação. Sua resolução temporal é de 30 minutos, devido à técnica do infravermelho, e tem domínio global, com faixa de observação entre as latitudes 60°N e 60°S (JOYCE, 2004).

#### 1.2.3.2 Chuva Determinada por Modelagem

O interesse na modelagem climática, principalmente regional, tem crescido nas últimas duas décadas, especialmente por causa da grande atenção que se tem dado às mudanças climáticas e cenários futuros, buscando prever e remediar possíveis impactos e fenômenos (GIORGI, 2006). Em função disto, um grande número de modelos climáticos regionais tem sido desenvolvido, com uma ampla base de usuários.

A precipitação é uma das variáveis essenciais para a caracterização climática, principalmente em regiões tropicais (SOUZA et al., 2009). Nessas regiões e, especialmente, na região Amazônica ocorre alta variabilidade pluviométrica espacial, ou seja, a precipitação apresenta comportamento bastante complexo, variando entre suas diversas localidades, em função dos diversos sistemas meteorológicos atuantes (FIGUEIROA; NOBRE, 1990; VILLAR et al., 2009; LOPES et al., 2013). Devido a essa complexidade, os estudos que usam a modelagem climática têm um grande desafio.

A modelagem tem o objetivo de basicamente simular o clima futuro e tem sido proposta em estudos referentes a áreas que precisam de séries de precipitação, visto a grande aplicação prática, como em obras hidráulicas, análise de viabilidade econômica,

no planejamento da irrigação, no manejo das culturas agrícolas, entre várias outras aplicações (BAÚ et al., 2013).

Os modelos climáticos são ferramentas capazes de auxiliar na análise de possíveis mudanças climáticas em uma dada região ou em padrões globais, investigando os mecanismos e processos reguladores do clima e sua variabilidade espaço-temporal. Estes modelos incluem os Modelos Climáticos Globais (MCG) e os Modelos Climáticos Regionais (MCR). Os MCG têm a desvantagem de possuir baixa resolução espacial horizontal, na ordem de centenas de quilômetros, o que os impossibilita de avaliar fenômenos atmosféricos de escalas menores. Enquanto isso, os MCR possuem um domínio limitado, à determinada região avaliada, e maior resolução espacial, chegando a dezenas de quilômetros, permitindo enxergar e analisar características terrestres que não eram possíveis de ser observadas pelos MCG, por exemplo, declividade do terreno, vegetação, linha de costa, sistemas de brisas e frentes, entre outros (SALES et al., 2015).

Diante disto, a fim de se desenvolver estudos que façam uso de informações em escala regional e local, que não é conseguido com MCG, são utilizadas técnicas de regionalização das análises geradas pelos MCGs, como o *downscaling* dinâmico (PBMC, 2013), onde os resultados servem de entrada para forçar um MCR, que permitem uma melhor apresentação dos aspectos climáticos observados e reduzem os erros apresentados pelo global (WANG et al., 2004; SALES et al., 2015).

Diversos estudos concordam que, atualmente, a ferramenta mais adequada para estudos sobre o clima atual e futuro é o *downscaling* (regionalização) dinâmico (AMBRIZZI et al., 2007; PBMC, 2013; SOUZA et al., 2016). Esta ferramenta refere-se ao uso de um modelo regional aninhado a um modelo global, como dito anteriormente, onde as saídas dos modelos globais servem como condições de fronteira dentro de um modelo regional que se realiza as simulações em alta resolução espacial (AMBRIZZI et al., 2007).

Um dos modelos climáticos mais recentes e vastamente utilizados, que fazem uso desta ferramenta, é o modelo climático regional RegCM4 (GIORGI et al., 2012), o qual será aplicado neste trabalho no capítulo 3.

Este modelo é possível de ser aplicada em diversas regiões do globo, como sobre a África, Ásia, Europa e Américas. Na América do Sul, especialmente sobre o Brasil e a Amazônia, o RegCM4, e suas versões anteriores, tem sido utilizado em estudos climatológicos sobre o ciclo anual da precipitação com diversas abordagens (SOUZA et al., 2009; MACHADO; ROCHA, 2011; ROCHA et al., 2012; SOUZA et al., 2016).

O RegCM4 faz uso dados observacionais de precipitação com resolução espacial horizontal de  $0,5^\circ$  (~ 55 km em latitude e longitude) gerados através do sistema de análise de dados observacionais do *Climate Prediction Center* (CPC, NOAA-USA), os quais são baseados em registros das estações de superfície da rede meteorológica nacional e estadual (CHEN et al., 2008).

A simulação do clima na Amazônia, conduzida por Souza et al. (2016), e consequentemente na área de interesse deste trabalho, foi realizada aplicando o *downscaling* dinâmico sobre o modelo climático regional RegCM4 aninhado com o modelo climático global do *Hadley Centre Global Environmental Model version 2* (HadGEM2) (COLLINS et al., 2011), para o cenário RCP 4.5 (*Representative Concentration Pathways*) (VAN VUUREN et al., 2001), que é considerado intermediário em termos da forçante radiativa global de aproximadamente  $4,5 \text{ W/m}^2$  (~ 650 ppm de  $\text{CO}_2$  equivalente) até 2100.

Contudo, os dados de precipitação gerados dessa forma são muito úteis para previsões climáticas e aplicações na previsão de fenômenos naturais, como a erosão, permitindo que os tomadores de decisão realizem o planejamento com mais eficiência.

### 1.3 Área de Estudo

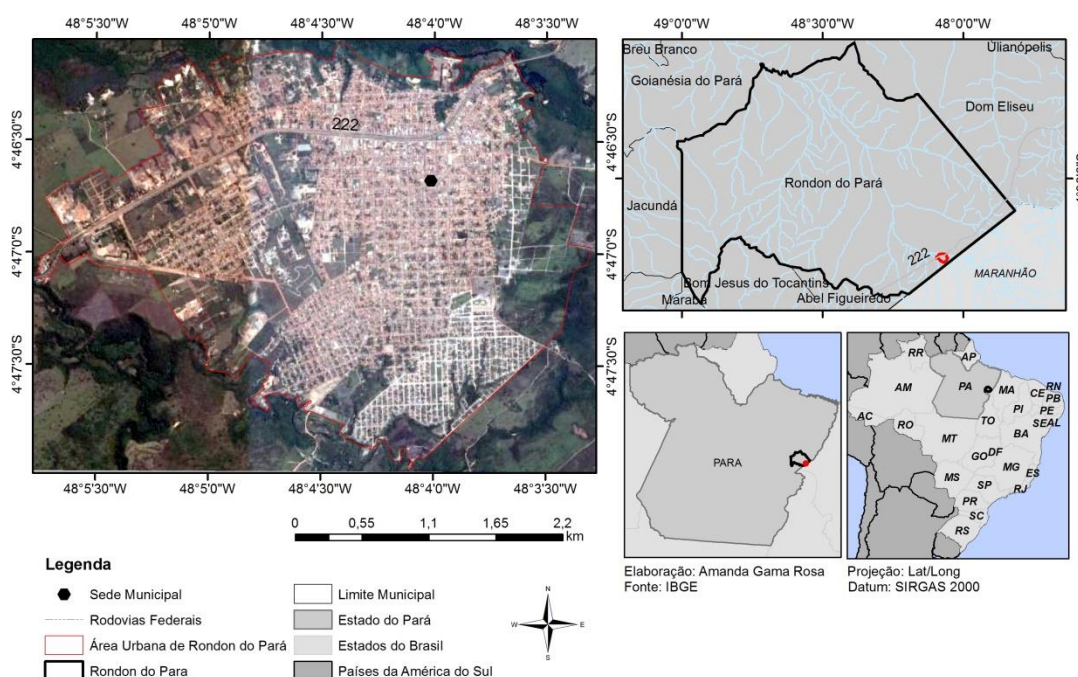
#### 1.3.1 Localização

Localizada na região norte do território brasileiro, a área de estudo compreende a área urbana do município de Rondon do Pará/PA (Figura 02), o qual está situado na mesorregião do sudeste paraense e na microrregião Paragominas. Rondon do Pará foi criada através da Lei n° 5.027 de 13 de maio de 1982, com área desmembrada do município de São Domingos do Capim. Sua instalação ocorreu no dia 2 de fevereiro de 1983. Em 1991, teve parte de suas terras desmembradas para constituir, juntamente com as áreas desmembradas dos municípios de Jacundá, Moju e Tucuruí, o município de

Goianésia do Pará. Atualmente, o município de Rondon do Pará é constituído de apenas um distrito, embora existam diversas aglomerações distribuídas pelo território municipal (RONDON DO PARÁ, 2006).

O município em questão possui extensão territorial de 8.296,394 km<sup>2</sup> e sua área urbana possui cerca de 9,54 km<sup>2</sup>, representando aproximadamente 0,11% da área do município, tendo sua sede municipal nas coordenadas geográficas 4°46'34" de latitude sul e 48°04'02" de longitude oeste. Limita-se ao norte com os municípios de Goianésia do Pará e Dom Eliseu; ao sul com os municípios de Abel Figueiredo, Bom Jesus do Tocantins e Marabá; a leste com o município de Jacundá, e a oeste com o estado do Maranhão. O principal acesso ao município por via terrestre se dá através da Rodovia BR-222, tendo como alternativa a estrada do Surubijú (CPRM, 2015).

Figura 02: Área de estudo – Área Urbana de Rondon do Pará/PA.



Fonte: ROSA, et al. (2016).

Trata-se de um território em movimento, ou seja, que ainda está em processo de conformação de sua dinâmica em termos socioeconômicos, especialmente em função de sua localização, às margens de rodovias, das atividades econômicas desenvolvidas e da exploração de recursos naturais.

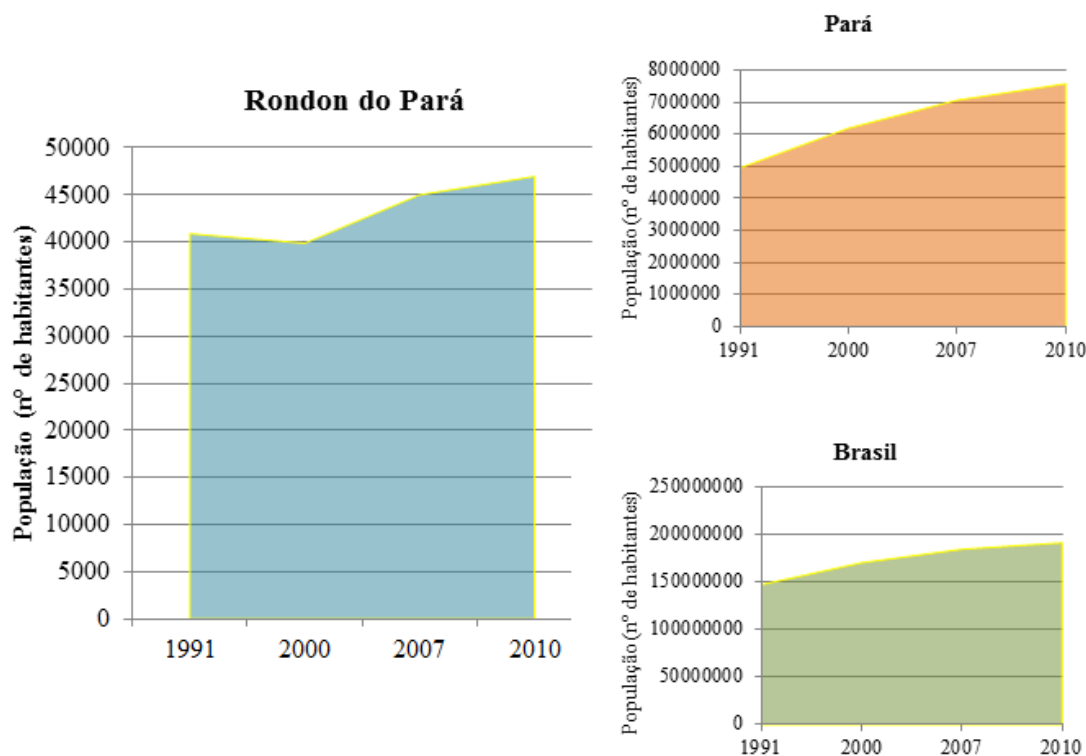


### 1.3.2 Aspectos Socioambientais e Econômicos

Segundo o Censo de 2010, realizado pelo IBGE (2010), a população do município era de 46.964 habitantes, sendo 34.696 na zona urbana e 12.268 na zona rural. A estimativa para o ano de 2016 era de 50.460 habitantes, representando um aumento de 5% da população e uma densidade demográfica de 5,7 hab/km<sup>2</sup>, sendo 74% residente em área urbana e 26% residente em área rural. Este crescimento populacional foi inicialmente caracterizado pelo extravasamento natural de seu núcleo primitivo, ao longo da BR- 222.

Posteriormente, o município de Rondon do Pará apresentou crescimento populacional acelerado associado à ocupação de áreas inadequadas (CPRM, 2015), assim como ocorreu em vários municípios brasileiros. Este município, assim como os demais municípios do Brasil, apresentou elevado crescimento da população urbana a partir de 1970, em função de um enorme fluxo imigratório, tornando a população, que era predominantemente rural, em sua maior parte urbana (BINDA, 2008). A Figura 03 apresenta as taxas de crescimento populacional do município em comparação com o Estado do Pará e o Brasil, conforme os últimos censos e contagens do IBGE.

Figura 03: Crescimento Populacional do Município, Estado e País.



Fonte: Autor.

A partir de 1990, estabeleceu-se a ocupação progressiva da periferia, marcada pela exclusão social e precariedade de infraestrutura de saneamento. A Tabela 04 apresenta a evolução da população total, urbana e rural para os anos de 1991, 2000 e 2010, bem como as taxas de urbanização, de acordo com dados do IBGE (2010).

Tabela 04: População em Rondon do Pará – 1991, 2000 e 2010.

<b>População</b>	<b>1991</b>	<b>2000</b>	<b>2010</b>
<b>Urbana</b>	26.400 habitantes	30.061 habitantes	34.696 habitantes
<b>Rural</b>	14.479 habitantes	9.809 habitantes	12.268 habitantes
<b>Total</b>	40.879 habitantes	39.870 habitantes	46.964 habitantes
<b>Taxa de Urbanização</b>	64,58%	75,40%	73,88%

Fonte: Autor.

O Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM 2010) em Rondon do Pará é 0,602, classificando o município como de Médio Desenvolvimento Humano, de acordo com o PNUD, que varia entre o IDH 0,5 e 0,8. Comparado com o IDHM de 2000 (0,461), a região apresentou um aumento no desenvolvimento de 30,59% (IBGE, 2010).

As principais atividades econômicas, do setor primário, realizadas no município são as associadas à produção animal, com destaque a produção leiteira integrada à Indústria de laticínios e a produção pecuária bovina, e agrícola, especialmente de mandioca, pimenta-do-reino e banana. O setor secundário se destaca com a indústria de transformação ligada à produção de madeira nativa, pequenas panificadoras, movelarias, pequenas gráficas, além de indústria de torrefação e de beneficiamento de café e arroz. O setor terciário, setor de serviços e comércio de produtos, é a principal expressão econômica, em termos de participação no PIB municipal (69,38 %), em Rondon do Pará (RONDON DO PARÁ, 2014).

Entretanto, esse crescimento, tanto econômico quanto social, não foi acompanhado por planejamento de expansão urbana e, assim, áreas inadequadas à ocupação passaram a ser loteadas. Essa ocupação irregular na área urbana é um dos fatores causadores das ocorrências de enxurradas (Figura 04), movimentos de massa e erosões no município,

principalmente nos últimos anos, como os casos apresentados pelas mídias (G1 PARÁ, 2015; AGÊNCIA PARÁ, 2015) e por estudos (CPRM, 2015).

Figura 04: Enxurradas ocorridas em Rondon do Pará em dias de chuva.

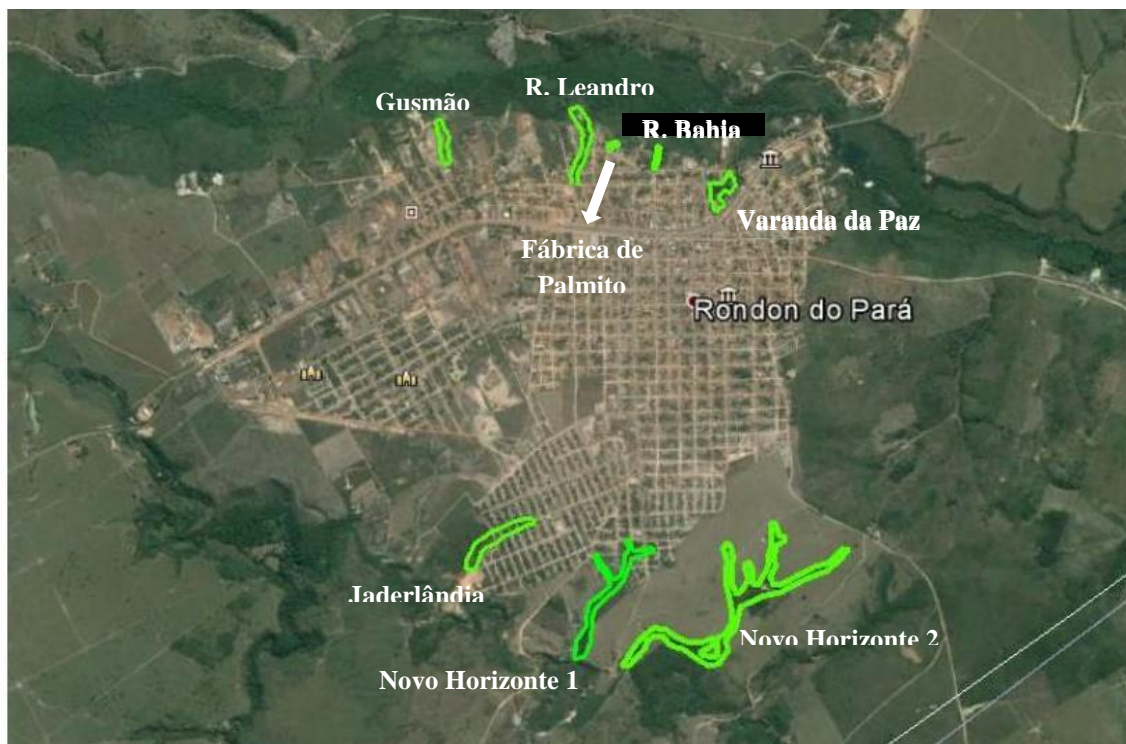


Fonte: Rondon do Pará, 2014.

No ano de 2013, de acordo com estudos ambientais elaborados pela empresa Votorantim (RONDON DO PARÁ, 2014), que se instalava na região, oito pontos de erosões graves foram identificados na área urbana de Rondon do Pará (Figura 05): Erosão Gusmão, de 8.399,46 m<sup>2</sup> (Figura 06), Erosão da Rua Leandro, de 13.445,75 m<sup>2</sup> (Figura 07), Erosão na Fábrica de Palmito, de 1.698,55 m<sup>2</sup> (Figura 08), Erosão da Rua Bahia, de 505,42 m<sup>2</sup> (Figura 09), Erosão Varanda da Paz, de 8.040,49 m<sup>2</sup> (Figura 10), Erosão Jaderlândia, de 8.341,02 m<sup>2</sup> (Figura 11), Erosão Novo Horizonte 01, de 37.823,49 m<sup>2</sup> (Figura 12), e Erosão Novo Horizonte 02, de 77.427,42 m<sup>2</sup> (Figura 13).

De acordo com CPRM (2015), em janeiro de 2015 nove casos de erosão foram identificados em Rondon do Pará (Figura 14) e, depois de mais de um ano do ocorrido, nada foi feito. Destes nove casos identificados em 2015, seis são os mesmos identificados em 2013: Rua Bahia, Rua Leandro, Gusmão (Rua Raul Silva), Novo Horizonte 01, Jaderlândia e da Fábrica de Palmito (Rua Francisco Nunes).

Figura 05: Focos de Erosão em 2013 na área urbana de Rondon do Pará.



Fonte: Rondon do Pará, 2014.

Figura 06: Erosão Gusmão em 2013.



Fonte: Rondon do Pará, 2014.

Figura 07: Erosão Rua Leandro em 2013.



Fonte: Rondon do Pará, 2014.

Figura 08: Erosão Fábrica de Palmito em 2013.



Fonte: Rondon do Pará, 2014.

Figura 09: Erosão Rua Bahia em 2013.



Fonte: Rondon do Pará, 2014.

Figura 10: Erosão Varanda da Paz em 2013.



Fonte: Rondon do Pará, 2014.

Figura 11: Erosão Jaderlândia em 2013.



Fonte: Rondon do Pará, 2014.

Figura 12: Erosão Novo Horizonte 01 em 2013.



Fonte: Rondon do Pará, 2014.

Figura 13: Erosão Novo Horizonte 02 em 2013.



Fonte: Rondon do Pará, 2014.

Figura 14: Focos de erosão em 2015 em Rondon do Pará (CPRM, 2015).



Fonte: Autor.



O Serviço Geológico do Brasil – CPRM, em 2015, seguindo as diretrizes do Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres Naturais, mapeou os focos de muito alto risco de erosões em Rondon do Pará e, como resultado, elaborou pranchas com a caracterização de cada erosão identificada. As pranchas descritivas das erosões da Rua Bahia, Rua Leandro, Rua Raul Silva (Gusmão), Rua Francisco Nunes (Fábrica de Palmito), do bairro Jaderlândia, do bairro Novo Horizonte 01, 02, 03, e da BR-222 estão apresentadas nos Anexos D, E, F, G, H, I, J, L e M, respectivamente.

Desde janeiro de 2016 as famílias afetadas pedem ações do poder público para solucionar o problema, mas não recebem respostas. Outras casas ainda correm risco de desabamento (G1 PARÁ, 2016a).

Em setembro de 2015 a prefeitura de Rondon do Pará realizou um convênio com o Ministério da Integração Nacional para dar início às obras de recuperação da Rua Bahia, a mais afetada. A obra foi orçada em R\$ 4 milhões. Em janeiro de 2016 o município recebeu R\$ 1.245.997 milhão e teve o prazo de começar as obras até 30 de maio, mas até então a restauração não foi iniciada nem o cronograma de obras foi apresentado (G1 PARÁ, 2016b).

Em 16 de junho de 2016 o Ministério Público do Estado do Pará entrou com Ação de Obrigação de Fazer contra o município, em função do não cumprimento do Termo de Ajustamento (TAC) em que a prefeitura se comprometeu em recuperar a área atingida pela cratera, em setembro de 2015 (G1 PARÁ, 2016c).

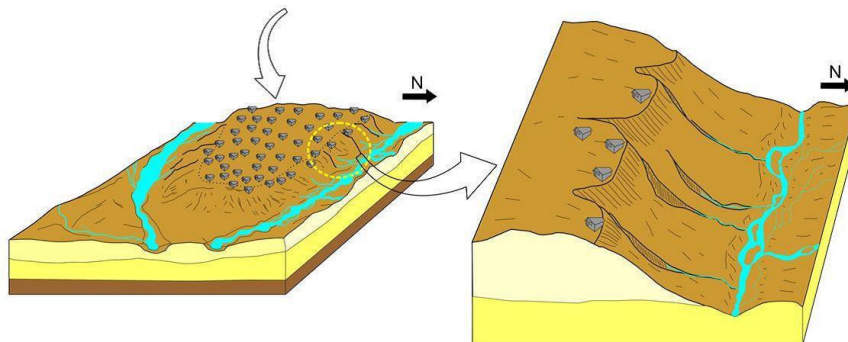
A população de Rondon do Pará continua aguardando um posicionamento da prefeitura. Enquanto isso, os indivíduos afetados, cerca de 35 pessoas (PARÁ, 2015), continuam em moradias alugadas pela prefeitura e não têm previsão de retorno para suas propriedades.

### 1.3.3 Aspectos Geomorfológicos

De acordo com CPRM (2013), a região do município está localizada geomorfologicamente no Domínio de Colinas Dissecadas e Morros Baixos. Seguindo esta informação, a área urbana apresenta um tipo de relevo chamado baixo platô, com amplitude média de cerca de 95 metros, com altitudes que variam entre 130 e 225 metros, e bordas significativamente íngremes, gerando, pontualmente, morros ondulados, com declividades entre 70 – 80° (Figura 15). Esta característica de baixo

platô age como um divisor de águas entre o rio Ararandeuá, ao norte, e o córrego dos Pebas, ao sul (Figura 16) (RONDON DO PARÁ, 2014; CPRM, 2015). As figuras 17 e 18 ilustram as características da topografia no limite da zona urbana, com limites contornados pelo córrego dos Pebas.

Figura 15: Baixo Platô, com processo erosivo.



Fonte: CPRM, 2015.

Figura 16: Área urbana do município de Rondon do Pará/PA e localização dos Rios Pebas e Ararandeuá (Imagem CNES/ Atrium extraída do Google Earth).



Fonte: Autor .

Figura 17: Características da Topografia Local (visualização a partir do bairro Novo Horizonte).



Fonte: Rondon do Pará, 2014.

Figura 18: Características da Topografia Local (visualização a partir do bairro Jaderlândia).



Fonte: Rondon do Pará, 2014.

De acordo com o apresentado pelo Zoneamento Agroecológico do Município de Rondon do Pará (EMBRAPA, 2003), segundo os trabalhos realizados pelo projeto RADAMBRASIL (BRASIL, 1973 e 1974), o município é representado, em sua maior parte, por relevo fortemente dissecado nas formações sedimentares Barreiras (arenitos, siltitos e argila) e Itapecurú (arenitos finos, caulínicos e argilitos laminados vermelhos), apresentando superfícies com bordas erosivas que se inclinam para o norte e nordeste, informações estas corroboradas e complementadas por CPRM (2015). Estas características geram naturalmente uma dinâmica marcada pelo processo erosivo hídrico em ravina, ocasionado pela atuação de águas pluviais.

Esses processos erosivos, naturais de evolução geomorfológica, se intensificam entre novembro e maio, período de grande precipitação na região. Porém, a expansão da urbanização também tem contribuído para a aceleração dessas ocorrências, tendo em vista que há uma substituição da cobertura do solo, de vegetação nativa para construções urbanas, causando instabilidade das encostas das bordas e da cabeceira da ravina. Além destes, ainda há outro fator que acelera esta dinâmica, a concentração de águas pluviais em galerias que deságuam em poucos pontos na cidade (Figura 19) (CPRM, 2015).

Figura 19: Ponto de deságua de águas pluviais em galerias em Rondon do Pará (na Rua Bahia) em 2015, a esquerda, e em 2016, a direita.



Fonte: CPRM, 2015; G1 PARÁ (2016a).

#### 1.3.4 Aspectos Pedológicos

Os solos do município de Rondon do Pará, geologicamente, são de baixa fertilidade, fato ligado ao seu material de origem caracterizado por sedimento da Formação Barreiras, pobre em nutrientes. De acordo com o mapeamento, os solos dominantes no

município são: Latossolo Amarelo Distrófico, Argissolo Amarelo, Argissolo Vermelho Amarelo e Gleissolo Háptico. Outros foram identificados, porém em menor proporção, tais como: Latossolo Amarelo Distrófico concrecionário e Argissolo Amarelo Eutrófico abrupto (EMBRAPA, 2003).

De acordo com o mapeamento realizado pelo IBGE e Embrapa (IBGE-EMBRAPA, 2001), na área urbana de Rondon do Pará há o predomínio de Latossolos Amarelos. Os latossolos amarelos de textura argilosa a muito argilosa são encontrados no topo dos platôs e latossolos amarelos distróficos de textura média são encontrados em relevo dissecado no entorno dos platôs, onde predominam sedimentos do Grupo Itapecuru ou coberturas dentríticas associadas à erosão remontante dos platôs. Estes solos são profundos, de coloração amarelada, perfis homogêneos, com boa drenagem e baixa fertilidade natural em sua maioria. Além da baixa fertilidade e da alta saturação por alumínio, apresentam problemas físicos com limitações associadas à permeabilidade restrita e lenta infiltração de água, em função da elevada coesão dos agregados, pois o solo é extremamente duro quando seco. Os de textura mais argilosa têm maior tendência ao selamento superficial, condicionado pela ação da intensa precipitação típica do clima local (IBGE, 2007).

A elevada coesão entre os aglomerados do latossolo amarelo, especialmente os argilosos, leva a uma maior resistência aos processos erosivos. Entretanto, eles são bastante suscetíveis à compactação. Os solos muito argilosos, como os encontrados na área urbana de Rondon do Pará pelos estudos ambientais da empresa Votorantim (RONDON DO PARÁ, 2014), possuem baixa permeabilidade, alta capacidade de retenção de água e maior força de coesão entre as suas partículas. Em áreas de maior grau de declividade, esta condição se torna mais comprometida, potencializando movimentos de massas (RONDON DO PARÁ, 2014).

### 1.3.5 Aspectos Climáticos

O município pertence ao grupo climático Aw de acordo com a classificação de Köppen, caracterizado por um clima tropical chuvoso, sendo o mês mais frio com temperatura média superior a 18°C e o mês mais seco, durante o inverno, com precipitação inferior a 60 mm (RONDON DO PARÁ, 2014). O ano hidrológico da região começa em outubro com a estação chuvosa e termina em setembro, com o fim da estiagem (CPRM, 2015).

Durante o inverno, o volume de precipitação é extremamente baixo, assim como a umidade relativa do ar, ao passo que a insolação e evaporação são altas e a amplitude térmica é dilatada. Este cenário climático gera um déficit hídrico que leva ao estresse da vegetação em função da ausência/deficiência de água, tornando o ambiente vulnerável à ocorrência de queimadas. Aliada a esta condição, a estabilidade atmosférica e o amplo número de dias consecutivos sem chuva entre junho e setembro, podem resultar em dificuldades para dispersão de poluentes atmosféricos provenientes de queimadas e atividades industriais (RONDON DO PARÁ, 2014).

### 1.3.6 Hidrografia

Conforme a divisão hidrográfica adotada pelo Plano Nacional de Recursos Hídricos – PNRH e instituída pela Resolução do CNRH N° 32, de 15 de outubro de 2003, o município de Rondon do Pará está situado no âmbito da Região Hidrográfica Tocantins Araguaia.

De acordo com ANA (2009), este município está inserido da Unidade de Planejamento Número 17, denominada Acará – Guamá, com disponibilidade hídrica superficial, precipitação e vazões apresentadas na Tabela 05.

Tabela 05: Disponibilidade hídrica superficial, precipitação e vazão na unidade de planejamento Acará-Guamá.

Unidade de Planejamento	Precipitação média anual (mm/ano)	Área de Drenagem (km <sup>2</sup> )	Área de Drenagem Acumulada (km <sup>2</sup> )	Qmáxima (m <sup>3</sup> /s)	Qmédia (m <sup>3</sup> /s)	Qmínima (m <sup>3</sup> /s)	Qespecífica média (l/s.km <sup>2</sup> )
17 Acará-Guamá	2.271	911.604	911.604	38,556	13.799	4.168	17,28

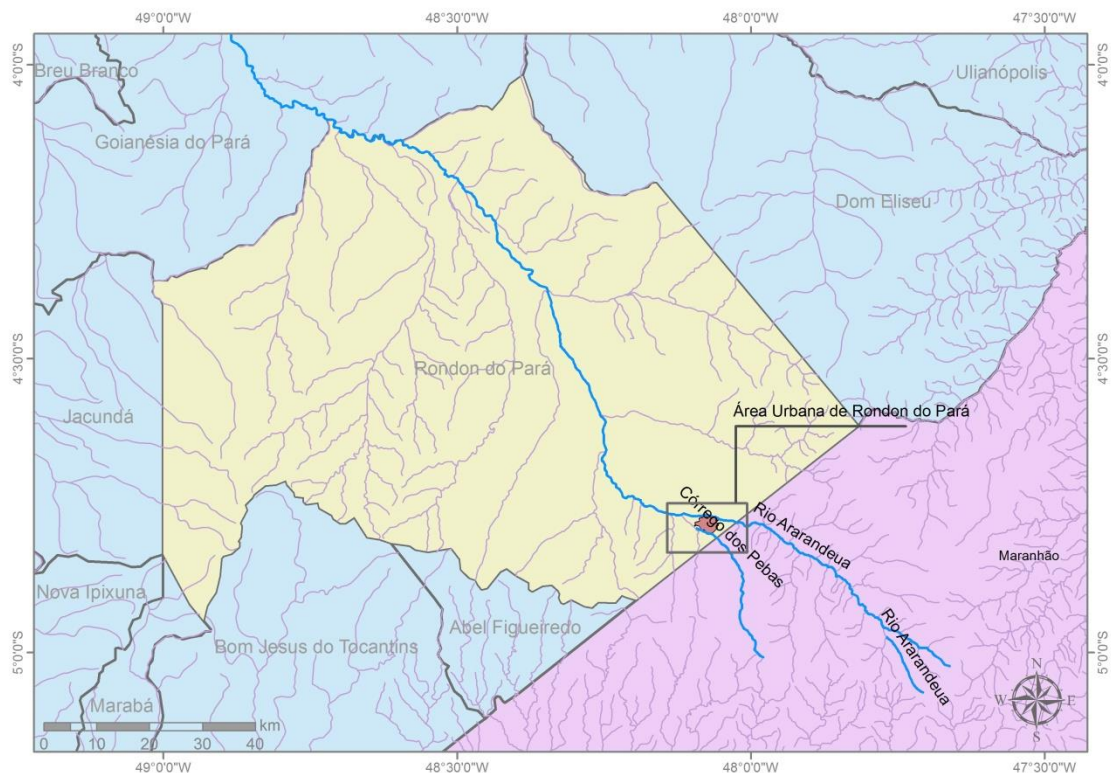
Fonte: ANA (2009).

### 1.3.7 Bacias Hidrográficas

Na região da área urbana do município de Rondon do Pará as bacias hidrográficas de maior importância são as do Rio Ararandeuá, de 1.124 km<sup>2</sup>, e do Córrego Pebas, com

186 km<sup>2</sup> (RONDON DO PARÁ, 2014). A Figura 20 apresenta a delimitação dessas duas bacias hidrográficas na região do município, bem como as áreas de influência destas. Tanto o córrego Pebas como o rio Ararandeuá nascem no estado do Maranhão. O rio Ararandeuá deságua no rio Capim, afluente do rio Guamá, que por sua vez deságua na Bahia de Marajó e esta no Oceano Atlântico.

Figura 20: Caminho percorrido pelo Rio Ararandeuá, Córrego Pebas e demais.



Fonte: Autor. Dados: ANA (2013); IBGE (2015).

### 1.3.8 Aspectos da Vegetação

O município de Rondon do Pará está inserido em região de domínio da Floresta Ombrófila Densa, caracterizada por possuir clima ombrotérmico, sem período biologicamente seco durante o ano, com pluviosidade anual maior de 2.300 mm e temperaturas médias que variam entre 22°C e 25°C. A subformação montana consiste em áreas de cotas altimétricas que variam entre 100 e 600 m, geralmente associada com terrenos mais antigos ou cristalinos. As árvores dessa região raramente ultrapassam 30 metros de altura, formando uma cobertura vegetal com certa uniformidade. Coberturas

mais uniformes predominam em áreas mais planas, em Latossolos de textura média, associados à Neossolos Quartzarênicos, ou em relevos mais acidentados com Neossolos Litólicos. Árvores de maior altura geralmente são encontradas em áreas de relevos ondulados a suave ondulados, em Argissolos Vermelhos cascalhentos (VOTORANTIM, 2011).

Segundo a Embrapa (2003), a cobertura vegetal do município de Rondon do Pará é composta por duas formações florestais distintas: a floresta equatorial subperenifólia e a floresta equatorial higrófila de várzea. A primeira cobre a maior parte do município, tendo como espécies mais comuns: maçaranduba (*Manilkara huberi*); castanheira (*Bertholletia excelsa*); angelim (*Hymenolobium petraeum*); caotaquiçaua (*Peltogyne spp*); mata-mata (*Eschweilera spp*); faveira (*Parkia spp*); acapú (*Vouacapoua americana*); andiroba (*Carapa guianensis*); cedro (*Cedrela odorata*), cedrorana (*Cedrelinga catenaeformis*) e macucu (*Licania spp*).

A floresta equatorial higrófila de várzea, regionalmente conhecida como “mata de várzea”, é pouco representativa na área, representada por espécies florestais de porte mediano e pequeno, com ocorrência de palmeira no sub-bosque. São, em grande proporção, madeiras moles, sem valor comercial, exceto a andiroba. As espécies encontradas na região são: andiroba (*Carapa guianensis*); açacú (*Hura creptans*); breu branco de várzea (*Protium unifolium*); louro de várzea (*Nectandra amazonicum*); taperebá (*Spondea lutea*); samauma (*Ceiba pentandra*); genipapo (*Genipa americana*); ingá (*Inga distra*). São encontradas fazendo parte do sub-bosque grande quantidade de palmeiras, tais como: bacaba (*Oenocarpus bacaba*), açaí (*Euterpe oleracea*) e buriti (*Mauritia flexuosa*) (EMBRAPA, 2003).

Todavia, grande parte dessas áreas de vegetação original já foi substituída por áreas urbanas e modificadas, em função da ação antrópica e da expansão urbana. Nessas áreas, geralmente, desenvolvem-se a floresta secundária, em estado de regeneração (regionalmente conhecida como juquirá), os territórios explorados por processos de extrativismo madeireiro, áreas destinadas à agropecuária, entre outras (EMBRAPA, 2003).

Rondon do Pará se destaca entre os municípios da região pelo alto índice de desmatamento, fazendo parte do “Arco do desmatamento da Amazônia”, onde o processo de substituição da floresta pelo uso antrópico vem ocorrido intensamente nos



últimos 40 anos (MMM, 2013). A Tabela 06 mostra o histórico do desmatamento na região.

Este desmatamento em Rondon do Pará se deve, principalmente, às atividades relacionadas à agropecuária e ao extrativismo de madeira. As áreas de florestas mais prejudicadas estão mais ao sul, pela facilidade de acesso por estradas. Já as áreas mais preservadas estão incluídas em unidades de conservação, reservas legais e áreas de preservação permanente das propriedades (RONDON DO PARÁ, 2014).

Tabela 06: Histórico de desmatamento pelo PRODES (INPE) para os municípios do entorno, do estado do Pará e da Amazônia Legal.

Município	Área Total		Área Desmatada		Área Desmatada		Área Desmatada	
			até 2000		até 2010		até 2015	
	km <sup>2</sup>		km <sup>2</sup>	(%)	km <sup>2</sup>	(%)	km <sup>2</sup>	(%)
<b>Paragominas</b>	19.452		7.311,3	37,1	8.601,8	44,2	8733,7	44,87
<b>Marabá</b>	15.127		5.777,2	38,2	8.203,2	54,2	8.533,5	56,29
<b>Rondon do Pará</b>	<b>8.286</b>		<b>4.157,4</b>	<b>50,2</b>	<b>5.415,0</b>	<b>65,4</b>	<b>5.526,1</b>	<b>66,69</b>
<b>Goianésia do Pará</b>	7.048		2.966,1	42,1	3.716,2	52,7	3.841,1	54,50
<b>Dom Eliseu</b>	5.296		2.496,7	47,1	3.394,7	64,1	3.476,1	65,64
<b>Estado do Pará</b>	<b>1.249.497</b>		<b>171.379,0</b>	<b>13,7</b>	<b>248.549,2</b>	<b>19,9</b>	<b>259.684,2</b>	<b>20,78</b>
<b>Amazônia Legal</b>	<b>5.139.430</b>		<b>532,809,2</b>	<b>10,4</b>	<b>742.784,5</b>	<b>14,5</b>	<b>767.883,5</b>	<b>14,94</b>

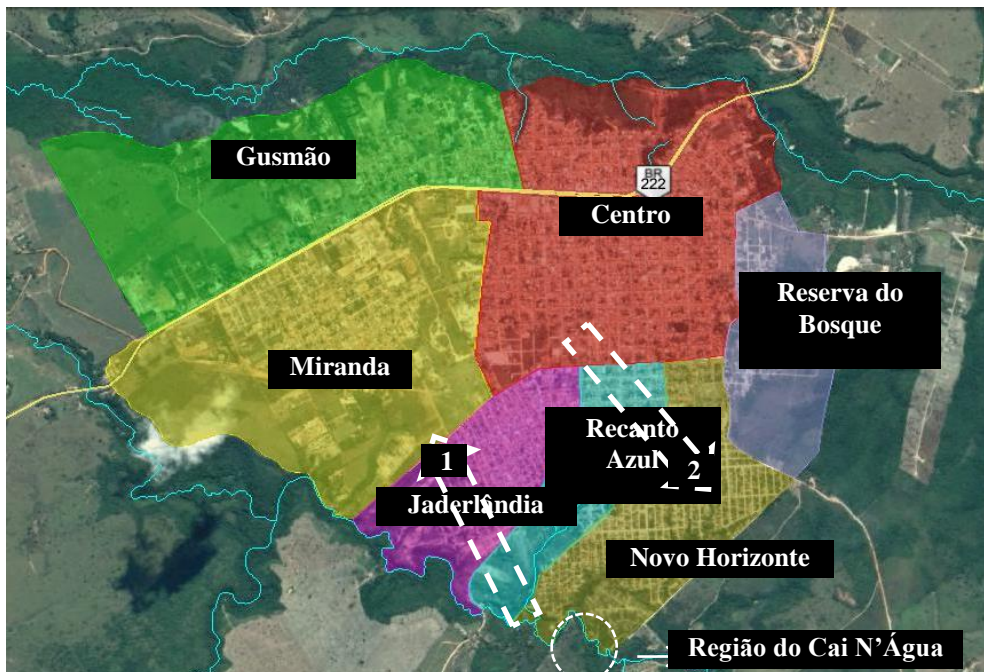
Fonte: INPE, 2015.

### 1.3.9 A Expansão Urbana em Rondon do Pará

A expansão urbana no município de Rondon do Pará deu-se a partir de regiões de menores altitudes (região do Cai N'Água) para áreas mais elevadas (expansão dos bairros centro, Miranda, Recanto Azul e Jaderlândia) (Rota 1, Figura 21) e, posteriormente, para localidades de elevações mais baixas (bairro Novo Horizonte) (Rota 2, Figura 21) (RONDON DO PARÁ, 2014). Esta marcha de expansão do território é um fator que pode ajudar a explicar as enxurradas que ocorrem na cidade, pois através da impermeabilização das áreas mais altas houve um maior direcionamento

e acúmulo de água para as áreas mais baixas, o que pode favorecer os processos erosivos na área urbana.

Figura 21: Bairros de Rondon do Pará e a expansão urbana.



Fonte: Autor (Dados fornecidos por Prefeitura de Rondon do Pará, 2014).

## Referências

AGÊNCIA PARÁ. **Defesa Civil do Estado conclui em Rondon do Pará Ciclo de Capacitações.** Redação da Agência Pará de Notícias, 2015. Disponível em: [http://www.agenciapara.com.br/noticia.asp?id\\_ver=113581](http://www.agenciapara.com.br/noticia.asp?id_ver=113581). Acesso em: 09 dez. 2015.

AMBRIZZI, T., ROCHA, R. P.; MARENGO, J. A.; et al. **Cenários regionalizados de clima no Brasil para o Século XXI: Projeções de clima usando três modelos regionais.** Relatório 3, Ministério do Meio Ambiente - MMA, Brasília, 2007. 108 p.

ANA – Agência Nacional de Águas. **Plano Estratégico de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica dos Rios Tocantins e Araguaia.** Relatório Síntese. Brasília: ANA, 2009. Disponível em: [http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2009/PlanoEstrategicoRH\\_Tocantins.pdf](http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2009/PlanoEstrategicoRH_Tocantins.pdf). Acesso em: 26 de out de 2016.

ANA – Agência Nacional de Águas. **Trecho Drenagem, 2013.** Disponível em: <http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home>. Acesso em: 23 de jan de 2017.

ARAÚJO, A. N.; GUETTER, A. K. Validação da chuva estimada por satélite CMORPH na modelagem hidrológica do Alto Iguaçu. **RBRH — Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Volume 12 n.3 Jul/Set 2007, 189-198.

ARGENTO, M. S. F. Mapeamento Geomorfológico. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia**: uma atualização de bases e conceitos. 365-391 p. 4. ed Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. 472p.

BASTIAANSEN, W. G. M.; HARSHADEEP, N. R. Managing scarce water resources in Asia: The nature of the problem and can remote sensing help? **Irrigation and Drainage Systems**, New York, v.19, p. 269–284, 2005.

BAÚ, A. L.; DE AZEVEDO, C. A. V.; BRESOLIN, A. D. Modelagem da precipitação pluvial diária intra-anual da Bacia Hidrográfica Paraná III associada aos eventos ENOS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.17, n.8, p.883–891, 2013.

BENSON, C.; CLAY, E. **Understanding the economic and financial impacts of natural disasters**. Washington: DisasterRisk Management Series, 2004. v. 4, 134 p.

BERTONI, J., LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. Ícone Editora, São Paulo, Brasil, 355 p., 1990.

BINDA, A. L. Geomorfologia Urbano-Ambiental. **Revista Geografia e Pesquisa** - v.2 - n.1, (57-67) jan-jun 2008.

BONNA, Joyce Luiza. **Mapeamento Pedológico e de Suscetibilidade Erosiva no Alto Córrego Prata (Ouro Preto-MG)**. Dissertação de Mestrado em Geografia na Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 201. P.119.

BRAGA, L.T.P. **O uso do solo como intensificador dos processos de voçorocamento em Cachoeira do Campo – MG**. Monografia. Instituto de Geociências (IGC). Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Belo Horizonte, MG. 2007. 45p.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Instrução Normativa N°01, de 24 de agosto de 2012**. Estabelece procedimentos e critérios para a decretação de situação de emergência ou estado de calamidade pública pelos municípios, estados e pelo Distrito Federal e para reconhecimento federal das situações de anormalidades decretadas pelos entes federativos e dá outras providências.

CABANÊZ, P.A.; FERRARI, J. L.; DE PAULA, M. F. Precipitação efetiva: uma retrospectiva para os estudos em Agroecologia. **Revista Verde**, v. 6, n. 5, p. 15-24, 2011.

CARVALHO, J. C. de, et al. **Processos Erosivos no Centro-Oeste Brasileiro**. Brasília: Universidade de Brasília: FINATEC. 464 p. 2006.

CEPED – Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres - b. Universidade Federal de Santa Catarina. **Atlas brasileiro de desastres naturais: 1991-2012. Volume Brasil**. 2 ed. ver. ampl. Florianópolis: CEPED UFSC, 126 p., 2013a.

CEPED – Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres - a. Universidade Federal de Santa Catarina. **Atlas brasileiro de desastres naturais: 1991-2012. Volume Pará.** 2 ed. ver. ampl. Florianópolis: CEPED UFSC, 114 p., 2013b.

CHEN, M.; SHI, W.; XIE, P.; co-authors. Assessing objective techniques for gauge-based analyses of global daily precipitation. **Journal of Geophysical Research**, v. 113, p. D04110, 2008.

COLLINS, W. J.; BELLOUIN, N.; DOUTRIAUX-BOUCHER, M.; co-authors. Development and evaluation of an Earthsystem model-HadGEM2. **Geosci Model Dev Discuss**, v 4(2), p. 997–1062, 2011.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Ação Emergencial para Delimitação de Áreas em Alto e Muito Alto Risco a Enchentes e Movimentos de Massa – Rondon do Pará, Pará.** 2015. 36 p.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Geodiversidade do estado do Pará.** Org.: Xafi da Silva Jorge João, Sheila Gatinho Teixeira, Dianne D. Farias Fonseca. Belém: CPRM, 2013. 256p.

ROCHA, RP ; CUADRA, SV ; REBOITA, MS ; KRUGER, LF ; AMBRIZZI, T ; KRUSCHE, N. Effects of RegCM3 parameterizations on simulated rainy season over South America. **Climate Research**, v. 52, p. 253-265, 2012.

SOUZA, E. B.; CARMO, A. M. C.; MORAES, B. C.; NACIF, A.; FERREIRA, D. B. S.; ROCHA, E. J. P.; SAOUZA, P. J. O. P. Sazonalidade da Precipitação sobre a Amazônia Legal Brasileira: clima atual e projeções futuras usando o modelo RegCM4. **Revista Brasileira de Climatologia**. v. 18, p. 293-306. 2016.

SOUZA, E. B.; LOPES, M. N. G.; ROCHA, E. J. P.; co-authors. Precipitação climatológica sobre a Amazônia oriental durante o período chuvoso: observações e simulações regionais com o RegCM3. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24(2), p. 111-124, 2009.

ELLISON, W.D. (1947) **Soil erosion studies part Agricultural Engineering**, v. 28, n.4, p.145-146.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Zoneamento Agroecológico do Município de Rondon do Pará – Estado do Pará.** Ed. 1. Belém, Pará, 2003. 39p. (EMBRAPA-SNLCS , Documentos, 173).

FALCK, A. S.; VILA, D.; TOMASELLA, J.; MAGGIONI, V.; DINIZ, F. L. R. Avaliação de um Modelo Estocástico de Erro Multidimensional aplicado a estimativas de precipitação por satélite. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 1, 52-63, 2016.

FERRARO, R. R.; WENG, F.; GRODY, N.C.; ZHAO, L. Precipitation characteristics over land from the NOAA-15 AMSU sensor. **Geophysical Research Letters**, 27, p. 2000.

FERRARO, R.R. Special sensor microwave imager derived global rainfall estimates for climatological applications. **Journal of Geophysical Research**, 102, p. 16715-16735, 1997.

FISHER, B. L. Climatological validation of TRMM TMI and PR monthly rain products over Oklahoma. **Journal of Applied Meteorology**, v. 43, n. 3, p. 519—535, 2004.

FONSECA, D.; SZLAFSZTEIN, C. Risco geológico. In: JOÃO, X.; TEXEIRA, S.; FONSECA, D. (Eds.). **Geodiversidade do Estado do Pará**. Belém: CPRM, 2013. p. 119-130.

G1 PARÁ. **Em Rondon do Pará, vítimas de erosão pedem ações do poder público**. Janeiro, 2016a. Disponível em: <http://g1.globo.com/pa/para/noticia/2016/01/em-rondon-do-para-vitimas-de-erosao-pedem-acoes-do-poder-publico.html>. Acesso em: 26 de out de 2016.

G1 PARÁ. **Cratera se expande e assusta moradores de Rondon do Pará**. Abril, 2016b. Disponível em: <http://g1.globo.com/pa/para/noticia/2016/04/cratera-se-expande-e-assusta-moradores-de-rondon-do-para.html>. Acesso em: 26 de out de 2016.

G1 PARÁ. **Ação obriga prefeitura de Rondon do Pará a recuperar área de cratera**. Junho, 2016c. Disponível em: <http://g1.globo.com/pa/para/noticia/2016/06/acao-obriga-prefeitura-de-rondon-do-para-recuperar-area-de-cratera.html>. Acesso em: 26 de out de 2016.

G1 PARÁ. **Ocorrências de erosão em Rondon do Pará passam por avaliação**. Janeiro, 2015. Disponível em: <http://g1.globo.com/pa/para/noticia/2015/01/ocorrencias-de-erosao-em-rondon-do-para-passam-por-avaliacao.html>. Acesso em: 30/05/2015.

GIORGI, F.; PAL, J. S.; BI, X.; SLOAN, L.; ELGUINDI, N.; SOLMON, F. (2006) Introduction to the TAC special issue: the RegCNET network. *Theor Appl Climatol* 86: 1–4

GIORGI, F.; COPOLA, E.; SOLMON, F.; co-authors. RegCM4: model description and preliminary tests over multiple CORDEX domains. **Climate Research**, v. 52, p. 7-29, 2012.

HUFFMAN, G. J.; ALDER, R.; BOLVIN, D. T.; GU, G.; NELKIN, E. J.; BOWMAN, K. P.; HONG, Y. STOCKER, E. F.; WOLF, D. B. The TRMM multisatellite precipitation analysis (TMPA): Quasi-global, multiyear, combined-sensor, precipitation estimates at fine scales. **J. Hydrometeorol.**, n. 8, p. 38-55, 2007.

IBGE – EMBRAPA. **Mapa de solos do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2001. Escala 1:5.000.000. Disponível em: [http://www.dpi.inpe.br/Ambdata/mapa\\_solos.php](http://www.dpi.inpe.br/Ambdata/mapa_solos.php). Acesso em: 26 de out de 2016.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico, 2010**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/>. Acesso em: 08 de set. de 2015.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico de Pedologia**. Diretoria de Geociências: Rio de Janeiro, 2007. 2 ed. n. 4. 316 p. Disponível em: <http://www.agrolink.com.br/downloads/manual%20t%C3%A9cnico%20de%20pedologia.pdf>. Acesso em: 26 de out de 2016.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Malhas Municipais – Município 2015**. Disponível em: [downloads.ibge.gov.br/downloads\\_geociencias.htm](http://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm). Acesso em: 23 de jan de 2017.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Estações Automáticas**. 2016. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesautomaticas>. Acesso em: 26 de out de 2016.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Projeto PRODES – Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite**. 2015. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/prodesdigital.php>. Acesso em: 26 de out de 2016.

JIMÉNEZ, K. Q.; MELO, T. M; LOUZADA, J. A. Uso de dados de precipitação obtidos por sensoriamento remoto em um modelo agro-hidrológico. *Irriga, Botucatu*, v. 18, n. 3, p. 496-508, julho-setembro, 2013.

JOYCE, R. J.; JANOWIAK, J. E.; ARKIN, P. A.; XIE, P. CMORPH: A method that produces global precipitation estimates from passive microwave and infrared data at high spatial and temporal resolution. *J. Hydrometeorol.*, n. 5, p. 487-503, 2004.

KARMANN, I. O ciclo da água, água subterrânea e sua ação geológica. In: TEIXEIRA, W.; FAIRCHILD, T. R.; TOLEDO, M. C. M.; TAIOLI, F. **Decifrando a Terra**. 2 ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2009. 624 p.

KUMMEROW, C.D.; HONG, Y.; OLSON, W.S.; YANG, S.; ADLER, R.F.; MCCOLLUM, J.; FERRARO, R.; PETTY, G.; SHIN, D.B.; WILHEIT, T.T. Evolution of the Goddard profiling algorithm (GPROF) for rainfall estimation from passive microwave sensors. *Journal of Applied Meteorology*, 40, p. 1801-1820, 2001.

LIMA, E. R. V. Erosão do solo: fatores condicionantes e modelagem matemática. **Revista Cadernos do Logepa** - Série Pesquisa. v. 1, n. 1. p. 3-43, 2003.

LOPES, M. N. G.; SOUZA, E. B.; FERREIRA, D. B. S. Climatologia regional da precipitação no estado do Pará. **Revista Brasileira de Climatologia**, n. 9, v. 12, p. 84-102. 2013.

MACHADO, R.D. ; ROCHA, R. P. . Previsões climáticas Sazonais sobre o Brasil: avaliação do RegCM3 aninhado no modelo global CPTEC/COLA. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, p. 121-126, 2011.

MAGALHÃES, R. A. Erosão: Definições, Tipos e Formas de Controle. **VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão**, Goiânia (GO), maio de 2001. p. 1 – 11. Disponível

em: [http://www.labogef.iesa.ufg.br/links/simposio\\_erosao/articles/T084.pdf](http://www.labogef.iesa.ufg.br/links/simposio_erosao/articles/T084.pdf). Acesso em: 26 de out de 2016.

MAIDMENT, D.R. **Handbook of hydrology**. New York: Ed. McGraw-Hill, 1ª edição, 1993, 1424 p. 2669-2672.

MARÇAL, M.S.; GUERRA, A.J.T. Processo de urbanização e mudanças na paisagem da cidade de Açailândia (Maranhão). In: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. (orgs) **Impactos ambientais urbanos do Brasil**. 4.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006.

MARCELINO, E. V. 2008. **Desastres Naturais e Geotecnologias: Conceitos Básicos**. Caderno Didático nº 1. INPE/CRS, Santa Maria, 2008.

MARTORANO, F. P.; ROCHA, E. J. P.; ROLIM, P. A. M.; NACIF, A. M. P. Desastres naturais ocorridos em 2005 no Pará. **Congresso Brasileiro de Meteorologia - CBMET**, 2006.

MELLO, G. de; BUENO, C.R.P.; PEREIRA, G.T. Variabilidade espacial de perdas de solo, do potencial natural e risco de erosão em áreas intensamente cultivadas. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, v.10, p.315-322, 2006.

MMM – Ministério do Meio Ambiente. **Lista de Municípios Prioritários da Amazônia**. 2013. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/florestas/control-e-preven%C3%A7%C3%A3o-do-desmatamento/plano-de-a%C3%A7%C3%A3o-para-amaz%C3%B4nia-ppcdam/lista-de-munic%C3%ADpios-priorit%C3%A1rios-da-amaz%C3%B4nia>. Acesso em: 26 de out de 2016.

MORGAN, R. P. C. (2005) **Soil Erosion and Conservation**, 3ª ed.. Blackwell, Oxford, UK.

NINA, A. S.; SZLAFSZTEIN, C. F. Efeitos de desastres naturais ao desempenho orçamentário do estado do Pará. **Novos Cadernos NAEA**. v. 17, n. 2, p. 265-285, dez. 2014.

OLIVEIRA, J. H. M.; CHAVES, J. M. Mapeamento e Caracterização Geomorfológica: Ecorregião Raso da Catarina e Entorno NE da Bahia. **Mercator**, v. 9, n. 20, p. 217-238, 2010.

PBMC - Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. **Sumário Executivo** – Base Científica das Mudanças Climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. PBMC, Rio de Janeiro, v. 1, 2013. 24 p.

PEREIRA, G.; SILVA, M. E. S.; MORAES, E. C.; CARDOZO, F. S. Avaliação dos dados de precipitação estimados pelo Satélite TRMM para o Brasil. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Volume 18 n.3 –Jul/Set 2013,139-148.

PINESE JUNIOR, José Fernando; CRUZ, Lísia Moreira; RODRIGUES, Sílvio Carlos. Monitoramento de erosão laminar em diferentes usos da terra, Uberlândia -MG. **Sociedade & Natureza** (Online), Uberlândia, v. 20, n. 2, p. 157-175, 2008.

PRUSKI, F. F. Fatores que Interferem na Erosão Hídrica do Solo. In: PRUSKI, F. F. (edit.). **Conservação de solo e água**: Práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica. Ed. 2. Viçosa: Ed. UFV, p. 40-73. 2009.

PRUSKI, F. F. Prejuízos decorrentes da erosão hídrica e tolerância de perdas de solo. In: PRUSKI, Fernando Falco. **Conservação do solo e água**: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica. Viçosa: UFV, 2006.

Rondon do Pará. Prefeitura de Rondon do Pará. **Lei Complementar N°001/2006, de 10 de outubro de 2006**. Dispõe sobre o Plano Diretor Municipal Participativo de Rondon do Pará, nos termos do artigo 182 da Constituição Federal, do capítulo III da Lei nº. 10.257/01 - Estatuto da Cidade, e do art. 154, *caput*, §§ 1º e 4º da Lei Orgânica Municipal e dá outras providências.

Rondon do Pará. Prefeitura de Rondon do Pará. **Diagnóstico e Estudos de Concepção**. Projeto Básico e Executivo: Sistemas de Saneamento de Rondon do Pará – Zona Urbana, 2014. 262 p.

ROSA, A. G.; SOUSA, A. M. L.; COSTA, J. A.; SOUZA, E. B. Erosividade da Chuva em Rondon do Pará, PA, Brasil de 1999 a 2015 e projetada para 2035. **Rev. Ambient. Água**. vol. 11, n. 4. 2016.

ROSS, Jurandir Luciano Sanches. **Ecogeografia do Brasil**: Subsídios para planejamento ambiental. 1ª ed. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2006.

SALES, D. C.; COSTA, A. A.; DA SILVA, E. M.; VASCONCELOS JÚNIOR, F. C.; CAVALCANTE, A. M. B.; MEDEIROS, S. S.; MARIN, A. M. P.; GUIMARÃES, S. O.; ARAÚJO JÚNIOR, L. M.; PEREIRA, J. M. R. Projeções de mudanças na precipitação e temperatura no nordeste brasileiro utilizando a técnica de downscaling dinâmico. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 4, 435 - 456, 2015. doi: 10.1590/0102-778620140075.

SALOMÃO, Fernando Ximenes de Tavares. Controle e Prevenção dos Processos Erosivos. In: GUERRA, Antônio José Teixeira; SILVA, Antônio Soares da; BOTELHO, Rosângela Garrido Machado (Org.). **Erosão e Conservação de Solos – Conceitos, Temas e Aplicações**. Bertrand Brasil. Rio de Janeiro, 2012. P. 229-267.

SANTOS, G. G.; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L. F. C. Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.14, n.2, p.115–123, 2010.

SILVA, V. C. B.; MACHADO, P. de S. SIG na Análise Ambiental: Suscetibilidade Erosiva da Bacia Hidrográfica do Córrego Mutuca, Nova Lima – Minas Gerais. **Revista de Geografia (UFPE)** V. 31, No. 2, 2014.

SIMÕES, P. M. L.; OLIVEIRA, C. V. **Avaliação da Suscetibilidade à Erosão e aos Movimentos de Massa no Município de Ibitité**. Geomonos, v. 22, n. 1, p. 22-30, 2014.



SODRÉ, G. R. C.; RODRIGUES, L. L. M. Comparação entre a estimativa da precipitação observada pela técnica CMORPH e estações meteorológicas do INMET em diferentes regiões do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**. V. 06 N. 02 (2013) 301 - 307.

TOLEDO, J. S.; DE MARIA; I. C.; DECHEN, S. C. F. Impacto de chuvas intensas na erosão hídrica em solo com tratamento de lodo de esgoto. **6º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica - CIIC 2012**. 2012.

TOMINAGA, K. L. Desastres Naturais: Por que ocorrem? In: TOMINAGA, K. L.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (Org.). **Desastres Naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. 1 ed. 196 p.

UN-ISDR - International Strategy for Disaster Reduction. 2009. **Terminology on Disaster Risk Reduction**. Disponível em <http://www.unisdr.org>.

VAN VUUREN, D. P.; Edmonds, J.; Kainuma, M.; et al. The representative concentration pathways: an overview. **Climatic Change**, v. 109, p. 5-31, 2001.

VILLAR, E. J. C.; RONCHAIL, J., GUYOT, J. L.; co-authors. Spatio-temporal rainfall variability in the Amazon basin countries (Brazil, Peru, Bolivia, Colombia, and Ecuador). **International Journal of Climatology**, v. 29, p. 1574–1594, 2009.

VOTORANTIM. **Estudo de Impacto Ambiental – EIA do Projeto Alumina Rondon**. 2011.

WANG, Y., LEUNG, L. R., MCGREGOR, J. L., LEE, D.-K., WANG, W.-C., DING, Y., KIMURA, F. Regional climate modeling: progress, challenges, and prospects. **Journal of the Meteorological Society of Japan**. v. 82, n. 6, p. 1599- 1628. 2004.

## **CAPÍTULO 2 - A PRECIPITAÇÃO COMO FATOR ATIVO DE PROCESSOS EROSIVOS**

(Gerou a publicação do seguinte artigo: Amanda G. Rosa<sup>1</sup>, Joyse T. S. dos Santos<sup>2</sup>, Jamer A. da Costa<sup>2</sup>, Dianne D. F. Fonseca<sup>3</sup> e Adriano M. L. de Sousa<sup>4</sup>. COMPORTAMENTO DA PRECIPITAÇÃO COMO FATOR ATIVO DE PROCESSOS EROSIVOS NO MUNICÍPIO DE RONDON DO PARÁ, PA (BRASIL)<sup>5</sup>. **Revista Scientia Plena**. vol. 13, n. 02, 025301, 1-11, 2017)

### **2.1 Introdução**

Integrante da dinâmica superficial da terra, a erosão constitui-se como o principal modelador fisiográfico do planeta. Consiste em um processo que ocorre naturalmente envolvendo as seguintes etapas: remoção de partículas, transporte e deposição lenta ou acelerada dos materiais, sejam eles formados por rochas, solos ou depósitos superficiais não consolidados (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990; BONNA, 2011).

Quanto à sua classificação em função dos seus fatores ativos (condicionantes), as erosões podem ser divididas em 15 tipos, conforme foi proposto por Zachar em 1982, porém, em síntese, o mais comum hoje é classificá-las em quatro grandes grupos: erosão eólica, erosão glacial, erosão hídrica e erosão organogênica (CARVALHO et al., 2006). A erosão hídrica, tipo mais comum em regiões tropicais, ocorre a partir da desagregação das partículas de solo como consequência do impacto direto das gotas de chuva, do escoamento superficial, da drenagem dos rios ou também da ação do mar. Após essa desagregação, parte significativa das partículas é transportada, removendo certa quantidade de solo (CEPED, 2013).

A chuva é um dos principais agentes responsáveis pela energia necessária para a ocorrência da erosão, tanto pelo impacto direto sobre a superfície do solo quanto pela sua capacidade de produzir escoamento superficial (PRUSKI, 2009). Quanto mais

---

<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação de Ciências Ambientais, Universidade Federal do Pará, 66.075-110, Belém-Pará, Brasil.

<sup>2</sup> Instituto Ciberespacial – ICIBE, Universidade Federal Rural da Amazônia, 66.077-83, Belém-Pará, Brasil.

<sup>3</sup> Superintendência Belém – SUREG/BE, Serviço Geológico do Brasil – CPRM, 66.095-110, Belém-Pará, Brasil.

<sup>4</sup> Instituto Sócio Ambiental – ISARH, Universidade Federal Rural da Amazônia, 66.077-83, Belém-Pará, Brasil.

<sup>5</sup> Parte integrante da dissertação de Mestrado do primeiro autor. Artigo na íntegra no Anexo N.

intensa ela for, menos tempo e capacidade os solos terão para a água infiltrar, favorecendo o aumento do escoamento na superfície e, conseqüentemente, o aumento das chances de ocorrência de erosão laminar, podendo evoluir para sulcos, ravinas e até voçorocas. A quantidade de chuva também é importante, porque uma chuva pode ser de intensidade relativamente baixa, porém pode durar um período muito longo, tornando os solos saturados e suscetíveis à erosão (BONNA, 2011).

Nesse contexto, a busca por maiores conhecimentos e informações acerca da precipitação e suas influências no desencadeamento de processos erosivos se torna essencial, principalmente quando se diz respeito aos riscos nas áreas urbanas, cuja análise é impulsionada pela necessidade de identificar situações de risco e realizar o planejamento adequado.

Diversos trabalhos têm sido realizados abordando a resistência de solos, em distintas situações, à ação das águas, como o de Corrêa et al. (2010) em estradas em Itaiópolis (SC), Santos et al. (2002) em vertentes de encostas em Ouro Preto (MG), Prieto (2010) em um loteamento em Ponta Grossa (PR), Alves (2007) em zona rural de Uberlândia (MG), entre outros. Todos estes autores chamam a atenção para a necessidade de planejamento e de prevenção de situações de risco, a fim de evitar danos tanto ambientais como sociais e econômicos.

Diante disso, esta análise objetivou estimar a precipitação do município de Rondon do Pará (PA), entre os anos 1999 e 2015, tendo em vista a carência deste tipo de dados para o local e o destaque que este município tem recebido nos últimos anos devido à ocorrência de erosões em sua área urbana, afetando centenas de pessoas. Além disto, buscou-se avaliar os casos de erosão identificados pela Defesa Civil do Pará em Rondon do Pará com base no comportamento da precipitação no dia do evento erosivo e nos dias que antecederam o evento.

## **2.2 Material e Métodos**

### **2.2.1 Descrição da área**

A área de estudo compreende a área urbana do município de Rondon do Pará/PA, localizado na mesorregião do sudeste paraense e na microrregião de Paragominas. O município em questão possui extensão territorial de 8.296,394 km<sup>2</sup> e sua área urbana

possui de cerca 9,54 km<sup>2</sup>, tendo sua sede municipal nas coordenadas geográficas 4°46'34'' de latitude sul e 48°04'02'' de longitude oeste.

O tipo climático predominante na região é Aw, de acordo com critérios de Köppen, caracterizado por um clima tropical chuvoso. O ano hidrológico da região começa em outubro com a estação chuvosa e termina em setembro, com o fim da estiagem (CPRM, 2015).

Os principais sistemas que influenciam no tempo e clima da Região Norte do Brasil, onde está incluída a área de estudo, são a ZCIT (Zona de Convergência Intertropical), as Linhas de Instabilidade (LIs) e circulação de brisa marítima, a penetração de sistemas frontais, o deslocamento da ASAS/ASAN (Alta Subtropical do Atlântico Sul/ Alta Subtropical do Atlântico Norte) e da Alta da Bolívia, a qual pode interagir com Distúrbios Ondulatórios de Leste e outros mecanismos de escala regional e global (El Niño Oscilação Sul e dipolo do Atlântico Tropical, por exemplo) (CEPED, 2013).

Os processos erosivos, naturais de evolução geomorfológica na região, que está localizada no Domínio de Colinas Dissecadas e Morros Baixos e possui relevo de baixo platô, com amplitude média de 95 metros e bordas relativamente íngremes, e solos muito profundos, friáveis e com alta erodibilidade (Latosolo amarelo), se intensificam entre novembro e maio, período de grande precipitação na região, influenciados também pela concentração de águas pluviais em galerias subterrâneas que deságuam em poucos pontos na cidade (CPRM, 2015).

### 2.2.2 Descrição dos procedimentos experimentais

Na metodologia foram utilizados dados diários de precipitação obtidos a partir dos satélites CMORPH (Climate Prediction Center morphing method), para determinação da normal provisória do município e para a avaliação do comportamento da precipitação. Os dados de chuva do CMORPH (disponíveis em <ftp.cpc.ncep.noaa.gov/>), com séries a partir de 1998, além de fornecer dados espaciais satisfatórios com resolução espacial de 64 km<sup>2</sup>, apresenta bastante confiabilidade quantitativa, como foi evidenciado em diversos estudos (SODRÉ; RODRIGUES, 2013; ARAÚJO; GUETTER, 2007). Neste trabalho foram utilizados dados entre os anos de 1999 e 2015 provenientes de um quadrante do município, que inclui a área urbana, entre as latitudes

4°S e 5°S e entre as longitudes 48°W e 49°W. Para esta tarefa obteve-se o auxílio do software GrADS 2.0.

Embora seja necessária uma série de dados de precipitação de no mínimo 30 anos para a definição da normal climatológica padronizada de uma região (OMM, 1989), foi usada uma série de 17 anos em função da quantidade limitada de dados CMORPH e da indisponibilidade de dados de precipitação em outros bancos de dados, gerando uma Normal Provisória para o município. As Normais Provisórias são médias de curto prazo, segundo a OMM (1989), calculadas, em substituição às Normais Climatológicas, em casos de insuficiência de dados, baseadas em observações que se estendam sobre um período mínimo de 10 anos.

Além da definição da normal provisória, foi elaborado o balanço hidrológico do município, a partir da metodologia desenvolvida por Thornthwaite e Mather (1955). Com a realização do balanço hidrológico foi possível avaliar a entrada, saída e armazenamento de água no solo ao longo do ano, o que pode explicar a distribuição da ocorrência dos eventos erosivos. Para a elaboração deste balanço foi definida uma capacidade de campo de 100 mm e foram usados os dados de precipitação CMORPH de 1999 a 2015 de Rondon do Pará (PA) e os dados de temperatura oriundos da estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET localizada no município de Marabá (PA) (distante 135 km da área de estudo), a partir de sua normal climatológica de 1961-1990. Foram utilizados dados de Marabá devido ao fato de que este é o município mais próximo da área de estudo que possui dados climatológicos por um longo período e ao fato de que a estação meteorológica de Rondon do Pará possui dados apenas a partir de 2008 e estes se mostraram insatisfatórios para este estudo.

Os dados de eventos de erosão foram provenientes do banco de dados da Defesa Civil do Estado do Pará entre os anos de 1999 e 2015 (PARÁ, 2015). Os eventos foram analisados individualmente e relacionados com o comportamento da distribuição da precipitação na região, buscando identificar os tipos de comportamentos pluviométricos que podem influenciar no desencadeamento de eventos erosivos em certo espaço de tempo.

Foram adotados como evento de erosão outros tipos de desastres naturais identificados pela Defesa Civil que tenham relação com este, seja como causa ou consequência, tendo em vista que a interpretação destes eventos pelos funcionários da

Defesa Civil, ao longo dos 17 anos de dados, pode ser falha ou conflitante. Dessa forma, eventos como Enxurrada e Deslizamento também foram considerados eventos de erosão.

Para a análise temporal da precipitação foi definido um período de observação de 6 dias, sendo o dia do evento identificado e os 5 dias que antecederam o evento erosivo, julgando que um processo de erosão pode ser influenciado, além dos fatores intrínsecos e extrínsecos do ambiente, por precipitações ocorridas no dia do evento e acumuladas nos 5 dias anteriores ao evento, ou seja, pode ser influenciado tanto pela intensidade quanto pela quantidade e distribuição de precipitação. Este período de análise foi definido a partir de sugestões de Castro et al. (2012), os quais afirmaram que a observação das precipitações ocorridas nos cinco dias antes da erosão é a mais adequada para explicá-la.

## **2.3 Resultados e Discussão**

### **2.3.1 Normal Provisória de Rondon do Pará (PA)**

Os dados diários de precipitação obtidos a partir dos satélites CMORPH foram acumulados mensalmente gerando uma normal provisória conforme é apresentado abaixo (Figura 22), com o ano hidrológico iniciando em outubro com o início da estação chuvosa e finalizando em setembro com o fim da estiagem. O mês mais chuvoso é o mês de março e o menos chuvoso é o mês de agosto, apresentando semelhanças com o comportamento anual da precipitação em regiões próximas, como no município de Marabá, o mais próximo de Rondon do Pará com Normal Climatológica definida, que também tem como o mês mais chuvoso o mês de março e como o menos chuvoso o mês de agosto (INMET).

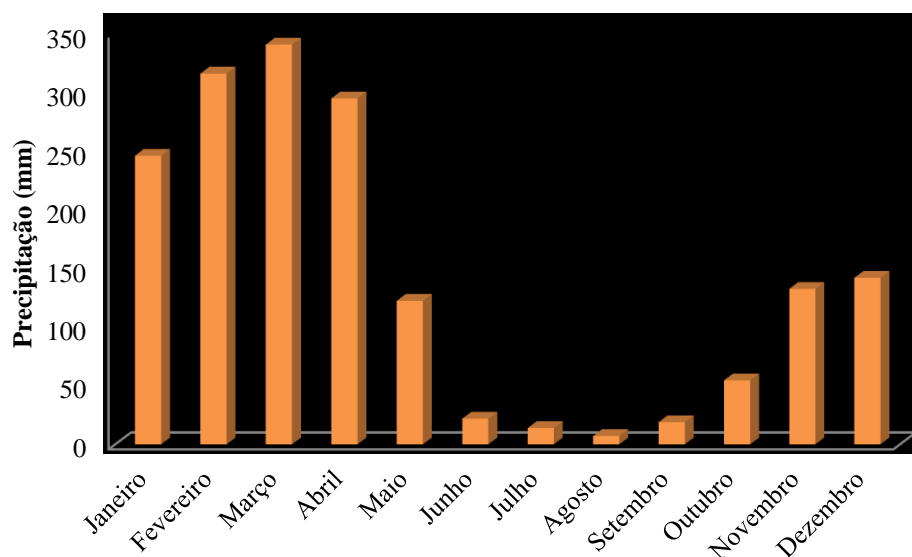
Para a série de dados investigada, a média pluviométrica anual encontrada foi de 1.710,5 mm, variando entre 1.261 mm a 2.504 mm. A região de Rondon do Pará possui alta pluviosidade, concentrada principalmente entre os meses de fevereiro a abril, correspondendo a 72,04% da precipitação anual.

### **2.3.2 A precipitação e os eventos erosivos entre 1999 e 2015**

Segundo Defesa Civil (PARÁ, 2015), foram registrados oficialmente 11 casos de processos erosivos de 1999 a 2015 no município (Tabela 7), com 730 pessoas afetadas. No entanto esses valores tendem a serem superiores na realidade, tendo em vista a

deficiência na obtenção e armazenamento de dados nos anos iniciais das medições e a insuficiência de ações governamentais nos atendimentos a desastres, em função da grande extensão territorial do estado e das dificuldades institucionais.

Figura 22: Normal Provisória do município de Rondon do Pará (PA), com base nos anos 1999 a 2015.



Fonte: Autores.

Tabela 7: Eventos erosivos identificados pela Defesa Civil do Estado do Pará entre os anos 1999 e 2015.

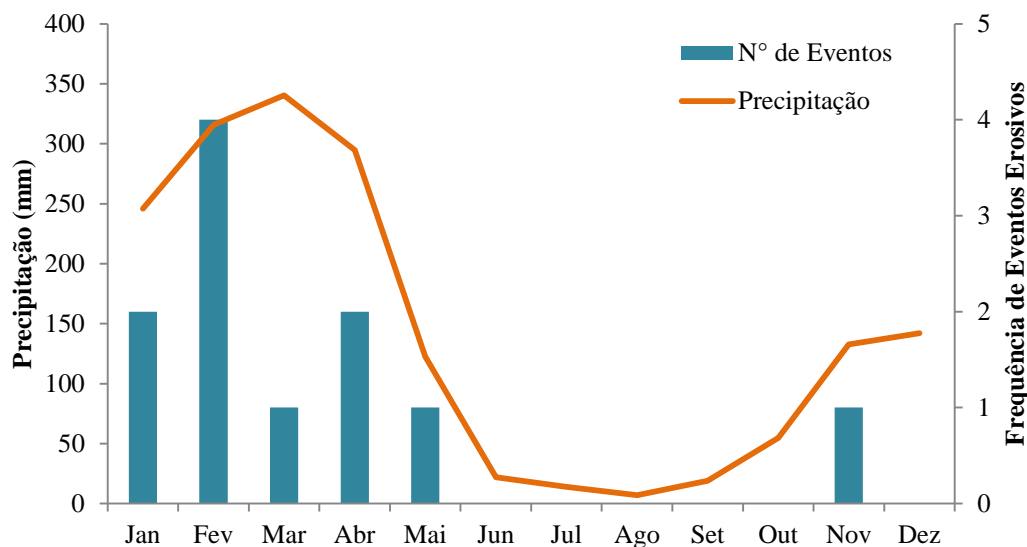
<b>Data do Evento</b>	<b>População Afetada (n° pessoas)</b>
08/03/1999	0
19/04/2000	0
15/02/2001	0
15/02/2002	0
21/01/2005	0
22/02/2005	6
15/02/2006	0
30/04/2007	684
11/05/2009	0
17/11/2014	5
05/01/2015	35

Fonte: Autores.

Os casos registrados tiveram distribuição anual semelhante ao comportamento anual da precipitação, o que era esperado, pois a precipitação é um dos principais fatores ativos da erosão, embora não seja o único. Na Figura 23 pode-se observar, como dito, que, normalmente, os meses de maior precipitação, de outubro a maio, apresentam

maior frequência de processos erosivos no município de Rondon do Pará, sendo o mês de fevereiro o mais crítico.

Figura 23: Distribuição e frequência de eventos erosivos e distribuição da precipitação em Rondon do Pará (PA) entre 1999 e 2015.



Fonte: Autores.

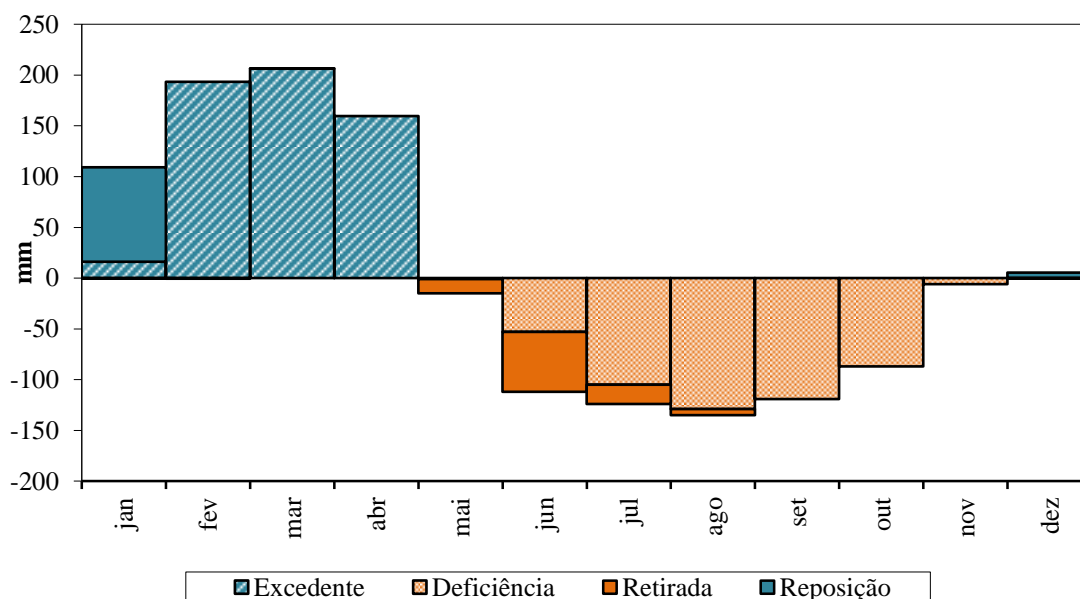
A precipitação, na maioria das vezes, pode explicar a ocorrência de um evento erosivo, mas isto não é uma regra, visto que a precipitação é apenas um dos vários fatores influentes. Dentre estes fatores, há a geologia e pedologia da região, a declividade do terreno, o uso e ocupação da terra, entre outros fatores ambientais extrínsecos. Por exemplo, analisando em uma escala de longo período de dados, como é o caso da análise entre 1999 e 2015 (Figura 23), vemos que apesar de o mês de março ser o mais chuvoso, não necessariamente neste mês irão ocorrer mais eventos de erosão, conforme foi registrado pela Defesa Civil.

Embora a erosão não seja totalmente explicada pela precipitação, de todo modo, é esperado que eventos erosivos concentrem suas ocorrências em períodos mais chuvosos do ano. Este tipo de informação é muito útil para o planejamento de um município, onde tomadores de decisão terão conhecimento sobre em quais meses do ano são esperadas as maiores perdas de solo, podendo, assim, selecionar as melhores opções de planejamento urbano e rural.



Nas Figuras 24 e 25 são apresentados os resultados do balanço hidrológico realizado para Rondon do Pará. Com base nelas, podemos observar que entre os meses de janeiro e abril houve um excedente hídrico, ou seja, houve uma sobra de água no período chuvoso, que o solo não teve a capacidade de infiltrar e armazenar. Esta quantidade de água que sobra, normalmente é direcionada ao escoamento superficial, favorecendo a ocorrência de erosões nesse período, tendo em vista que o solo ultrapassou seu limite de armazenamento.

Figura 24: Extrato do Balanço Hidrológico de Rondon do Pará (PA) para o período de 1999 a 2015.

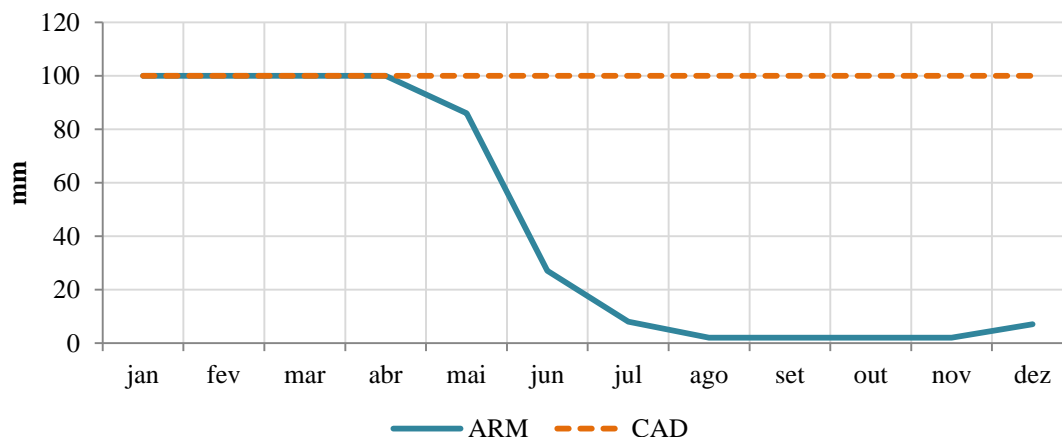


Fonte: Autores.

Com a redução da precipitação a partir do mês de maio passou-se a observar a deficiência hídrica, que é a falta de água no solo, com a consequente retirada de água do solo pela evapotranspiração e a redução do armazenamento. Essa situação se estende até o mês de dezembro, quando recomeça a reposição de água no solo com o retorno da precipitação em outubro. Este período, de maio a novembro, é menos favorável para eventos de erosão.

De dezembro a janeiro ocorre a reposição de água no solo. Logo em janeiro toda a falta de água no solo é suprida e já se tem excedente hídrico, recomeçando o ciclo anual.

Figura 25: Capacidade de Água Disponível (CAD) e Armazenamento (ARM) de água no solo durante o ano em Rondon do Pará, com base nos anos de 1999 a 2015.



Fonte: Autores.

### 2.3.3 Estudo de caso dos eventos erosivos ocorridos em Rondon do Pará (PA)

Analisando individualmente os casos de erosão registrados pela Defesa Civil do Pará, verificou-se que um evento erosivo pode ser resposta tanto da precipitação ocorrida no dia do evento como da precipitação acumulada em dias anteriores ao evento, indicando que não apenas a intensidade da chuva, mas também a sua quantidade e distribuição, podem explicar a ocorrência de determinados processos erosivos.

Isto é explicado da seguinte forma: no primeiro caso tem-se uma chuva de alta intensidade ocorrida em um espaço de tempo relativamente curto, um dia, e, dessa forma, os solos terão menos tempo para infiltrar a água, reduzindo sua capacidade retenção, e esta passará a escoar superficialmente, gerando maior energia para a desagregação e transporte de materiais, favorecendo a erosão; no segundo caso se teria uma chuva de intensidade relativamente baixa, mas que ocorreram por um maior tempo, dias seguidos, deixando o solo saturado e, conseqüentemente, mais suscetível à erosão.

Trabalhos como os de Tatizana et al. (1987) e Castro et al. (2012) também trataram da influência não apenas da precipitação no dia do evento, mas principalmente da precipitação acumulada nos dias anteriores ao evento. Tatizana et al. (1987) trabalhou com a precipitação acumulada de quatro dias para explicar os processos erosivos. Já Castro et al. (2012) definiu que cinco dias de precipitação acumulada seria mais adequado.

Para Delmonaco et al. (1995), os movimentos de massa mais profundos estão mais possivelmente relacionados a chuvas antecedentes acumuladas de vários dias, enquanto que movimentos de massas superficiais estão mais ligados e dependentes da intensidade da chuva em períodos mais curtos. Porém, essas análises não foram possíveis neste trabalho devido à falta de informações sobre as características estruturais das erosões registradas.

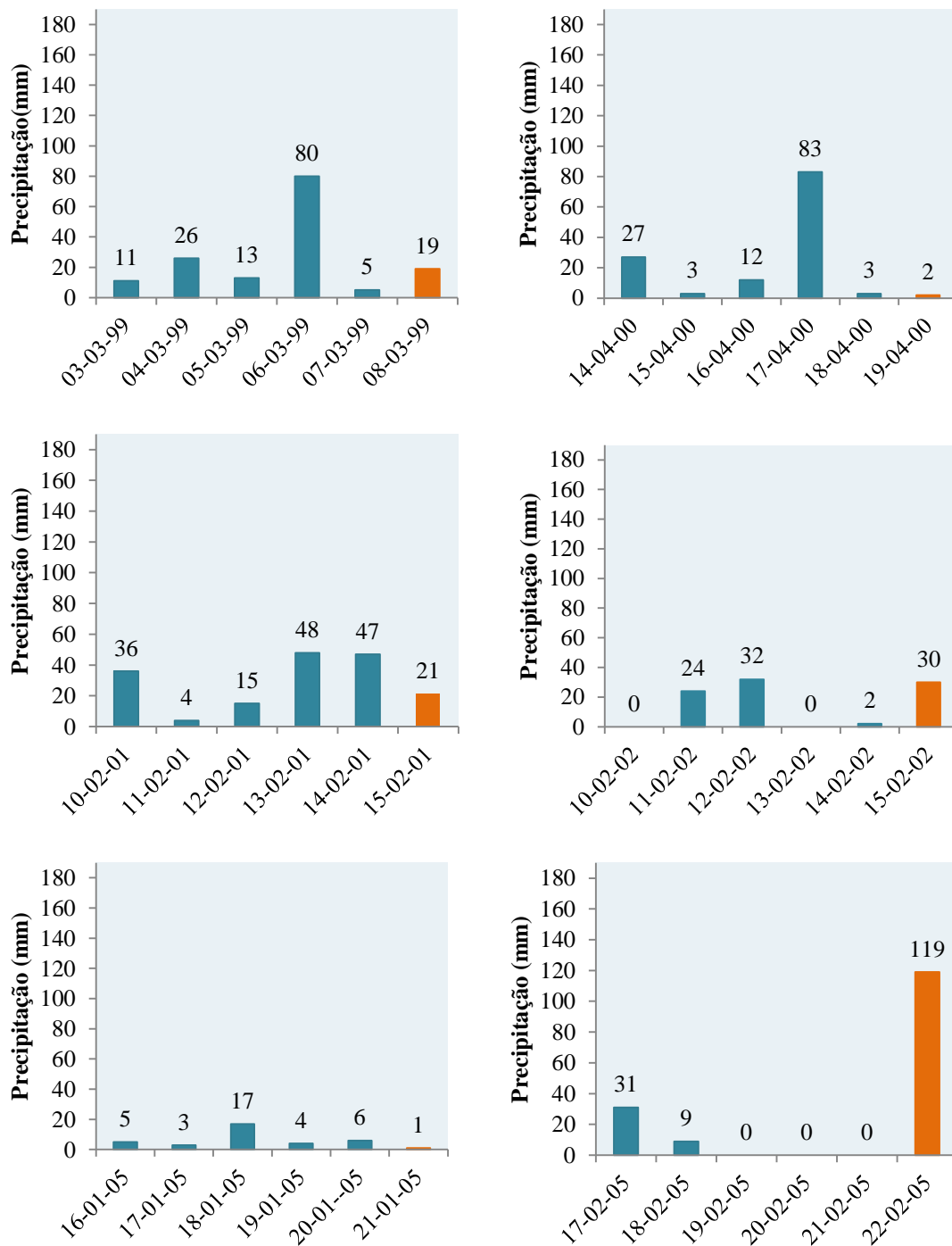
Os gráficos abaixo (Figura 26) apresentam o comportamento da precipitação em todos os casos registrados oficialmente pela Defesa Civil, tanto no dia do evento como nos cinco dias que o antecederam.

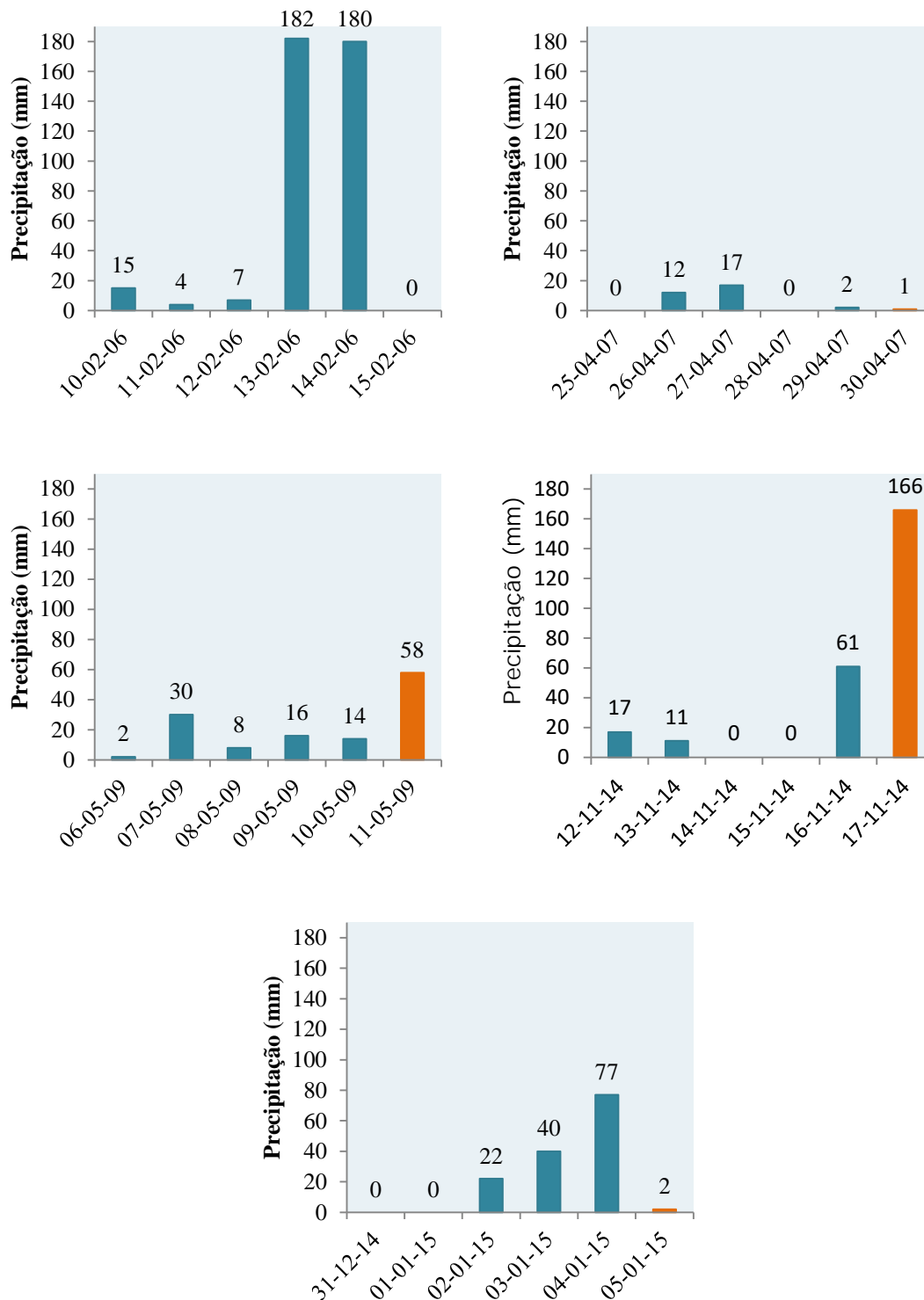
Com base nos gráficos, observamos os dois comportamentos da precipitação como fator ativo no desenvolvimento de processos erosivos: intensa no dia do evento e em quantidade, acumulada do dia do evento e dos cinco dias que o antecederam. A maioria das erosões verificadas é resultante de precipitações acumuladas nos cinco dias antes do evento (nove dos onze casos). Em apenas dois casos, os eventos de 22/02/2005 e 17/11/2014, apresentaram no dia do evento uma precipitação maior que a soma das precipitações dos cinco dias antecedentes.

A média de quantidade de água precipitada que resulta em erosões, acumulando os seis dias de análise, com base do período de dados, é de 152,9 mm, porém variam os eventos que careceram de pouca água para desencadear, como o caso de 30/04/2007 (32 mm), e os que desencadearam após precipitações com grande volume de água, como o caso de 15/02/2006 (388 mm).

Os casos em que houve um acúmulo de água relativamente baixo, e principalmente distribuído por um longo período, a erosão tende a ser explicada especialmente pelos outros fatores influentes, não em maior parte pela ação das chuvas, destacando a grande importância que os outros fatores também têm sobre os processos erosivos. Em casos contrários, podemos ter a chuva como principal fator ativo de erosões.

Figura 26: Comportamento da precipitação no dia do evento erosivo e nos cinco dias que o antecederam. Cada gráfico representa um dos eventos erosivos, em ordem cronológica. Observação: O dia do evento é sempre o último dia apresentado no gráfico, representado pela coluna de cor laranja.





Fonte: Autores.

Dentre os casos de erosões que desencadearam após a precipitação de grande volume de água, destaca-se o ocorrido no dia 15/02/2006, com quantidade total de 388

mm de água acumulada nos cinco dias que antecederam o evento, sendo os dois dias antecedentes os mais expressivos, um com 182 mm (13/02/2006) e outro com 180 mm (14/02/2006). Essa situação não é comum de ocorrer, visto o enorme volume de água em pouco tempo de incidência, com grande potencial de causar danos, sendo considerada, desse modo, como um evento extremo. Pesquisas nas mídias e jornais foram realizadas buscando ocorrências de desastres naturais na região nesse período, porém nenhum fato foi encontrado, apenas a ocorrência registrada pela Defesa Civil.

#### **2.4 Conclusão**

Na área urbana de Rondon do Pará, os prejuízos decorrentes dos processos erosivos são cada vez mais frequentes e intensos. A precipitação é um fator que traz grande influência sobre estes processos e este trabalho vem apresentar casos que podem comprovar essa afirmação. De acordo com as análises realizadas, observou-se que os eventos registrados oficialmente pela Defesa Civil do Estado do Pará se distribuíram ao longo do ano com comportamento semelhante à distribuição da precipitação, sendo os meses de novembro a maio os mais expressivos para as duas variáveis. Nos meses de janeiro a abril, onde se concentram a maior parte das ocorrências de erosão, houve excedente hídrico, ou seja, houve uma sobra de água no solo, onde o mesmo perde a capacidade de infiltrar água e esta se transforma em escoamento superficial, fator que favorece processos erosivos. Assim, concluiu-se que, apesar da precipitação não ser o único fator que influencia do desencadeamento de erosões, ela é um dos fatores ativos de maior importância.

Além disso, concluiu-se também, através das análises individuais dos casos 11 casos de erosão registrados, que um processo erosivo pode ser explicado, dentre outros fatores, por precipitações ocorridas tanto no dia do evento como nos cinco dias que o antecedem, sendo a maior parte dos eventos resultante de acúmulo de precipitação nos dias que o antecedem. Dentre as situações analisadas, variaram casos de erosão que careceram de pouca quantidade de água para desencadear (32 mm em 30/04/2007) e casos que careceram de grandes quantidades (388 mm em 15/02/2006).

## Referências

- ALVES, R. R. **Monitoramento dos processos erosivos e da dinâmica hidrológica e de sedimento de uma voçoroca: estudo de caso na Fazenda do Glória na zona rural de Uberlândia – MG** [dissertação]. Uberlândia (MG): Universidade Federal de Uberlândia; 2007. 104 p.
- ARAÚJO, N. A.; GUETTER, A. K. Validação da chuva estimada por satélite “CMORPH” na modelagem hidrológica do Alto Iguaçu. **RBRH**. 2007; 12(3): 189-198.
- BERTONI, J; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone Editora; 1990. 355 p.
- BONNA, J. L. **Mapeamento Pedológico e de Suscetibilidade Erosiva no Alto Córrego Prata (Ouro Preto-MG)** [dissertação]. Belo Horizonte (MG): Universidade Federal de Minas Gerais; 2011. 119 p.
- CARVALHO, J. C.; SALES, M. M.; SOUSA, N. M.; MELO, M. T. S. **Processos Erosivos no Centro-Oeste Brasileiro**. Brasília: Universidade de Brasília: FINATEC; 2006. 464 p.
- CASTRO, J. M. G.; SOBREIRA, F. G.; GOMES, R. C.; GOMES, G. J. C. Proposição de procedimento preventivo de riscos geológicos em Ouro Preto – BR com base em histórico de ocorrências e sua correlação com a pluviosidade. **R. Bras. Geociências**. 2012; 42 (1): 58-66.
- CEPED – Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. Universidade Federal de Santa Catarina. **Atlas brasileiro de desastres naturais: 1991-2012**. Volume Pará. 2 ed. ver. ampl. Florianópolis: CEPED UFSC, 114 p., 2013.
- CORRÊA, C. M. C.; DEDECEK, R. A.; ROLOFF, G. Sedimentos provenientes de estradas de uso florestal em condição de relevo ondulado a fortemente ondulado. **R. Floresta**. 2010; 40 (1): 221-234.
- CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Ação Emergencial para Delimitação de Áreas em Alto e Muito Alto Risco a Enchentes e Movimentos de Massa – Rondon do Pará, Pará**. Pará: 2015. 36 p.
- DELMONACO, G.; IPPOLITO, F.; MARGOTTINI, C. The CEC Project. Meteorological Factors influencing slope stability and slope movement type: evaluation of hazard prone areas. *In: Hydrological and Hydrogeological Risks: Proceedings of the First Review Meeting, 1., 1995. Anais*, p. 259-283.
- INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas do Brasil 1961 – 1900**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>. Acesso em: 19 de agosto de 2016.

OMM - Organização Meteorológica Mundial. **Calculation of monthly and annual 30-year standard normals**. Geneva, 1989. (WMO. Technical document, n. 341; WCDP, n.10).

PARÁ. Coordenadoria Estadual de Defesa Civil. Banco de dados e registros de desastre: **Sistema Integrado de Informações sobre Desastres - S2ID**; 2015. Disponível em: s2id.mi.gov.br. Acesso em: 09 de set. de 2015.

PRIETO, C. C. **Investigação sobre implantação de loteamentos e a ocorrência de processos erosivos: voçoroca situada no Jardim Santa Edwirges em Ponta Grossa – PR** [dissertação]. Ponta Grossa (PR): Universidade Estadual de Ponta Grossa; 2010. 96 p.

PRUSKI, F. F. Fatores que Interferem na Erosão Hídrica do Solo. In: PRUSKI, F. F. (edit.). **Conservação de solo e água: Práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. Ed. 2. Viçosa: Ed. UFV; 2009 p. 40-73.

SANTOS, C. A.; SOBREIRA, F. G.; COELHO NETO, A. L. Comportamento hidrológico superficial e erodibilidade dos solos da região de Santo Antônio do Leite, Distrito de Ouro Preto – MG. **R. Esc. Minas**. 2002; 55 (4): 285-290.

SODRÉ, G. R. C.; RODRIGUES, L. L. M. Comparação Entre Estimativa da Precipitação Observada Pela Técnica CMORPH e Estações Meteorológicas do INMET em Diferentes Regiões do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**. 2013; 6: 301-307.

TATIZANA, C.; OGURA, A. T.; CERRI, L. E. S.; ROCHA, M. C. M. Análise de Correlação entre Chuvas e Escorregamentos - Serra do Mar, Município de Cubatão. In: **ABGE, Congresso Brasileiro de Geologia e Engenharia**, 5., 1987. São Paulo. *Anais...* São Paulo: ABGE, 1986 p. 225-236.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, 1955. 104p. (Publications in Climatology, vol. VIII, n.1).

ZACAR, D. **Soil erosion**. Development in Soil Science, 10. Amsterdam: Elsevier Scientific; 1982.



## CAPÍTULO 3 - A EROSIVIDADE DA CHUVA ATUAL E FUTURA

(Gerou a publicação do seguinte artigo: Amanda G. Rosa<sup>1</sup>, Adriano M. L. de Sousa<sup>2</sup> e Everaldo B. de Souza<sup>3</sup>. EROSIVIDADE DA CHUVA EM RONDON DO PARÁ/PA (BRASIL) DE 1999 A 2015 E PROJETADA PARA 2035<sup>4</sup>. Revista Ambiente e Água, vol. 11, n. 4, p. 1006-1021, 2016)

### 3.1 Introdução

A erosão é caracterizada por um processo mecânico de desagregação, transporte e deposição de materiais pela ação da água, ventos ou gelo, que pode ocorrer em superfície e profundidade, sob condições físicas naturalmente relevantes, porém que pode se tornar crítico em função da ação antrópica (SILVA; MACHADO, 2014). A erosão hídrica, tipo de erosão mais comum no Brasil, e a consequente produção de sedimento têm sido preocupação constante no que se diz respeito à gestão do solo e da água, com grande potencial de ocasionar problemas de ordem ambiental, econômico e social relevantes ao equilíbrio de ecossistemas em uso (SANTOS et al., 2010).

Desde muito tempo, trabalhos como o de Brown (1984) alertavam sobre as consequências da intensificação do uso do solo, seja pela agricultura ou urbanização, exercendo forte pressão sobre este, o que coloca em risco o atendimento das necessidades humanas e ambientais em virtude da aceleração das taxas de erosão. Assim, é inadiável equacionar e propor soluções para este problema. Nesse sentido, a modelagem do processo de erosão é essencial como uma estratégia usada no planejamento do uso, manejo e conservação do solo.

A Equação Universal da Perda de Solo (EUPS) é um modelo empírico de estimativa de perdas médias anuais de solo em um local, possibilitando um planejamento conservacionista capaz de manter essas perdas em níveis toleráveis (WISCHMEIER; SMITH, 1978). Este modelo abrange os diversos fatores que podem influenciar a erosão hídrica, sendo expresso pela equação  $A = R.K.L.S.C.P$ , onde A representa as perdas

---

<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação de Ciências Ambientais, Universidade Federal do Pará, 66.075-110, Belém-Pará, Brasil.

<sup>2</sup> Instituto Sócio Ambiental – ISARH, Universidade Federal Rural da Amazônia, 66.077-83, Belém-Pará, Brasil.

<sup>3</sup> Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, 66.075-110, Belém-Pará, Brasil.

<sup>4</sup> Parte integrante da dissertação de Mestrado do primeiro autor. Artigo na íntegra no Anexo O.

médias anuais de solo ( $\text{Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ), R é o índice de erosividade da chuva, K é o fator erodibilidade do solo, L o fator comprimento de rampa, S a declividade do terreno, C o fator uso, manejo e cobertura do solo e P o fator práticas conservacionistas de suporte do solo (DIAS; SILVA, 2003).

A definição do fator R, objeto principal desta análise, se dá pelo cálculo do índice de erosividade das chuvas ( $\text{EI}_{30}$ ), o qual representa a capacidade potencial da chuva em provocar o processo de erosão do solo, e é resultado da multiplicação de dois parâmetros específicos das precipitações erosivas de um dado local: energia cinética total da chuva (E) e intensidade máxima em 30 min ( $\text{I}_{30}$ ). A média anual desse índice, obtida na maior série de dados de precipitação disponível, representa o fator R da área de estudo (BAZZANO et al., 2010). Este parâmetro, desenvolvido nos EUA (WISCHMEIER; SMITH, 1978), tem sido bastante aplicado em regiões tropicais e subtropicais, a exemplo do Brasil nos trabalhos de Oliveira Jr e Medina (1990) no estado do Amazonas, Dias e Silva (2003) no Ceará, Maques et al. (1997) em Minas Gerais, Roque et al. (2001), Colodro et al. (2002) e Bertoni e Lombardi Neto (1990) em São Paulo, Hickmann et al. (2008) no Rio Grande do Sul, entre vários outros.

A determinação da erosividade da chuva possibilita identificar, durante o ano, os meses nos quais há maior risco de perda de solo e água, informação que tem papel fundamental no planejamento conservacionista urbano e rural em épocas de maior capacidade erosiva das chuvas (WISCHMEIER; SMITH, 1978; BERTONI; LOMBARDI NETO, 1993; SILVA et al., 2010).

Tendo em vista ser a chuva um dos principais agentes ativos no processo de erosão hídrica, é fundamental avaliar a resposta do solo às diferentes precipitações, tanto em função do volume precipitado quanto pela característica do evento. Nesse sentido, o potencial erosivo da chuva é quantificado a partir de suas características, sendo o índice de erosividade um dos mais utilizados, essencial para os estudos de perda de solo (CARVALHO et al., 2009). Apesar da chuva não ser o único fator que influencia no potencial erosivo de um ambiente, na carência de outras informações e na necessidade de se avaliar os processos erosivos em dadas regiões, esta análise da erosividade da chuva é importante para gerar conhecimento e informações para áreas críticas.

No estado do Pará, o município de Rondon do Pará, localizado no sudeste paraense, tem se destacado nos últimos anos, especialmente em 2015, em função dos processos

erosivos recorrentes na área urbana. Assim, este foi escolhido para a área de interesse deste estudo devido às suas peculiaridades e seu histórico de problemas associados à perda de solo.

A carência de informações sobre a erosividade da chuva na região de estudo constitui, dessa forma, um obstáculo ao planejamento de controle da erosão e ao manejo racional dos solos locais. Nesse contexto, o esta análise tem como objetivo determinar o fator erosividade da chuva para a área urbana do município de Rondon do Pará. Para isso, as seguintes metas devem ser alcançadas: (a) projeções da erosividade da chuva na região para os próximos 20 anos; (b) análise da distribuição anual, sazonal e mensal do índice de erosividade, e (c) correlação do índice de erosividade médio mensal com o coeficiente de chuva local.

## 3.2 Material e Métodos

### 3.2.1 Descrição da área

Localizada na região norte do território brasileiro, a área de estudo compreende a área urbana do município de Rondon do Pará/PA, localizado na latitude 4°46'34''S e longitude 48°04'02''W. A precipitação média anual é de 1.710 mm e o tipo climático predominante na região é Aw, de acordo com critérios de Koppen, caracterizado por um clima tropical chuvoso. O ano hidrológico da região começa em outubro com a estação chuvosa e termina em setembro, com o fim da estiagem (CPRM, 2015).

Os processos erosivos, naturais de evolução geomorfológica na região, que está localizada no Domínio de Colinas Dissecadas e Morros Baixos e possui relevo de baixo platô, com amplitude média de 95 metros e bordas relativamente íngremes, e solos muito profundos, friáveis e com alta erodibilidade (Latosolo amarelo), se intensificam entre novembro e maio, período de grande precipitação na região, influenciados também pela concentração de águas pluviais em galerias subterrâneas que deságuam em poucos pontos na cidade (CPRM, 2015).

### 3.2.2 Dados utilizados

Na metodologia foram utilizados dados observados de precipitação adquiridos a partir dos satélites CMORPH (Climate Prediction Center morphing method) para a posterior determinação da erosividade da chuva. Os dados de chuva do CMORPH

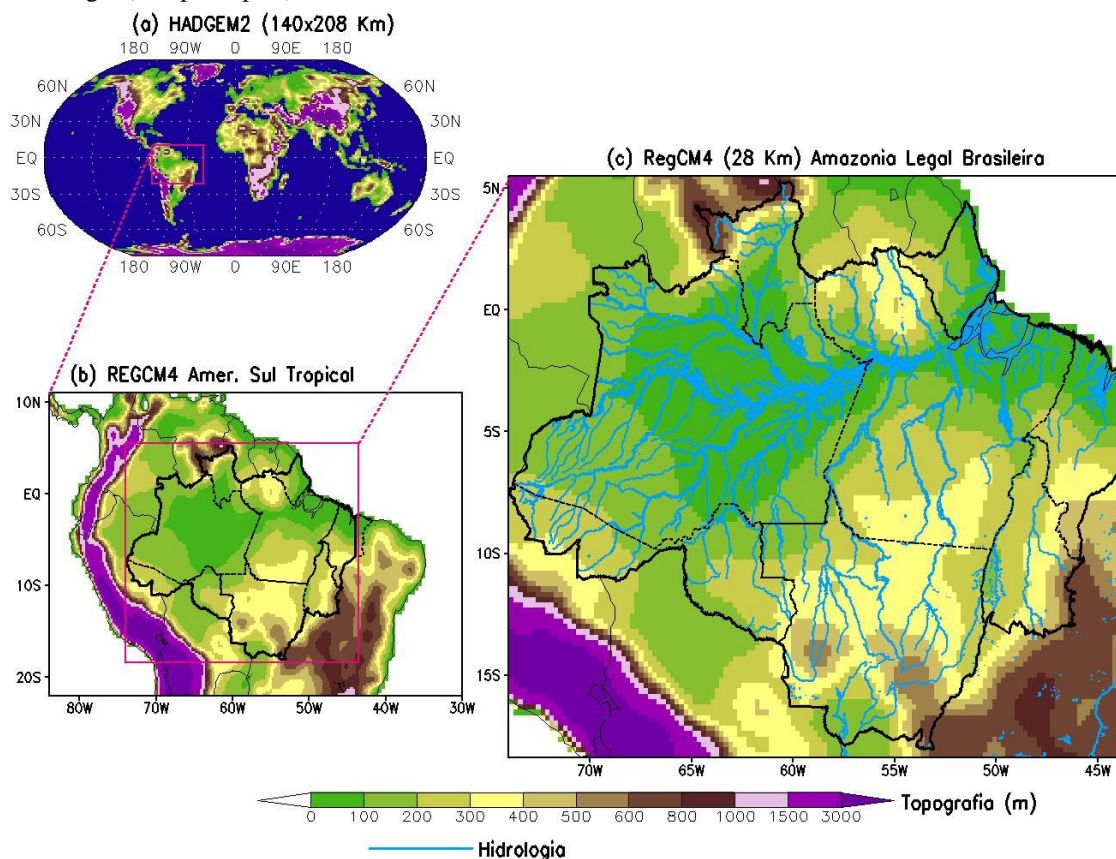
(disponíveis em *ftp.cpc.ncep.noaa.gov/*), com séries a partir de 1998, além de fornecer dados espaciais satisfatórios com resolução espacial de 64 km<sup>2</sup>, apresenta bastante confiabilidade quantitativa, como foi comprovado em diversos estudos (SODRÉ; RODRIGUES, 2013; ARAÚJO; GUETTER, 2007). Neste trabalho foram utilizados dados entre os anos de 1999 e 2015 provenientes de um quadrante do município, que inclui a área urbana, entre as latitudes 4°S e 5°S e entre as longitudes 48°W e 49°W. Para esta tarefa obteve-se o auxílio do software GrADS 2.0.

Embora a maioria dos estudos faça uso de períodos de dados de precipitação mais longos, geralmente maior de 20 anos (DIAS; SILVA, 2003; COLODRO et al., 2002; BAZZANO et al., 2010; HICKMANN et al., 2008; CASSOL et al., 2008), conforme sugerido por Wischmeier e Smith (1978), utilizou-se essa série de dados de 17 anos em função da indisponibilidade de dados mais antigos.

Na determinação da erosividade da chuva para o clima futuro foram usados os dados fornecidos pelo Sistema de Modelagem Climática Regional - RegCM4 (Giorgi et al. 2012). A simulação climática regional na resolução de 28 km sobre o domínio da Amazônia foi conduzida por Souza et al. (2016) usando o RegCM4 aninhado as condições de contorno do modelo global HADGEM2 para o cenário RCP 4.5 que é considerado como cenário intermediário de emissões globais com forçante radiativa de aproximadamente 4.5W/m<sup>2</sup> (~650 ppm de CO<sub>2</sub>) até o ano de 2100 (Figura 27). Assim, os dados de precipitação gerados pelo RegCM4 para o quadrante da região de Rondon do Pará foram extraídos para o período de 2016 a 2035.

Este Sistema de Modelagem Climática Regional utiliza dados de precipitação gerados através do sistema de análise de dados observacionais do *Climate Prediction Center* (CPC, USA). Os dados de chuva do CPC consistem de médias mensais disponíveis numa grade sobre o Brasil com resolução horizontal de 55 km e são baseados inteiramente nos registros das estações de superfície da rede meteorológica nacional e estadual. Os detalhes sobre a técnica de análise objetiva e interpolação empregados na geração destes dados encontram-se em Chen et al. (2008). Estudos anteriores demonstraram ótima consistência e correspondência entre os dados do CPC e dados derivados de estações convencionais individuais e estimativas de satélite sobre a região da Amazônia (SILVA et al., 2007; SOUZA et al., 2009).

Figura 27: Domínios dos modelos: (a) global HadGEM2 (resolução 140 x 208 Km) e (b) regional RegCM4 (resolução 28 x 28 Km) sobre a América do Sul tropical com o destaque para (c) a região da Amazônia Legal Brasileira. As cores representam a topografia (m) e as isolinhas azuis mostram a hidrologia (rios principais).



Fonte: Souza et al., 2016.

### 3.2.3 Determinação dos índices de erosividade

Um dos primeiros estudos acerca da erosividade foi o realizado por Wischmeier e Smith (1958), posteriormente modificado por Foster et al. (1981), os quais propuseram um índice de erosividade da chuva, denominado  $EI_{30}$ , definido como o produto da energia cinética da chuva pela intensidade máxima ocorrida em um período de 30 minutos. Porém, em função da dificuldade de obtenção de registros e do grande trabalho no processamento dos dados, outros autores, como Silva (2004), propuseram uma metodologia que permite estimar a erosividade da chuva para cada mês usando dados diários e mensais de precipitação.

Silva (2004) sugeriu que o país fosse dividido em oito regiões homogêneas em termos de precipitação, as quais possuiriam equações específicas para cada realidade. A

área de interesse deste trabalho está incluída na região dois desta divisão, que possui método estabelecido por Morais et al. (1991) representado pela equação abaixo:

$$L = \frac{Q_i}{T} \cdot 5.496 \quad (1)$$

sendo:  $R_x$  = erosividade da chuva para cada mês;  $M_x$  = precipitação média mensal;  $P$  = precipitação média anual.

Assim, foram calculados índices de erosividade para os 17 anos de dados, 1999 a 2015, gerando índices mensais, que foram somados, originando o índice de erosividade anual para a área de estudo. A erosividade prevista para os anos de 2016 a 2035 foi determinada pela mesma metodologia. O valor final classificou a região dentre as classes de erosividade de acordo com a Tabela 8.

Tabela 8: Classificação do Índice de Erosividade Anual (R).

Erosividade (MJ mm ano <sup>-1</sup> ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )	Classe de Erosividade
<b>R ≤ 2452</b>	Baixa erosividade
<b>2452 &lt; R ≤ 4905</b>	Média erosividade
<b>4905 &lt; R ≤ 7357</b>	Média-alta erosividade
<b>7357 &lt; R ≤ 9810</b>	Alta erosividade
<b>R &gt; 9810</b>	Muito Alta erosividade

Fonte: Carvalho (1994), modificado de Foster et al. (1981).

### 3.2.4 Probabilidade de ocorrência e período de retorno do índice de erosividade

Nas análises de probabilidade de ocorrência e do período de retorno do índice de erosividade determinados para os anos de 1999 a 2015, foram usadas a lei de probabilidade logarítmica e a teoria de valores extremos (SCHWAB et al., 1981). O período de retorno e a probabilidade de ocorrência foram obtidos pelas equações a seguir, respectivamente:

$$L = E s; \bullet \quad (2)$$

sendo:  $T$  o período de retorno, no qual o índice de erosividade é igualado ou superado;  $N$  o número de anos de registro de dados, e  $m$  o número de ordem do índice de erosividade, quando a série de dados de erosividade é colocada em ordem decrescente de magnitude.

□ □ □ □

(3)

sendo: Pr a probabilidade de ocorrência e T o tempo de retorno.

Utilizou-se o programa OriginPro 8.0 como auxílio na confecção do gráfico da plotagem dos valores determinados das probabilidades de ocorrência, dos períodos de retorno e da curva de distribuição de probabilidade.

### 3.2.5 Distribuição anual e mensal da percentagem acumulada da erosividade

Os valores dos índices de erosividade médios mensais foram divididos pelo seu valor médio anual, obtendo-se os respectivos valores relativos mensais. Esses valores, modificados para percentagens, representam a porcentagem acumulada da erosividade para cada mês do ano, possibilitando a análise da distribuição da erosividade ao longo dos períodos.

### 3.2.6 Correlação entre a precipitação e o índice de erosividade

Utilizando os dados pluviométricos de 1999 a 2015 e de 2016 a 2035, para cada mês do ano, foi calculado o coeficiente de chuva, por meio do método proposto por Lombardi Neto (1977), cuja expressão é dada por:

$$\dots L \cdot \sim f \quad (4)$$

sendo: Rc o coeficiente de chuva em mm; Pm a precipitação média mensal em mm e Pa a precipitação média anual.

Os valores dos coeficientes de chuva foram correlacionados com os valores de erosividades por meio de regressão, visando identificar relação entre a precipitação e a ocorrência de processos erosivos.

## 3.3 Resultados e Discussão

O fator erosividade da chuva (R) determinado para Rondon do Pará (PA), com base nos dados de precipitação observados (1999 a 2015), foi de  $16.390 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , com desvio padrão de 3.640 e coeficiente de variação de 22%, classificando a região em área de muito alta erosividade. Com base nos dados de precipitação por modelagem, nos anos de 2016 a 2035, obteve-se um fator de erosividade de  $13.038 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , com desvio padrão de 2.239 e coeficiente de variação de 17%, mantendo a classificação de muito alta erosividade (Tabela 9 e Figura 28). Estes valores do fator

erosividade encontrados enquadram-se na faixa de variação de 3.116 a 20.035 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, encontrada por Silva (2004) através do mapa de erosividade da chuva para o Brasil.

Tabela 9: Distribuição média mensal da precipitação, da erosividade absoluta e relativa e do coeficiente de chuva de Rondon do Pará (PA), nos períodos de 1999 a 2015 e 2016 a 2035.

<b>Total Mensal</b>					
<b>Ano</b>	<b>Mês</b>	<b>Prp (mm)</b>	<b>Erosividade (MJ mm ano<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>)</b>	<b>Erosividade Relativa (%)</b>	<b>Coef. De Chuva – Rc (mm)</b>
<b>1999 a 2015</b>	Jan	245,94	1952,60	11,91	35,36
	Fev	315,82	3867,55	23,60	58,31
	Mar	340,41	4218,22	25,74	67,75
	Abr	294,65	3720,82	22,70	50,75
	Mai	122,53	711,99	4,34	8,78
	Jun	21,88	56,96	0,35	0,28
	Jul	13,88	11,85	0,07	0,11
	Ago	7,06	5,10	0,03	0,03
	Set	18,88	34,03	0,21	0,21
	Out	54,65	156,71	0,96	1,75
	Nov	132,71	768,52	4,69	10,30
	Dez	142,12	885,69	5,40	11,81
<b>Total</b>		<b>1710,53</b>	<b>16390,04</b>	<b>100</b>	<b>-</b>
<b>2016 a 2035</b>	Jan	262,57	2228,66	17,09	40,80
	Fev	265,48	2165,12	16,61	41,71
	Mar	372,16	4596,90	35,26	81,97
	Abr	256,05	2186,98	16,77	38,80
	Mai	145,24	652,25	5,00	12,48
	Jun	16,35	12,03	0,09	0,16
	Jul	17,83	10,55	0,08	0,19
	Ago	13,80	6,33	0,05	0,11
	Set	25,80	14,62	0,11	0,39
	Out	46,50	49,22	0,38	1,28
	Nov	108	313,90	2,41	6,90
	Dez	159,96	801,46	6,15	15,14
<b>Total anual</b>		<b>1689,72</b>	<b>13038,01</b>	<b>100</b>	<b>-</b>

Fonte: Autores.

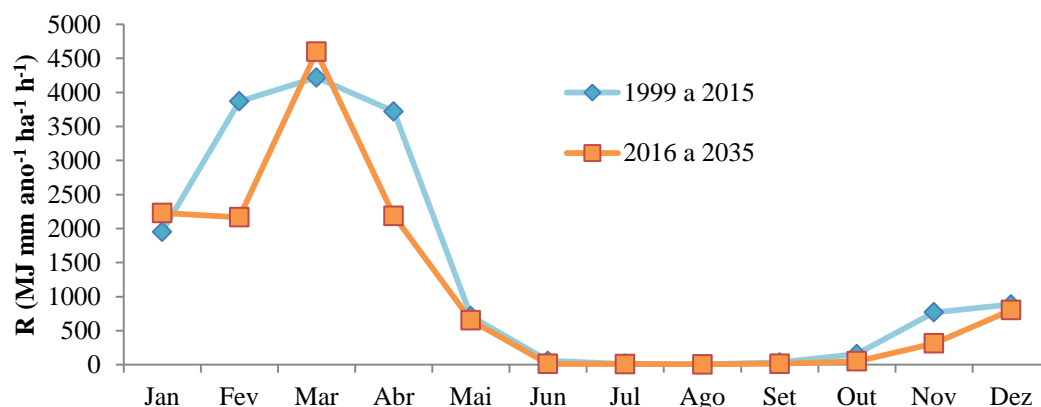
A variação observada nas curvas de erosividade anual nos dois períodos (Figura 28) se dá em função das pequenas distinções na estimativa de dados de precipitação nas duas séries, sendo uma série originada de dados observados (CMORPH) e outra resultante de dados de modelagem (RegCM4).

Os valores dos fatores de erosividade da chuva encontrados para Rondon do Pará foram significativamente superiores aos encontrados para outras regiões do Brasil, como o encontrado para Teodoro Sampaio (SP) (7.172 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) por Colodro et al. (2002), para Rio Grande (RS) (5.135 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) por Bazzano



et al. (2010), para Barranquinho (MT) ( $8.493 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) por Morais et al. (1991), para Fortaleza (CE) ( $6.774 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) por Dias e Silva (2003), para Goiânia (GO) ( $8.355 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) por Silva et al. (1997), e para Uruguaiana (RS) ( $8.875 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ), por Hickmann (2008). Os fatores de erosividade apresentados nos trabalhos citados, possivelmente, se mostram discrepantes, comparados ao valor encontrado neste trabalho, devido à grande distinção climática com a área de estudo deste trabalho. Entretanto, não há grande disponibilidade de estudos de erosividade para a região norte do país, dificultando a discussão dos resultados com trabalhos semelhantes na região.

Figura 28: Distribuição do fator erosividade (R) médio anual para os períodos de 1999 a 2015 (dados observados) e 2016 a 2035 (dados de modelagem).



Fonte: Autores.

Valores de erosividade da chuva semelhantes foram encontrados, por Oliveira Jr e Medina (1990), em Manaus (AM), com índice de  $14.129 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , e por Oliveira Jr (1996) em Conceição do Araguaia (PA), com índice de  $11.487 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . O valor mais próximo era esperado em função da semelhança da distribuição anual e das características da precipitação na região norte. Valores próximos foram encontrados também por Silva et al. (2010) para São Domingos do Prata (MG) ( $13.145 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ), Santo Antônio do Itambé (MG) ( $15.280 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) e Belo Oriente (MG) ( $12.919 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ).

Considerando os valores relativos da erosividade mensal, entre os anos de 1999 a 2015, verifica-se que no semestre de novembro a abril ocorre 94,04% da erosividade anual, sendo o trimestre fevereiro-março-abril o de maior recorrência, 72,04% da

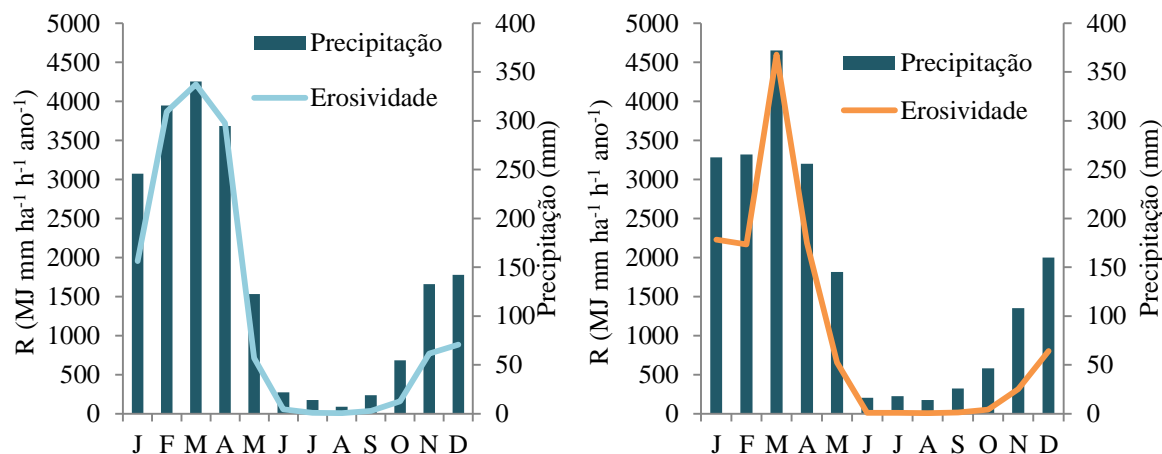
erosividade anual, valor compatível com a distribuição da precipitação na região, indicando que neste período é provável a maior parte das perdas anuais de solo por erosão em Rondon do Pará. Tal comportamento da distribuição da erosividade também é observado entre os anos 2016 e 2035, com os dados de modelagem climática (Tabela 9). Para esta segunda série de dados, o semestre de maior ocorrência da erosividade anual foi de dezembro a maio, com 96,88 %, sendo o quadrimestre janeiro-fevereiro-março-abril o de maior destaque, ocorrendo 85,73 % da erosividade anual. Embora a variação nos valores mensais da precipitação e suas características possam explicar grande parte das variações na erosividade (BAZZANO et al., 2010), é importante destacar estes não são os únicos fatores influentes dos processos erosivos, a exemplo da geologia, pedologia, relevo e o uso do solo (SILVA; MACHADO, 2014).

Outros trabalhos na literatura elaboraram uma análise da erosividade relativa, como Colodro et al. (2002), para Teodoro Sampaio (SP), Roque et al. (2001), para Pirajú (SP), Lombardi Neto (1977), para Campinas (SP), Pereira (1983), para Piracicaba (SP), entre outros. Esses autores definiram como o semestre de maior potencial de erosividade o de outubro a março, coerente para o estado de São Paulo, enquanto que para Rondon do Pará (PA) este foi de novembro a abril. Apesar da diferença de um mês no intervalo do semestre com maior potencial de erosividade anual, é válida uma comparação entre os seus resultados, a fim de discutir o comportamento da erosividade anual do município de Rondon do Pará. Em termos absolutos, o valor de erosividade, para o semestre de maior potencial, foi de 15.413, 6.047, 5.545, 5.307 e 4.933 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente, para Rondon do Pará (1999 a 2015), Campinas, Pirajú, Teodoro Sampaio e Piracicaba. Em termos relativos, a erosividade foi de 94,04, 90,7, 86,1, 78,5 e 74,0%, para Rondon do Pará, Campinas, Piracicaba, Pirajú e Teodoro Sampaio, respectivamente. Com base nesta análise, pode-se concluir que, tanto em termos absolutos como relativos, eram prováveis maiores perdas de solo por erosão em Rondon do Pará quando comparadas às dos outros municípios em questão, o que indica maiores necessidades de cuidados com a proteção do solo.

A Figura 29 indica haver uma conformidade entre as distribuições médias mensais do fator erosividade e precipitação, entre os anos de 1999 a 2015, do município de Rondon do Pará. Observa-se que a erosividade média anual para a área de estudo é de 16.390 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, para uma precipitação média de 1710,53 mm ano<sup>-1</sup>, estando os meses com maiores precipitações associados com os meses de maior

erosividade, reforçando a ideia do efeito preponderante da intensidade da precipitação em caracterizar o potencial erosivo. O mesmo comportamento é verificado na série de dados de 2016 a 2035.

Figura 29: Distribuição do fator erosividade (R) e da precipitação médias anuais de Rondon do Pará (PA), nos períodos de 1999 a 2015 (a esquerda) e 2016 a 2035 (a direita).



Fonte: Autores.

Esta harmonia entre a precipitação e a erosividade pode ser encontrada em outros trabalhos, como o de Oliveira Jr (1996), para Conceição do Araguaia (PA), de Colodro et al. (2002), para Teodoro Sampaio (SP), de Moraes et al. (1991), para Cárceres (MT) e Corixa (MT), de Roque et al. (2001), para Piraju (SP), e de Hickmann et al. (2008), para Uruguaiana (RS), e de Silva et al. (2010) para a região centro-leste do Estado de Minas Gerais. Bazzano et al. (2010), na análise da erosividade em Rio Grande (RS), encontrou um comportamento distinto, onde em meses de alta precipitação (junho, julho e agosto) foram identificadas baixos índices de erosividade mensais, comparados ao resto do ano.

Os valores do período de retorno e da probabilidade de ocorrência, determinados para o maior parâmetro de erosividade anual observado (23.880 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, em 2002), foram de 18 anos e 5,6%, respectivamente (Tabela 10). Os períodos de retorno e probabilidade de ocorrência para o menor valor de erosividade (10.110 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, em 2012) foram, respectivamente, 1,1 anos e 94,4%. Assim, espera-se que ocorra na área de estudo, com uma probabilidade de 5,6%, um valor de erosividade anual igual ou superior a 23.880 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> pelo menos uma vez a cada 18 anos, e que, com uma probabilidade de 94,4%, ocorra um valor de erosividade

igual ou superior a  $10.110 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  pelo menos uma vez a cada 1,1 anos. Ambos classificando a região como de muito alta erosividade. Para a análise do período de retorno e da probabilidade de ocorrência foram utilizados apenas os dados de 1999 a 2015, devido serem resultantes de séries observadas.

Tabela 10: Probabilidade de ocorrência e período de retorno dos valores anuais de erosividade de Rondon do Pará (PA) no período de 1999 a 2015.

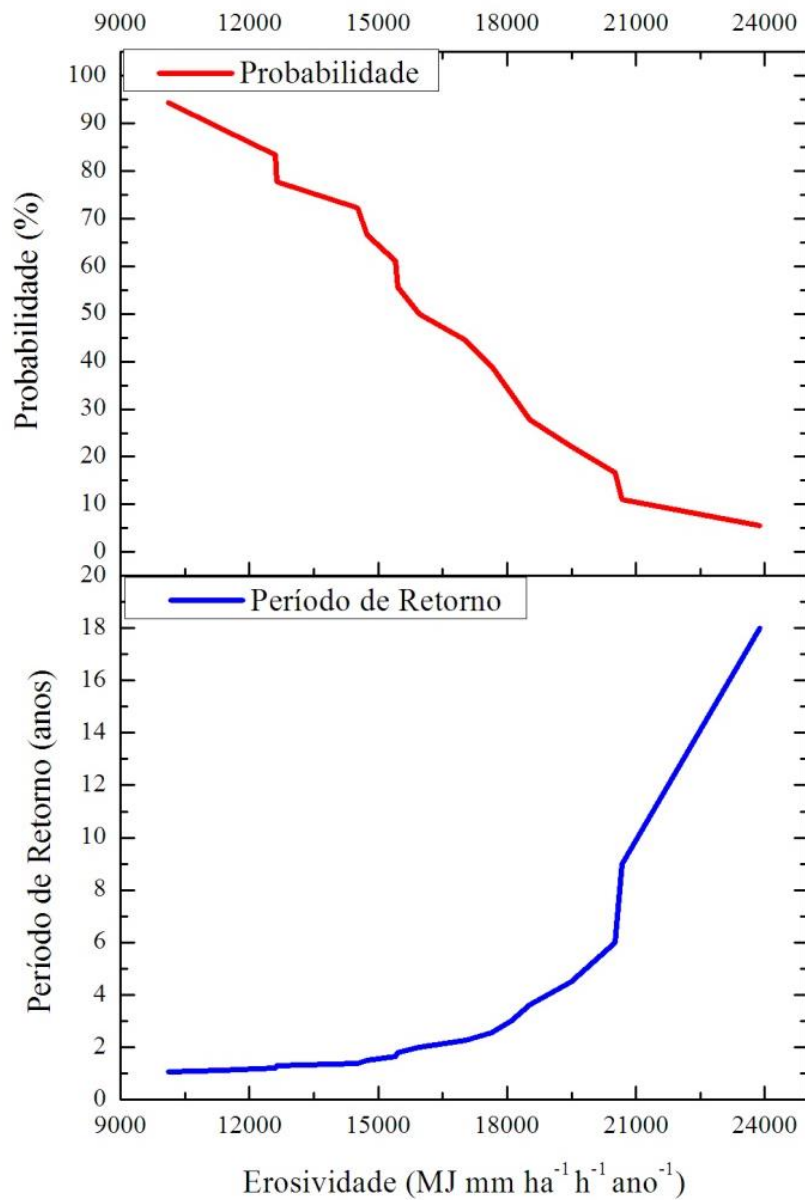
<b>Ano</b>	<b>Erosividade (MJ mm ha<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>)</b>	<b>Número de Ordem, m</b>	<b>Período de Retorno, T (anos)</b>	<b>Probabilidade, Pr (%)</b>
<b>2002</b>	23.880	1	18,0	5,6
<b>1999</b>	20.677	2	9,0	11,1
<b>2009</b>	20.513	3	6,0	16,7
<b>2014</b>	19.492	4	4,5	22,2
<b>2015</b>	18.522	5	3,6	27,8
<b>2007</b>	18.089	6	3,0	33,3
<b>2006</b>	17.648	7	2,6	38,9
<b>2001</b>	17.036	8	2,3	44,4
<b>2005</b>	15.955	9	2,0	50,0
<b>2003</b>	15.458	10	1,8	55,6
<b>2008</b>	15.402	11	1,6	61,1
<b>2004</b>	14.737	12	1,5	66,7
<b>2011</b>	14.516	13	1,4	72,2
<b>2013</b>	12.639	14	1,3	77,8
<b>2010</b>	12.608	15	1,2	83,3
<b>2000</b>	11.350	16	1,1	88,9
<b>2012</b>	10.110	17	1,1	94,4
<b>DP</b>	3.640			
<b>CV %</b>	22			

Fonte: Autores.

Para um período de análise de 20 anos, em Fortaleza (CE), Dias e Silva (2003) encontraram valor máximo ( $12.881 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) e mínimo ( $2.237 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) da erosividade anual com períodos de retorno de 21 e 1,05 anos e probabilidades de ocorrência de 4,8% e 95,2%, respectivamente. Para um período de 23 anos de dados, Roque et al. (2001), em Piraju (SP), encontraram um valor máximo de  $12.940 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  e mínimo de  $3.624 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  de erosividade anual, com período de retorno e probabilidades de ocorrência iguais a 24 anos e 4,2% para o máximo e 1,04 anos e 96,2% para o mínimo. Seguramente, tanto os períodos de estudo diferentes da análise como as diferenças climáticas entre o Pará, o Ceará e São Paulo, condicionaram valores superiores de erosividade encontrada para o município de Rondon do Pará (PA).

O período de retorno do fator erosividade da chuva (R) do município de Rondon do Pará ( $16.390 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) foi de aproximadamente 2,1 anos, equivalentes a uma probabilidade de ocorrência de 47% (valores obtidos da Figura 30).

Figura 30: Curva de probabilidade de ocorrência e período de retorno da erosividade anual de Rondon do Pará (PA) no período de 1999 a 2015.



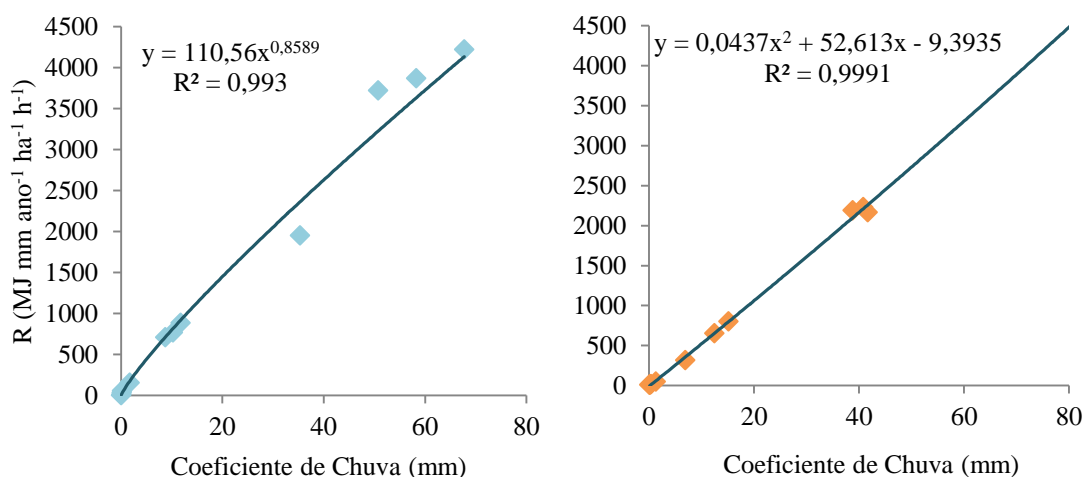
Fonte: Autores.

Este valor foi próximo daqueles obtidos para os fatores R de Teodoro Samapio (SP) (2,33 anos), por Colodro et al. (2002), de Campinas (SP) (2,1 anos), por Lombardi Neto

(1977), de Piraju (SP) (2,3 anos), por Roque et al. (2001), de Piracicaba (SP) (2,1 anos), por Pereira (1983), de Fortaleza (CE) (2,2 anos), por Dias e Silva (2003), e de Conceição do Araguaia (PA) (2,7 anos), por Oliveira Jr (1996). Conclui-se, portanto, ser possível ocorrer no município, em uma probabilidade de 47% um valor de erosividade anual igual ou superior ao fator R calculado, pelo menos uma vez a cada 2,1 anos. A leitura dessa curva (Figura 30) permite estimar os períodos de retorno e probabilidades de ocorrência para diferentes valores de erosividade.

A Figura 31 apresenta a curva de regressão entre o índice de erosividade médio mensal e o coeficiente de chuva para Rondon do Pará, para a série de dados observados (1999 a 2015) e para a série de dados oriundos de modelagem (2016 a 2015).

Figura 31: Curva de regressão entre a erosividade média mensal (R) e o coeficiente de chuva de Rondon do Pará (PA), nos períodos de 1999 a 2015 (a esquerda) e de 2016 a 2035 (a direita).



Fonte: Autores.

Rondon do Pará apresentou elevada correlação entre o fator erosividade médio mensal e o coeficiente de chuva. Isto indica que a erosividade mensal das chuvas no município pode ser estimada utilizando dados de precipitação. O modelo matemático que apresentou a melhor correlação foi o de potência, para o período de 1999 a 2015, ( $r^2 = 0,993$ ), conforme a equação (Figura 31), concordando com os resultados de Roque et al. (2001), para Piraju (SP), de Lombardi Neto (1977), para Campinas (SP), de Pereira (1983), para Piracicaba, dentre outros. Por outro lado, contrastou com os dados de Colodro et al. (2002) e Rufino (1993), nos quais a relação linear apresentou maior

correlação, e com os dados de Hickmann et al. (2008), onde a relação quadrática apresentou melhor correlação. Para o período de 2016 a 2035, o modelo matemático que apresentou melhor correlação foi o de polinômio ( $r^2 = 0,9991$ ), de acordo com a equação (Figura 31), embora a relação linear também tenha apresentado elevada correlação entre os dados.

### 3.4 Conclusão

i. Os fatores erosividade da chuva para o município de Rondon do Pará (PA) foram de  $16.390 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , no período de 1999 a 2015, e  $13.038 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , no período de 2016 a 2035. O fator  $16.390 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , que revela uma probabilidade de ocorrência de 47%, pode ser igualado, ou superado, pelo menos uma vez a cada 2,1 anos. Os índices de erosividade anual foram considerados muito altos, estabelecendo cenários críticos para o planejamento de práticas conservacionistas do solo e da água.

ii. Nos meses de fevereiro, março e abril, observou-se uma distribuição de 72,04 % do total na erosividade anual, para o período de 1999 a 2015, indicando, que neste período, era provável a maior parte das perdas anuais de solo por erosão. Para o período de dados de 2016 a 2035, os meses de janeiro, fevereiro, março e abril foram os que mais se destacaram na distribuição da erosividade, ocorrendo 85,73 % do total na erosividade anual.

iii. O modelo matemático que apresentou a melhor correlação entre a erosividade média mensal e o coeficiente de chuva foi o de potência para os anos de 1999 a 2015 e o de polinômio para os anos de 2016 a 2035.

### Referências

ARAÚJO, N. A.; GUETTER, A. K. Validação da chuva estimada por satélite “CMORPH” na modelagem hidrológica do Alto Iguaçu. **RBRH**. v. 12, n. 3, p. 189-198, 2007.

BAZZANO, M. G. P.; ELTZ, F. L. F.; CASSOL, E. A. Erosividade e características hidrológicas das chuvas de Rio Grande (RS). **R. Bras Ci Solo**. v. 34, p. 235-244, 2010.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone; 1990.

BROWN, L. R. The global loss of topsoil. **J. Soil Water Conserv.** v.39, p. 162-165, 1984.

CARVALHO, D. F.; CRUZ, E. S.; PINTO, M. F.; SILVA, L. D. B.; GUERRA, J. G. M. Características da chuva e perdas por erosão sob diferentes práticas de manejo do solo. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental.** v. 13, n. 1, p. 3-9, 2009.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia Prática.** Rio de Janeiro: CPRM – Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais; 1994.

CASSOL, E. A.; ELTZ, F. L. F.; MARTINS, D.; LEMOS, A. M.; LIMA, V. S.; BUENO, A. C. Erosividade, padrões hidrológicos, período de retorno e probabilidade de ocorrência das chuvas em São Borja, RS. **R. Bras. Ci. Solo.** v. 32, p. 1239-1251, 2008.

CHEN, M.; SHI, W.; XIE, P.; co-authors. Assessing objective techniques for gauge-based analyses of global daily precipitation. *Journal of Geophysical Research*, v. 113, p. D04110, 2008.

COLODRO, G.; CARVALHO, M. P.; ROQUE, C. G.; PRADO, R. M. Erosividade da Chuva: Distribuição e correlação com a precipitação pluviométrica de Teodoro Sampaio (SP). **R. Bras. Ci. Solo.** v. 26, p. 809-818, 2002.

CPRM - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Ação emergencial para delimitação de áreas em alto e muito alto risco a enchentes e movimentos de massa – Rondon do Pará, Pará.** Belém: CPRM; 2015.

SOUZA, E. B.; CARMO, A. M. C.; MORAES, B. C.; NACIF, A.; FERREIRA, D. B. S.; ROCHA, E. J. P.; SOUZA, P. J. O. P.; SOUSA, A. M. L. Sazonalidade da precipitação sobre a Amazônia Legal Brasileira: clima atual e projeções futuras usando o modelo RegCM4. **Rev. Brasil. Climatologia**, 2016 (aceito para publicação).

SOUZA, E. B.; LOPES, M. N. G.; ROCHA, E. J. P.; SOUZA, J. R. S.; CUNHA, A. C.; SILVA, R. R.; FERREIRA, D. B. S., SANTOS, D. M.; CARMO, A. M. C.; SOUSA, J. R. A.; GUIMARÃES, P. L.; MOTA, M. A. S.; MAKINO, M.; SENNA, R. C.; SOUSA, A. M. L.; MOTA, G.; KUHN, SOUZA, P. F. S.; VITORINO, M. I. Precipitação climatológica sobre a Amazônia oriental durante o período chuvoso: observações e simulações regionais com o RegCM3. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 24(2), p. 111-124, 2009.

DIAS, A. S.; SILVA, J. R. C. A Erosividade das chuvas em Fortaleza (CE). I – distribuição, probabilidade de ocorrência e período de retorno – primeira aproximação. **R. Bras. Ci. Solo.** v. 27, p. 335-345, 2003.

FOSTER, G. R.; MCCOOL, D. K.; RENARD, K. G.; MOLDENHAUER, W. C. Conversion of the universal soil loss equation to SI units. **J. Soil Water Conserv.** v. 36, p. 355-359, 1981.



GIORGI, F.; COPPOLA, E.; SOLMON, F.; MARIOTTI, L.; SYLLA, M.; BI, X.; ELGUINDI, N.; DIRO, G.; NAIR, V.; GIULIANI, G.; TURUNCOGLU, U.; COZZINI, S.; GÜTTLER, I.; O'BRIEN, T.; TAWFIK, A.; SHALABY, A.; ZAKAY, A.; STEINER, A.; STORDAL, F.; SLOAN, L.; BRANKOVIĆ, C. RegCM4: model description and preliminary tests over multiple CORDEX domains. **Climate Research**, v. 52, p. 7-29, 2012.

HICKMANN, C.; ELTZ, F. L. F.; CASSOL, E. A.; COGO, C. M. Erosividade das chuvas em Uruguaiana, RS, determinada pelo Índice EI<sub>30</sub>, com base no período de 1963 a 1991. **R. Bras. Ci. Solo**. v. 32, p. 825-831, 2008.

LOMBARDI NETO, F. **Rainfall erosivity – Its distribution and relationship with soil loss at Campinas, Brasil**. 1977. 53f. Dissertação (Mestrado em Agronomy). West Lafayette: Purdue University; 1977.

MARQUES, J. J. G. S. M.; ALVARENGA, R. C.; CURI, N.; SANTANA, D. P.; SILVA, M. L. N. Índices de erosividade da chuva, perdas de solo e fator erodibilidade para dois solos da região dos cerrados – primeira aproximação. **R. Bras. Ci. Solo**. v. 21, p. 427-434, 1997.

MORAIS, L. F. B.; SILVA, V.; NASCHENVENG, T. M. C.; HARDOIN, P. C.; ALMEIDA, J. E. L.; WEBER, O. L. S.; BOEL, E.; DURIGON, V. Índice EI<sub>30</sub> e sua relação com o coeficiente de chuva do sudoeste de Mato Grosso. **R. Bras. Ci. Solo**. v. 15, p. 339-344, 1991.

OLIVEIRA JR, R. C. **Índice de erosividade das chuvas na região de Conceição do Araguaia, Pará**. Belém: EMBRAPA-CPATU; 1996. Boletim de Pesquisa N° 165.

OLIVEIRA JR, R.; MEDINA, B. F. A erosividade das chuvas em Manaus (AM). **R. Bras. Ci. Solo**. v. 14, p. 235-239, 1990.

PEREIRA, H. H. G. **Índices de erosividade da chuva: distribuição e relação com a precipitação em Piracicaba – SP**. 1983. 70f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz; 1983.

ROQUE, C. G.; CARVALHO, M. P.; PRADO, R. M. Fator erosividade da chuva de Piraju (SP): distribuição, probabilidade de ocorrência, período de retorno e correlação com o coeficiente de chuva. **R. Bras. Ci. Solo**. v. 25, p. 147-156, 2001.

RUFINO, R.; BISCAIA, R. C. M.; MERTEN, G. Avaliação do potencial erosivo da chuva do Estado do Paraná, através de pluviometria. Terceira Aproximação. **R. Bras. Ci. Solo**. v. 17, p. 439-444, 1993.

SANTOS, G. S.; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L. F. C. Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica. **R. Bras. Eng. Agríc. e Ambiental**. v. 14, n. 2, p. 115-123, 2010.

SCHWAB, G. O.; FANGMEIER, D. D.; ELLIOT, W. J.; FREVERT, R. K. **Soil and water conservation engineering**. 3<sup>o</sup> ed. New York: John Wiley & Sons, 1981.

SILVA, A. M. Rainfall erosivity map for Brazil. **Catena**. v. 57, p. 251-259, 2004.

SILVA, M. L. N.; FREITAS, P. L.; BLANCANEAU, P.; CURI, N. Índice de erosividade de chuva da região de Goiânia (GO). **Pesq. Agropec. Bras.** v. 32, n. 10, p. 977-985, 1997.

SILVA, M. A. S.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; SANTOS, G. R.; MARQUES, J. J. G. S. M.; MENEZES, M. D.; LEITE, F. P. Avaliação e espacialização da erosividade da chuva no Vale do Rio Doce, Região Centro-Leste do Estado de Minas Gerais. **R. Bras. Ci. Solo**. v. 34, p. 1029-1039, 2010.

SILVA, V. B. S., KOUSKY, V. E., SHI, W., HIGGINS, R. W. An improved gridded historical daily precipitation analysis for Brazil. *Journal of Hydrometeorology*, v. 8, p. 847-861, 2007.

SILVA, V. C. B.; MACHADO, P. S. SIG na análise ambiental: suscetibilidade erosiva da bacia hidrográfica do Córrego Mutuca, Nova Lima – Minas Gerais. **R.Geografia (UFPE)**. v. 31. n. 2, p. 66-87, 2014.

SODRÉ, G. R. C.; RODRIGUES, L. L. M. Comparação entre estimativa da precipitação observada pela técnica CMORPH e estações meteorológicas do INMET em diferentes regiões do Brasil. **R. Bras. Geog. Física**. v. 6, n. 2, p. 301-307, 2013.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning**. Washington: USDA – Agricultural Research; 1978. *Agricultural Handbook*, 537.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Rainfall energy and its relationship to soil loss. **Trans. Am. Geophys. Union**. v. 39, p. 285-291, 1958.

#### 4 CONCLUSÕES GERAIS

Este trabalho buscou estudar os processos erosivos recorrentes na área urbana de Rondon do Pará (PA), especialmente quanto aos fatores climáticos que os condicionam. Esta pesquisa surgiu da necessidade de compreender a resposta do ambiente frente às condições impostas, tanto naturais quanto externas, e de gerar discussão e buscar alternativas para o planejamento urbano e minimização de impactos.

Os resultados gerados por este trabalho se mostraram satisfatórios e úteis à aplicação real, visto que indicaram quais os períodos do ano são esperadas as maiores perdas de solo por erosão e em quais anos, futuramente, são prováveis potenciais eventos erosivos na área urbana de Rondon do Pará.

A avaliação da erosão no tempo foi possível através da análise, especialmente, da precipitação na área de estudo, embora outros fatores também influenciem no desencadeamento de erosões, tendo em vista que o comportamento pluviométrico é um dos fatores ativos mais influentes nestes eventos.

A análise das características da pluviometria da região, apresentada no capítulo 2, mostrou que a intensidade, distribuição e duração da precipitação são feições que podem determinar a ocorrência de processos erosivos. Foi observado que os eventos de erosão apresentaram uma distribuição anual semelhante ao regime pluviométrico anual, indicando o grande efeito desta sobre os processos erosivos. Os resultados também revelaram que a precipitação pode se comportar de duas formas no desencadeamento de erosões, ocorrendo no dia do evento e ocorrendo nos 5 dias anteriores ao evento, sendo esta última forma a mais comum, se repetindo em 9 dos 11 casos avaliados.

No capítulo 3 analisou-se a erosividade da chuva atual e futura na área de estudo, a qual demonstrou um valor de  $16.390 \text{ MJ mm ha}^{-1}\text{h}^{-1}\text{ano}^{-1}$  para os anos 1999-2015 e um valor de  $13.038 \text{ MJ mm ha}^{-1}\text{h}^{-1}\text{ano}^{-1}$  para os anos de 2016-2035, ambos classificando a região como de muito alta erosividade. Foi observado que entre os meses de fevereiro a abril e janeiro a abril, são prováveis as maiores perdas de solo para 1999-2015 e 2016-2035, respectivamente, e que o índice de erosividade está altamente correlacionado com a precipitação local, apresentando alto valor de correlação na análise de regressão.

Esta pesquisa buscou trazer uma abordagem interdisciplinar acerca da ocorrência de eventos erosivos, gerando grandes contribuições sobre as aplicações das metodologias para a região amazônica, onde ainda se percebe a carência de trabalhos que envolvam vários aspectos do ambiente e da sociedade.

Neste trabalho envolveram-se principalmente os aspectos climáticos para a discussão do desencadeamento de processos erosivos na área de estudo, quando tratou do potencial de ocorrência desses eventos. Além disso, esta análise integrada dos fenômenos naturais está diretamente associada ao comportamento social, visto que os efeitos da mudança da terra, das mudanças climáticas e a ocorrência de desastres naturais podem influenciar na distribuição da sociedade e nas relações sociais.

#### **4.1 Recomendações**

Como forma de minimizar os efeitos das erosões na área urbana de Rondon do Pará, sugerem-se alternativas especialmente relacionadas à estabilização do terreno, aos sistemas de drenagem pluvial e ao cuidado com as famílias afetadas.

Dentre as alternativas, associadas à macro drenagem, pode-se ter sistematização das erosões em canais abertos, ou seja, a canalização das diversas chegadas das micro drenagens nas laterais ou no início do canal. Quanto à micro drenagem, em localidades sujeitas à inundação, sugere-se a projeção de um sistema de galerias subterrâneas mais eficiente, adequado à declividade do terreno e ao sentido do escoamento.

É de extrema importância a remoção das famílias das áreas de risco, especialmente aquelas afetadas pelas erosões de alto e muito alto risco indicadas pelo CPRM (2015) e aquelas ocupantes das 100 unidades habitacionais localizadas em áreas ambientalmente frágeis, de acordo com o Plano Diretor do Município (Plano Diretor, 2013). Ainda, deve-se dar atenção à fiscalização e monitoramento dessas áreas, minimizando novas ocorrências erosivas e evitando que outras famílias se instalem.

Além disto, seria bastante útil a instalação de pluviômetros nas áreas de risco, a fim de que se permita a estimativa do volume de água precipitado no local, o que possibilitaria alertar a população e o poder público acerca da erosividade da área.

Sugerimos replicar o modelo de suscetibilidade erosiva com base na elaboração de novos levantamentos topográficos, geológicos, pedológicos e geomorfológicos em

escala de maior detalhe na área urbana da cidade de Rondon do Pará. Desta forma permitirá gerar um resultado mais adequada para o mapa de suscetibilidade erosiva.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA PARÁ. **Defesa Civil do Estado conclui em Rondon do Pará Ciclo de Capacitações**. Redação da Agência Pará de Notícias, 2015. Disponível em: [http://www.agenciapara.com.br/noticia.asp?id\\_ver=113581](http://www.agenciapara.com.br/noticia.asp?id_ver=113581). Acesso em: 09 dez. 2015.

ALVES, R. R. **Monitoramento dos processos erosivos e da dinâmica hidrológica e de sedimento de uma voçoroca: estudo de caso na Fazenda do Glória na zona rural de Uberlândia – MG** [dissertação]. Uberlândia (MG): Universidade Federal de Uberlândia; 2007. 104 p.

AMBRIZZI, T., ROCHA, R. P.; MARENCO, J. A.; et al. **Cenários regionalizados de clima no Brasil para o Século XXI: Projeções de clima usando três modelos regionais**. Relatório 3, Ministério do Meio Ambiente - MMA, Brasília, 2007. 108 p.

ANA – Agência Nacional de Águas. **Plano Estratégico de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica dos Rios Tocantins e Araguaia**. Relatório Síntese. Brasília: ANA, 2009. Disponível em: [http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2009/PlanoEstrategicoRH\\_Tocantins.pdf](http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2009/PlanoEstrategicoRH_Tocantins.pdf). Acesso em: 26 de out de 2016.

ANA – Agência Nacional de Águas. **Trecho Drenagem, 2013**. Disponível em: <http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home>. Acesso em: 23 de jan de 2017.

ARAÚJO, A. N.; GUETTER, A. K. Validação da chuva estimada por satélite CMORPH na modelagem hidrológica do Alto Iguaçu. **RBRH — Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Volume 12 n.3 Jul/Set 2007, 189-198.

ARGENTO, M. S. F. Mapeamento Geomorfológico. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 365-391 p. 4. ed Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. 472p.

BASTIAANSEN, W. G. M.; HARSHADEEP, N. R. Managing scarce water resources in Asia: The nature of the problem and can remote sensing help? **Irrigation and Drainage Systems**, New York, v.19, p. 269–284, 2005.

BAÚ, A. L.; DE AZEVEDO, C. A. V.; BRESOLIN, A. D. Modelagem da precipitação pluvial diária intra-anual da Bacia Hidrográfica Paraná III associada aos eventos ENOS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.17, n.8, p.883–891, 2013.

BAZZANO, M. G. P.; ELTZ, F. L. F.; CASSOL, E. A. Erosividade e características hidrológicas das chuvas de Rio Grande (RS). **R. Bras Ci Solo**. v. 34, p. 235-244, 2010.

BENSON, C.; CLAY, E. **Understanding the economic and financial impacts of natural disasters**. Washington: DisasterRisk Management Series, 2004. v. 4, 134 p.

BERTONI, J., LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. Ícone Editora, São Paulo, Brasil, 355 p., 1990.

BINDA, A. L. Geomorfologia Urbano-Ambiental. **Revista Geografia e Pesquisa** - v.2 - n.1, (57-67) jan-jun 2008.

BONNA, J. L. **Mapeamento Pedológico e de Suscetibilidade Erosiva no Alto Córrego Prata (Ouro Preto-MG)** [dissertação]. Belo Horizonte (MG): Universidade Federal de Minas Gerais; 2011. 119 p.

BRAGA, L.T.P. **O uso do solo como intensificador dos processos de voçorocamento em Cachoeira do Campo – MG**. Monografia. Instituto de Geociências (IGC). Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Belo Horizonte, MG. 2007. 45p.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Instrução Normativa N°01, de 24 de agosto de 2012**. Estabelece procedimentos e critérios para a decretação de situação de emergência ou estado de calamidade pública pelos municípios, estados e pelo Distrito Federal e para reconhecimento federal das situações de anormalidades decretadas pelos entes federativos e dá outras providências.

BROWN, L. R. The global loss of topsoil. **J. Soil Water Conserv.** v.39, p. 162-165, 1984.

CABANÊZ, P.A.; FERRARI, J. L.; DE PAULA, M. F. Precipitação efetiva: uma retrospectiva para os estudos em Agroecologia. **Revista Verde**, v. 6, n. 5, p. 15-24, 2011.

CARVALHO, D. F.; CRUZ, E. S.; PINTO, M. F.; SILVA, L. D. B.; GUERRA, J. G. M. Características da chuva e perdas por erosão sob diferentes práticas de manejo do solo. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**. v. 13, n. 1, p. 3-9, 2009.

CARVALHO, J. C. de, et al. **Processos Erosivos no Centro-Oeste Brasileiro**. Brasília: Universidade de Brasília: FINATEC. 464 p. 2006.

CARVALHO, J. C.; SALES, M. M.; SOUSA, N. M.; MELO, M. T. S. **Processos Erosivos no Centro-Oeste Brasileiro**. Brasília: Universidade de Brasília: FINATEC; 2006. 464 p.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia Prática**. Rio de Janeiro: CPRM – Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais; 1994.

CASSOL, E. A.; ELTZ, F. L. F.; MARTINS, D.; LEMOS, A. M.; LIMA, V. S.; BUENO, A. C. Erosividade, padrões hidrológicos, período de retorno e probabilidade de ocorrência das chuvas em São Borja, RS. **R. Bras. Ci. Solo**. v. 32, p. 1239-1251, 2008.

CASTRO, J. M. G.; SOBREIRA, F. G.; GOMES, R. C.; GOMES, G. J. C. Proposição de procedimento preventivo de riscos geológicos em Ouro Preto – BR com base em histórico de ocorrências e sua correlação com a pluviosidade. **R. Bras. Geociências**. 2012; 42 (1): 58-66.

CEPED – Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres - b. Universidade Federal de Santa Catarina. **Atlas brasileiro de desastres naturais: 1991-2012. Volume Brasil**. 2 ed. ver. ampl. Florianópolis: CEPED UFSC, 126 p., 2013a.

CEPED – Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres - a. Universidade Federal de Santa Catarina. **Atlas brasileiro de desastres naturais: 1991-2012. Volume Pará**. 2 ed. ver. ampl. Florianópolis: CEPED UFSC, 114 p., 2013b.

CHEN, M.; SHI, W.; XIE, P.; co-authors. Assessing objective techniques for gauge-based analyses of global daily precipitation. **Journal of Geophysical Research**, v. 113, p. D04110, 2008.

COLLINS, W. J.; BELLOUIN, N.; DOUTRIAUX-BOUCHER, M.; co-authors. Development and evaluation of an Earthsystem model-HadGEM2. **Geosci Model Dev Discuss**, v 4(2), p. 997–1062, 2011.

COLODRO, G.; CARVALHO, M. P.; ROQUE, C. G.; PRADO, R. M. Erosividade da Chuva: Distribuição e correlação com a precipitação pluviométrica de Teodoro Sampaio (SP). **R. Bras. Ci. Solo**. v. 26, p. 809-818, 2002.

CORRÊA, C. M. C.; DEDECEK, R. A.; ROLOFF, G. Sedimentos provenientes de estradas de uso florestal em condição de relevo ondulado a fortemente ondulado. **R. Floresta**. 2010; 40 (1): 221-234.

CPRM - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Ação emergencial para delimitação de áreas em alto e muito alto risco a enchentes e movimentos de massa – Rondon do Pará, Pará**. Belém: CPRM; 2015.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Ação Emergencial para Delimitação de Áreas em Alto e Muito Alto Risco a Enchentes e Movimentos de Massa – Rondon do Pará, Pará**. Pará: 2015. 36 p.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Geodiversidade do estado do Pará**. Org.: Xafi da Silva Jorge João, Sheila Gatinho Teixeira, Dianne D. Farias Fonseca. Belém: CPRM, 2013. 256p.

DELMONACO, G.; IPPOLITO, F.; MARGOTTINI, C. The CEC Project. Meteorological Factors influencing slope stability and slope movement type: evaluation of hazard prone areas. *In: Hydrological and Hydrogeological Risks: Proceedings of the First Review Meeting*, 1., 1995. *Anais*, p. 259-283.

DIAS, A. S.; SILVA, J. R. C. A Erosividade das chuvas em Fortaleza (CE). I – distribuição, probabilidade de ocorrência e período de retorno – primeira aproximação. **R. Bras. Ci. Solo**. v. 27, p. 335-345, 2003.

ELLISON, W.D. (1947) **Soil erosion studies part Agricultural Engineering**, v. 28, n.4, p.145-146.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Zoneamento Agroecológico do Município de Rondon do Pará – Estado do Pará..** Ed. 1. Belém, Pará, 2003. 39p. (EMBRAPA-SNLCS , Documentos, 173).

FALCK, A. S.; VILA, D.; TOMASELLA, J.; MAGGIONI, V.; DINIZ, F. L. R. Avaliação de um Modelo Estocástico de Erro Multidimensional aplicado a estimativas de precipitação por satélite. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 1, 52-63, 2016.

FERRARO, R. R.; WENG, F.; GRODY, N.C.; ZHAO, L. Precipitation characteristics over land from the NOAA-15 AMSU sensor. **Geophysical Research Letters**, 27, p. 2000.

FERRARO, R.R. Special sensor microwave imager derived global rainfall estimates for climatological applications. **Journal of Geophysical Research**, 102, p. 16715-16735, 1997.

FISHER, B. L. Climatological validation of TRMM TMI and PR monthly rain products over Oklahoma. **Journal of Applied Meteorology**, v. 43, n. 3, p. 519—535, 2004.

FONSECA, D.; SZLAFSZTEIN, C. Risco geológico. In: JOÃO, X.; TEXEIRA, S.; FONSECA, D. (Eds.). **Geodiversidade do Estado do Pará**. Belém: CPRM, 2013. p. 119-130.

FOSTER, G. R.; MCCOOL, D. K.; RENARD, K. G.; MOLDENHAUER, W. C. Conversion of the universal soil loss equation to SI units. **J. Soil Water Conserv.** v. 36, p. 355-359, 1981.

G1 PARÁ. **Ação obriga prefeitura de Rondon do Pará a recuperar área de cratera.** Junho, 2016c. Disponível em: <http://g1.globo.com/pa/para/noticia/2016/06/acao-obriga-prefeitura-de-rondon-do-para-recuperar-area-de-cratera.html>. Acesso em: 26 de out de 2016.

G1 PARÁ. **Cratera se expande e assusta moradores de Rondon do Pará.** Abril, 2016b. Disponível em: <http://g1.globo.com/pa/para/noticia/2016/04/cratera-se-expande-e-assusta-moradores-de-rondon-do-para.html>. Acesso em: 26 de out de 2016.

G1 PARÁ. **Em Rondon do Pará, vítimas de erosão pedem ações do poder público.** Janeiro, 2016a. Disponível em: <http://g1.globo.com/pa/para/noticia/2016/01/em-rondon-do-para-vitimas-de-erosao-pedem-acoes-do-poder-publico.html>. Acesso em: 26 de out de 2016.

G1 PARÁ. **Ocorrências de erosão em Rondon do Pará passam por avaliação.** Janeiro, 2015. Disponível em: <http://g1.globo.com/pa/para/noticia/2015/01/ocorrencias-de-erosao-em-rondon-do-para-passam-por-avaliacao.html>. Acesso em: 30/05/2015.



GIORGI, F.; COPPOLA, E.; SOLMON, F.; MARIOTTI, L.; SYLLA, M.; BI, X.; ELGUINDI, N.; DIRO, G.; NAIR, V.; GIULIANI, G.; TURUNCOGLU, U.; COZZINI, S.; GÜTTLER, I.; O'BRIEN, T.; TAWFIK, A.; SHALABY, A.; ZAKAY, A.; STEINER, A.; STORDAL, F.; SLOAN, L.; BRANKOVIĆ, C. RegCM4: model description and preliminary tests over multiple CORDEX domains. **Climate Research**, v. 52, p. 7-29, 2012.

GIORGI, F.; PAL, J. S.; BI, X.; SLOAN, L.; ELGUINDI, N.; SOLMON, F. (2006) Introduction to the TAC special issue: the RegCNET network. *Theor Appl Climatol* 86: 1-4

HICKMANN, C.; ELTZ, F. L. F.; CASSOL, E. A.; COGO, C. M. Erosividade das chuvas em Uruguaiana, RS, determinada pelo Índice EI<sub>30</sub>, com base no período de 1963 a 1991. **R. Bras. Ci. Solo**. v. 32, p. 825-831, 2008.

HUFFMAN, G. J.; ALDER, R.; BOLVIN, D. T.; GU, G.; NELKIN, E. J.; BOWMAN, K. P.; HONG, Y.; STOCKER, E. F.; WOLF, D. B. The TRMM multisatellite precipitation analysis (TMPA): Quasi-global, multiyear, combined-sensor, precipitation estimates at fine scales. **J. Hydrometeorol.**, n. 8, p. 38-55, 2007.

IBGE – EMBRAPA. **Mapa de solos do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2001. Escala 1:5.000.000. Disponível em: [http://www.dpi.inpe.br/Ambdata/mapa\\_solos.php](http://www.dpi.inpe.br/Ambdata/mapa_solos.php). Acesso em: 26 de out de 2016.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico, 2010**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/>. Acesso em: 08 de set. de 2015.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Malhas Municipais – Município 2015**. Disponível em: [downloads.ibge.gov.br/downloads\\_geociencias.htm](http://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm). Acesso em: 23 de jan de 2017.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico de Pedologia**. Diretoria de Geociências: Rio de Janeiro, 2007. 2 ed. n. 4. 316 p. Disponível em: <http://www.agrolink.com.br/downloads/manual%20t%C3%A9cnico%20de%20pedologia.pdf>. Acesso em: 26 de out de 2016.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Estações Automáticas**. 2016. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesautomaticas>. Acesso em: 26 de out de 2016.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas do Brasil 1961 – 1900**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>. Acesso em: 19 de agosto de 2016.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Projeto PRODES – Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite**. 2015. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/prodesdigital.php>. Acesso em: 26 de out de 2016.

JIMÉNEZ, K. Q.; MELO, T. M.; LOUZADA, J. A. Uso de dados de precipitação obtidos por sensoriamento remoto em um modelo agro-hidrológico. *Irriga, Botucatu*, v. 18, n. 3, p. 496-508, julho-setembro, 2013.

JOYCE, R. J.; JANOWIAK, J. E.; ARKIN, P. A.; XIE, P. CMORPH: A method that produces global precipitation estimates from passive microwave and infrared data at high spatial and temporal resolution. *J. Hydrometeorol.*, n. 5, p. 487-503, 2004.

KARMANN, I. O ciclo da água, água subterrânea e sua ação geológica. In: TEIXEIRA, W.; FAIRCHILD, T. R.; TOLEDO, M. C. M.; TAIOLI, F. **Decifrando a Terra**. 2 ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2009. 624 p.

KUMMEROW, C.D.; HONG, Y.; OLSON, W.S.; YANG, S.; ADLER, R.F.; MCCOLLUM, J.; FERRARO, R.; PETTY, G.; SHIN, D.B.; WILHEIT, T.T. Evolution of the Goddard profiling algorithm (GPROF) for rainfall estimation from passive microwave sensors. *Journal of Applied Meteorology.*, 40, p. 1801-1820, 2001.

LIMA, E. R. V. Erosão do solo: fatores condicionantes e modelagem matemática. *Revista Cadernos do Logepa - Série Pesquisa*. v. 1, n. 1. p. 3-43, 2003.

LOMBARDI NETO, F. **Rainfall erosivity – Its distribution and relationship with soil loss at Campinas, Brasil**. 1977. 53f. Dissertação (Mestrado em Agronomy). West Lafayette: Purdue University; 1977.

LOPES, M. N. G.; SOUZA, E. B.; FERREIRA, D. B. S. Climatologia regional da precipitação no estado do Pará. *Revista Brasileira de Climatologia*, n. 9, v. 12, p. 84-102. 2013.

MACHADO, R.D. ; ROCHA, R. P. . Previsões climáticas Sazonais sobre o Brasil: avaliação do RegCM3 aninhado no modelo global CPTEC/COLA. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 26, p. 121-126, 2011.

MAGALHÃES, R. A. Erosão: Definições, Tipos e Formas de Controle. **VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão**, Goiânia (GO), maio de 2001. p. 1 – 11. Disponível em: [http://www.labogef.iesa.ufg.br/links/simposio\\_erosao/articles/T084.pdf](http://www.labogef.iesa.ufg.br/links/simposio_erosao/articles/T084.pdf). Acesso em: 26 de out de 2016.

MAIDMENT, D.R. **Handbook of hydrology**. New York: Ed. McGraw-Hill, 1ª edição, 1993, 1424 p. 2669-2672.

MARÇAL, M.S.; GUERRA, A.J.T. Processo de urbanização e mudanças na paisagem da cidade de Açailândia (Maranhão). In: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. (orgs) **Impactos ambientais urbanos do Brasil**. 4.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006.

MARCELINO, E. V. 2008. **Desastres Naturais e Geotecnologias: Conceitos Básicos**. Caderno Didático nº 1. INPE/CRS, Santa Maria, 2008.

MARQUES, J. J. G. S. M.; ALVARENGA, R. C.; CURI, N.; SANTANA, D. P.; SILVA, M. L. N. Índices de erosividade da chuva, perdas de solo e fator erodibilidade

para dois solos da região dos cerrados – primeira aproximação. **R. Bras. Ci. Solo.** v. 21, p. 427-434, 1997.

MARTORANO, F. P.; ROCHA, E. J. P.; ROLIM, P. A. M.; NACIF, A. M. P. Desastres naturais ocorridos em 2005 no Pará. **Congresso Brasileiro de Meteorologia - CBMET**, 2006.

MELLO, G. de; BUENO, C.R.P.; PEREIRA, G.T. Variabilidade espacial de perdas de solo, do potencial natural e risco de erosão em áreas intensamente cultivadas. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, v.10, p.315-322, 2006.

MMM – Ministério do Meio Ambiente. **Lista de Municípios Prioritários da Amazônia**. 2013. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/florestas/control-e-preven%C3%A7%C3%A3o-do-desmatamento/plano-de-a%C3%A7%C3%A3o-para-amaz%C3%B4nia-ppcdam/lista-de-munic%C3%AAdpios-priorit%C3%A1rios-da-amaz%C3%B4nia>. Acesso em: 26 de out de 2016.

MORAIS, L. F. B.; SILVA, V.; NASCHENVENG, T. M. C.; HARDOIN, P. C.; ALMEIDA, J. E. L.; WEBER, O. L. S.; BOEL, E.; DURIGON, V. Índice EI30 e sua relação com o coeficiente de chuva do sudoeste de Mato Grosso. **R. Bras.Ci. Solo.** v. 15, p. 339-344, 1991.

MORGAN, R. P. C. (2005) **Soil Erosion and Conservation**, 3ª ed.. Blackwell, Oxford, UK.

NINA, A. S.; SZLAFSZTEIN, C. F. Efeitos de desastres naturais ao desempenho orçamentário do estado do Pará. **Novos Cadernos NAEA**. v. 17, n. 2, p. 265-285, dez. 2014.

OLIVEIRA JR, R. C. **Índice de erosividade das chuvas na região de Conceição do Araguaia, Pará**. Belém: EMBRAPA-CPATU; 1996. Boletim de Pesquisa N° 165.

OLIVEIRA JR, R.; MEDINA, B. F. A erosividade das chuvas em Manaus (AM). **R. Bras. Ci. Solo.** v. 14, p. 235-239, 1990.

OLIVEIRA, J. H. M.; CHAVES, J. M. Mapeamento e Caracterização Geomorfológica: Ecorregião Raso da Catarina e Entorno NE da Bahia. **Mercator**, v. 9, n. 20, p. 217-238, 2010.

OMM - Organização Meteorológica Mundial. **Calculation of monthly and annual 30-year standard normals**. Geneva, 1989. (WMO. Technical document, n. 341; WCDP, n.10).

PARÁ. Coordenadoria Estadual de Defesa Civil. Banco de dados e registros de desastre: **Sistema Integrado de Informações sobre Desastres - S2ID**; 2015. Disponível em: [s2id.mi.gov.br](http://s2id.mi.gov.br). Acesso em: 09 de set. de 2015.

PBMC - Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. **Sumário Executivo** – Base Científica das Mudanças Climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 ao Primeiro

Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. PBMC, Rio de Janeiro, v. 1, 2013. 24 p.

PEREIRA, G.; SILVA, M. E. S.; MORAES, E. C.; CARDOZO, F. S. Avaliação dos dados de precipitação estimados pelo Satélite TRMM para o Brasil. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Volume 18 n.3 –Jul/Set 2013,139-148.

PEREIRA, H. H. G. **Índices de erosividade da chuva: distribuição e relação com a precipitação em Piracicaba – SP**. 1983. 70f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz; 1983.

PINESE JUNIOR, José Fernando; CRUZ, Lísia Moreira; RODRIGUES, Sílvio Carlos. Monitoramento de erosão laminar em diferentes usos da terra, Uberlândia -MG. **Sociedade & Natureza** (Online), Uberlândia, v. 20, n. 2, p. 157-175, 2008.

PRIETO, C. C. **Investigação sobre implantação de loteamentos e a ocorrência de processos erosivos: voçoroca situada no Jardim Santa Edwirges em Ponta Grossa – PR** [dissertação]. Ponta Grossa (PR): Universidade Estadual de Ponta Grossa; 2010. 96 p.

PRUSKI, F. F. Fatores que Interferem na Erosão Hídrica do Solo. In: PRUSKI, F. F. (edit.). **Conservação de solo e água: Práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. Ed. 2. Viçosa: Ed. UFV, p. 40-73. 2009.

PRUSKI, F. F. Prejuízos decorrentes da erosão hídrica e tolerância de perdas de solo. In: PRUSKI, Fernando Falco. **Conservação do solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. Viçosa: UFV, 2006.

ROCHA, RP ; CUADRA, SV ; REBOITA, MS ; KRUGER, LF ; AMBRIZZI, T ; KRUSCHE, N. Effects of RegCM3 parameterizations on simulated rainy season over South America. **Climate Research**, v. 52, p. 253-265, 2012.

RONDON DO PARÁ. Prefeitura de Rondon do Pará. **Diagnóstico e Estudos de Conceção**. Projeto Básico e Executivo: Sistemas de Saneamento de Rondon do Pará – Zona Urbana, 2014. 262 p.

RONDON DO PARÁ. Prefeitura de Rondon do Pará. **Lei Complementar N°001/2006, de 10 de outubro de 2006**. Dispõe sobre o Plano Diretor Municipal Participativo de Rondon do Pará, nos termos do artigo 182 da Constituição Federal, do capítulo III da Lei nº. 10.257/01 - Estatuto da Cidade, e do art. 154, *caput*, §§ 1º e 4º da Lei Orgânica Municipal e dá outras providências.

ROQUE, C. G.; CARVALHO, M. P.; PRADO, R. M. Fator erosividade da chuva de Piraju (SP): distribuição, probabilidade de ocorrência, período de retorno e correlação com o coeficiente de chuva. **R. Bras. Ci. Solo**. v. 25, p. 147-156, 2001.

ROSA, A. G.; SOUSA, A. M. L.; COSTA, J. A.; SOUZA, E. B. Erosividade da Chuva em Rondon do Pará, PA, Brasil de 1999 a 2015 e projetada para 2035. **Rev. Ambient. Água**. vol. 11, n. 4. 2016.

ROSS, Jurandir Luciano Sanches. **Ecogeografia do Brasil**: Subsídios para planejamento ambiental. 1ª ed. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2006.

RUFINO, R.; BISCAIA, R. C. M.; MERTEN, G. Avaliação do potencial erosivo da chuva do Estado do Paraná, através de pluviometria. Terceira Aproximação. **R. Bras. Ci. Solo**. v. 17, p. 439-444, 1993.

SALES, D. C.; COSTA, A. A.; DA SILVA, E. M.; VASCONCELOS JÚNIOR, F. C.; CAVALCANTE, A. M. B.; MEDEIROS, S. S.; MARIN, A. M. P.; GUIMARÃES, S. O.; ARAÚJO JÚNIOR, L. M.; PEREIRA, J. M. R. Projeções de mudanças na precipitação e temperatura no nordeste brasileiro utilizando a técnica de downscaling dinâmico. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 4, 435 - 456, 2015. doi: 10.1590/0102-778620140075.

SALOMÃO, Fernando Ximenes de Tavares. Controle e Prevenção dos Processos Erosivos. In: GUERRA, Antônio José Teixeira; SILVA, Antônio Soares da; BOTELHO, Rosângela Garrido Machado (Org.). **Erosão e Conservação de Solos – Conceitos, Temas e Aplicações**. Bertrand Brasil. Rio de Janeiro, 2012. P. 229-267.

SANTOS, C. A.; SOBREIRA, F. G.; COELHO NETO, A. L. Comportamento hidrológico superficial e erodibilidade dos solos da região de Santo Antônio do Leite, Distrito de Ouro Preto – MG. **R. Esc. Minas**. 2002; 55 (4): 285-290.

SANTOS, G. G.; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L. F. C. Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.14, n.2, p.115–123, 2010.

SCHWAB, G. O.; FANGMEIER, D. D.; ELLIOT, W. J.; FREVERT, R. K. **Soil and water conservation engineering**. 3º ed. New York: John Wiley & Sons, 1981.

SILVA, A. M. Rainfall erosivity map for Brazil. **Catena**. v. 57, p. 251-259, 2004.

SILVA, M. A. S.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; SANTOS, G. R.; MARQUES, J. J. G. S. M.; MENEZES, M. D.; LEITE, F. P. Avaliação e espacialização da erosividade da chuva no Vale do Rio Doce, Região Centro-Leste do Estado de Minas Gerais. **R. Bras. Ci. Solo**. v. 34, p. 1029-1039, 2010.

SILVA, M. L. N.; FREITAS, P. L.; BLANCANEUX, P.; CURI, N. Índice de erosividade de chuva da região de Goiânia (GO). **Pesq. Agropec. Bras.** v. 32, n. 10, p. 977-985, 1997.

SILVA, V. B. S., KOUSKY, V. E., SHI, W., HIGGINS, R. W. An improved gridded historical daily precipitation analysis for Brazil. *Journal of Hydrometeorology*, v. 8, p. 847-861, 2007.

SILVA, V. C. B.; MACHADO, P. de S. SIG na Análise Ambiental: Suscetibilidade Erosiva da Bacia Hidrográfica do Córrego Mutuca, Nova Lima – Minas Gerais. **Revista de Geografia (UFPE)** V. 31, No. 2, 2014.

SIMÕES, P. M. L.; OLIVEIRA, C. V. **Avaliação da Suscetibilidade à Erosão e aos Movimentos de Massa no Município de Ibitaré**. Geomonos, v. 22, n. 1, p. 22-30, 2014.

SODRÉ, G. R. C.; RODRIGUES, L. L. M. Comparação entre a estimativa da precipitação observada pela técnica CMORPH e estações meteorológicas do INMET em diferentes regiões do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**. V. 06 N. 02 (2013) 301 - 307.

SOUZA, E. B.; CARMO, A. M. C.; MORAES, B. C.; NACIF, A.; FERREIRA, D. B. S.; ROCHA, E. J. P.; SAOUZA, P. J. O. P. Sazonalidade da Precipitação sobre a Amazônia Legal Brasileira: clima atual e projeções futuras usando o modelo RegCM4. **Revista Brasileira de Climatologia**. v. 18, p. 293-306. 2016.

SOUZA, E. B.; LOPES, M. N. G.; ROCHA, E. J. P.; SOUZA, J. R. S.; CUNHA, A. C.; SILVA, R. R.; FERREIRA, D. B. S., SANTOS, D. M.; CARMO, A. M. C.; SOUSA, J. R. A.; GUIMARÃES, P. L.; MOTA, M. A. S.; MAKINO, M.; SENNA, R. C.; SOUSA, A. M. L.; MOTA, G.; KUHN, SOUZA, P. F. S.; VITORINO, M. I. Precipitação climatológica sobre a Amazônia oriental durante o período chuvoso: observações e simulações regionais com o RegCM3. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 24(2), p. 111-124, 2009.

TATIZANA, C.; OGURA, A. T.; CERRI, L. E. S.; ROCHA, M. C. M. Análise de Correlação entre Chuvas e Escorregamentos - Serra do Mar, Município de Cubatão. *In: ABGE, Congresso Brasileiro de Geologia e Engenharia*, 5., 1987. São Paulo. *Anais...* São Paulo: ABGE, 1986 p. 225-236.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, 1955. 104p. (Publications in Climatology, vol. VIII, n.1).

TOLEDO, J. S.; DE MARIA; I. C.; DECHEN, S. C. F. Impacto de chuvas intensas na erosão hídrica em solo com tratamento de lodo de esgoto. **6º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica - CIIC 2012**. 2012.

TOMINAGA, K. L. Desastres Naturais: Por que ocorrem? *In: TOMINAGA, K. L.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (Org.). Desastres Naturais: conhecer para prevenir*. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. 1 ed. 196 p.

UN-ISDR - International Strategy for Disaster Reduction. 2009. **Terminology on Disaster Risk Reduction**. Disponível em <http://www.unisdr.org>.

VAN VUUREN, D. P.; Edmonds, J.; Kainuma, M.; et al. The representative concentration pathways: an overview. **Climatic Change**, v. 109, p. 5-31, 2001.

VILLAR, E. J. C.; RONCHAIL, J., GUYOT, J. L.; co-authors. Spatio-temporal rainfall variability in the Amazon basin countries (Brazil, Peru, Bolivia, Colombia, and Ecuador). **International Journal of Climatology**, v. 29, p. 1574–1594, 2009.

VOTORANTIM. **Estudo de Impacto Ambiental – EIA do Projeto Alumina Rondon.** 2011.

WANG, Y., LEUNG, L. R., MCGREGOR, J. L., LEE, D.-K., WANG, W.-C., DING, Y., KIMURA, F. Regional climate modeling: progress, challenges, and prospects. **Journal of the Meteorological Society of Japan.** v. 82, n. 6, p. 1599- 1628. 2004.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning.** Washington: USDA – Agricultural Research; 1978. Agricultural Handbook, 537.

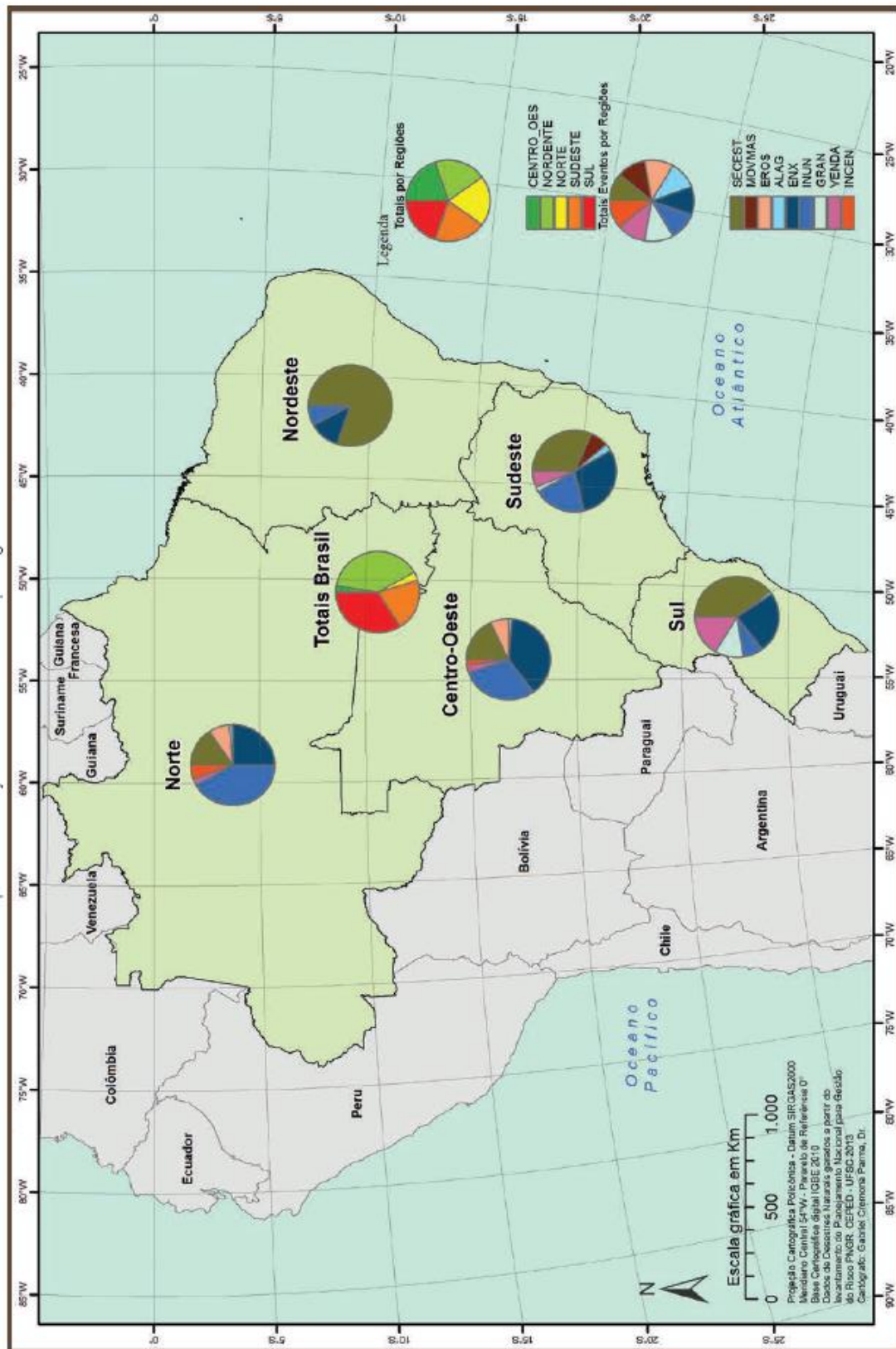
WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Rainfall energy and its relationship to soil loss. **Trans. Am. Geophys. Union.** v. 39, p. 285-291, 1958.

ZACAR, D. **Soil erosion.** Development in Soil Science, 10. Amsterdam: Elsevier Scientific; 1982.

**ANEXOS**

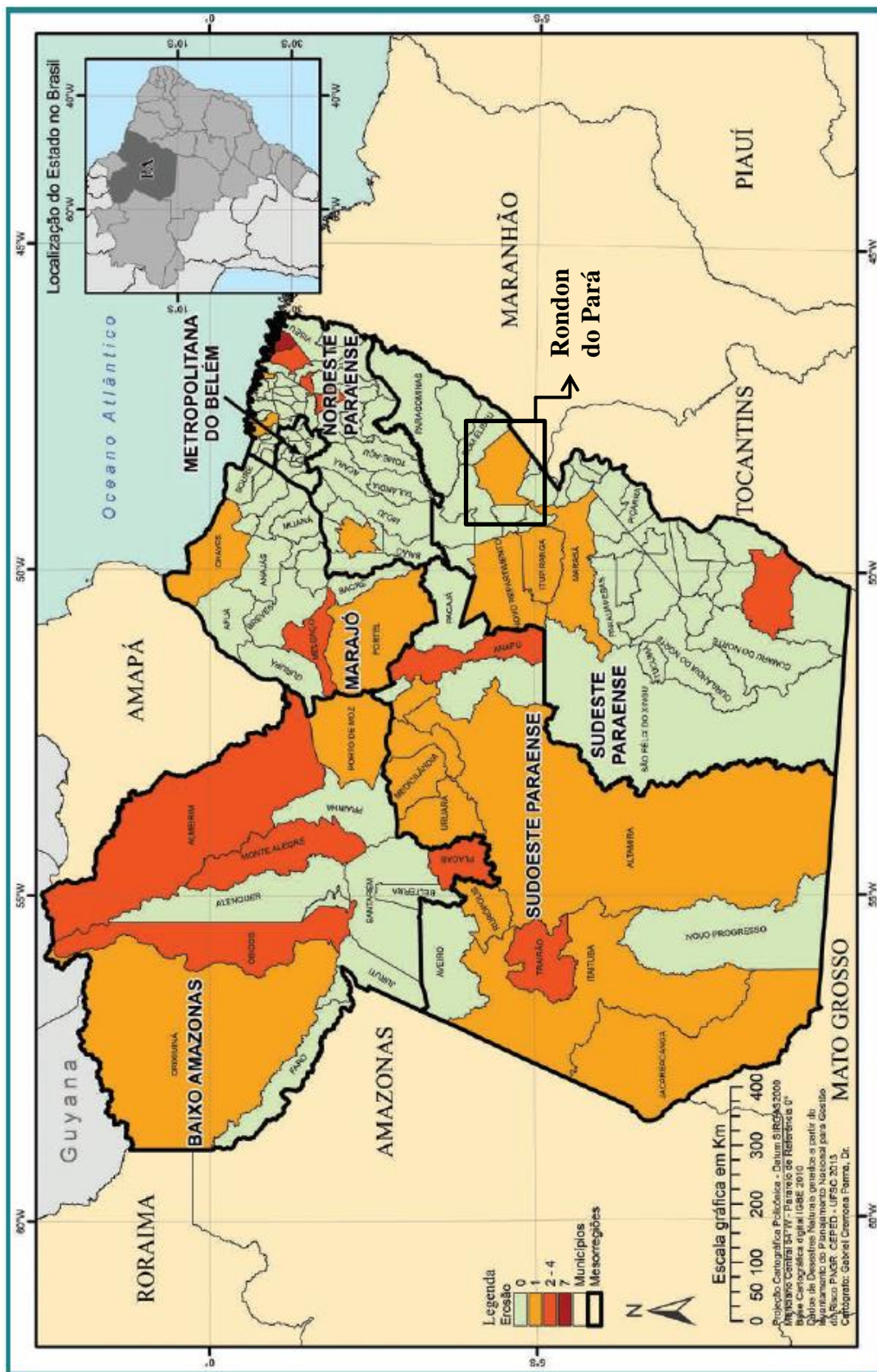


**ANEXO A - DISTRIBUIÇÃO DOS DESASTRES NATURAIS POR REGIÃO BRASILEIRA. FONTE: CEPED (2013).**





**ANEXO C - REGISTRO DE EROSÕES NO PARÁ DE 1991-2012. FONTE:  
ADAPTADO DE CEPED (2013).**



**ANEXO D - PRANCHA DESCRITIVA DE EROÇÃO – RUA BAHIA. FONTE: CPRM, 2015.**

**GOVERNO FEDERAL**  
**BRASIL**  
PATRIA EDUCADORA

**AÇÃO EMERGENCIAL PARA RECONHECIMENTO DE ÁREAS DE ALTO E MUITO ALTO RISCO A MOVIMENTOS DE MASSAS E ENCHENTES**

**Rondon do Pará - Pará**  
Abril 2015

PA, RP, SR, 01, CPRM  
Localização: Bairro Novo Brasil  
Ponto Georreferenciado: UTM 22 M 825118 E 9471949 S

**CPRM**  
Serviço Geológico do Brasil

**BOLETE TÉCNICA**  
Diamante Fonseca (SUREG-BE)  
Loury Soares (SUREG-BE)  
Patricia Simões (SUREG-BE)  
Geólogos e Geógrafos - Pesquisadoras em Geociências



**1**  
Visão das encostas íngremes da ravina.



**2**  
Moradia destruída na borda da ravina.



**3**  
Fissura numa encosta na borda da ravina.



**4**  
Abandono na rua Bahia próxima a ravina.



**5**  
Descarte de água pluvial e esgoto sanitário na ravina.



**ANÁLISE DO PROCESSO erosivo**  
Descrição: Área com múltiplos afloramentos de tipo ravina.

Sector localizado no centro urbano de Rondon do Pará, caracterizado por ravina em contínuo processo de erosão lateral e remanejar. A área em estudo está posicionada na borda de baixo platô, o que torna a região naturalmente instável. Segundo levantamentos da prefeitura esta é uma área de despejo de águas pluviais e esgoto sanitário através de uma galeria na qual seu deságue ocorre diretamente no solo sem nenhum tipo de dissipador de energia. Esta galeria foi, em parte, destruída pela erosão remanejar e contínua despejando água na ravina, o que está acelerando o processo erosivo e aumentando sua dimensão, que atualmente é de 14 metros de altura e 25 metros de largura. Através dos estudos no local do desfilde foi possível identificar solos arenosos e argilosos altamente frágeis e de baixa resistência. Na parede da ravina é possível observar fissuras subverticais o que resultam no desmanejamento contínuo do solo e risco inerente de novas deslizamentos e avaliação da ravina em direção as margens. O processo de ravinamento provocou o deslocamento da interseção das ruas Bahia e Pioneiras, o que ocasionou degraus de abatimento nas ruas e deslocamento de parte de uma moradia.

**Tipologia do Processo:** Erosão do tipo ravina.  
**Quantidade de imóveis em risco:** Aprox. 20  
**Quantidade de pessoas em risco:** Aprox. 100  
**Sugestões de intervenções**

- Remoção das famílias, localizadas no polígono vermelho;
- Realizar obras de contenção para evitar o avanço da erosão;
- Proibição e fiscalização para não ocupar a área;
- Reforço da borda da ravina;
- Instalação de rede de drenagem das águas pluviais e servidas adequadas ao longo da encosta e dissipadores de energia;
- Implantação de Sistemas de Esgotamento sanitário;
- Monitoramento e atualização da área de risco através da Defesa Civil Municipal e em caso de chuvas intensas, alerta e atenção máxima para deslocamentos e eventuais remoções de emergência;
- Instalação de pluviômetros para monitoramento e alerta em alguns pontos estratégicos do município;
- Campanhas educativas para evitar ocupação e deslizamentos em áreas de risco geológico.

**Legenda**

- Delimitação do setor risco
- Ravina
- Sentido do deslizamento
- Sentido do fluxo de drenagem

# ANEXO E - PRANCHA DESCRITIVA DE EROSIÃO – RUA LEANDRO.

FONTE: CPRM, 2015.

**GOVERNO FEDERAL**  
**BRASIL**  
PÁTRIA EDUCADORA

**AÇÃO EMERGENCIAL PARA RECONHECIMENTO DE ÁREAS DE ALTO E MUITO ALTO RISCO A MOVIMENTOS DE MASSAS E ENCHENTES**

**Rodon do Pará - Pará**  
Abril 2015

PA. RP. SR. 02. CPRM  
Localização: Bairro Centro  
Ponto Geométrico: UTM 22 M 824643 E 9471916 S

**CPRM**  
Serviço Geológico do Brasil

**EQUIPÉTICA**  
Dieme Ferreira (Geóloga)  
Luis Carlos (Geólogo)  
Patrícia Simões (Geóloga)

Geologia e Geografia - Especialistas em Geociências


**ANÁLISE DO PROCESSO EROSIVO**  
Descrição: Área com muito alto risco a erosão do tipo ravinha.


Seitor localizado no bairro do Centro, no perímetro urbano de Rodon do Pará, caracterizado por uma ravinha situada na borda de um baixo platô, sendo na verdade suscetível a erosão. Parte dessa ravinha está em processo de erosão lateral remanente. Esta ravinha recebe o despejo de água pluvial e esgoto sanitário, o que está causando o progressivo aumento de sua profundidade, que é de aproximadamente 25 metros. Através da análise do local, observou-se que o solo é arenoso-argiloso, frível, com alta suscetibilidade ao processo erosivo. Tal processo provocou a destruição de parte da Rua Leandro e deslocando o muro de uma moradia localizada na borda da ravinha. Foi possível observar fissuras abertas na base de uma moradia na borda da feição erosiva. Um antigo muro de contenção de madeira foi totalmente destruído pela erosão.

**Tipologia do Processo:** Erosão do tipo ravinha  
**Quantidade de imóveis em risco:** Aprox. 25  
**Quantidade de pessoas em risco:** Aprox. 100


**Sugestões de intervenções**

- Remoção das famílias;
- Obras de contenções adequadas;
- Proibição e fiscalização para não ocupação na área;
- Remoção do lixo da ravinha e fiscalização para que não volte a ser despejado;
- Instalação de rede de drenagem das águas pluviais e sanidade adequadas ao longo da encosta;
- Remoção de bananais nas áreas de encostas íngremes;
- Restauramento da borda da ravinha;
- Implantação de sistemas de Esgotamento sanitário;
- Em caso de chuvas intensas, alerta e atenção máxima para deslizamentos e eventuais remoções de emergência;
- Instalação de pluviômetros para monitoramento e alerta em alguns pontos estratégicos do município;







**1**  
Área do sismento na Rua Leandro.




**2**  
Fissura em moradia localizada na borda da ravinha.



**3**  
Encosta íngreme na borda da ravinha na Rua Leandro.



**4**  
Vista sobre o deslizamento na borda da ravinha na Rua Leandro.



**5**  
Mossas próximas da borda da ravinha.

**Legenda**

- Delimitação do setor risco
- Sentido do deslizamento
- Sentido do fluxo da drenagem

## ANEXO F - PRANCHA DESCRITIVA DE EROSIÃO – RUA RAUL SILVA (GUSMÃO). FONTE: CPRM, 2015.

**GOVERNO FEDERAL**  
**BRASIL**  
PÁTRIA EDUCADORA

**AÇÃO EMERGENCIAL PARA RECONHECIMENTO DE ÁREAS DE ALTO E MUITO ALTO RISCO A MOVIMENTOS DE MASSAS E ENCHENTES**

**Rondon do Pará - Pará**  
**Abril 2015**

PA\_RP\_SR\_06\_CPRM  
Localização: Bairro Gusmão  
Ponto Geom referenciado: UTM 22 M 823920 E 9471925 S

**CPRM**  
Serviço Geológico do Brasil

Equipe Técnica  
Dianne Fonseca (SUREG-AB)  
Loury Bastos (SUREG-AB)  
Patricia Simões (SUREG-AB)



**Detecção:** Área com muito alto risco a erosão do tipo ravina.

Sector localizado na área urbana de Rondon do Pará, no bairro Gusmão, caracterizado por ravina em contínuo processo de erosão lateral e remanente. A área em estudo está posicionada na borda de baixo platô, o que torna a região naturalmente instável. Freqüente erosão profunda, com talude lateral de aproximadamente 10,00m de altura e declividade de 80°. Solo de textura arenosa, com horizonte píflico, indicando variação do lençol freático nesta porção e ainda baixa permeabilidade do solo. Fissuras subverticais foram observadas na estrutura do solo que podem resultar em deslocamentos, gerando risco de novos deslocamentos no talude lateral próximo à Fábrica, que se encontra a aproximadamente 5,0m de distância da ravina. Despejo de esgoto e águas pluviais é feito diretamente na ravina através de rede de captação de drenagem e ainda encanamentos secundários. O principal canal de drenagem pelo qual a água é direcionada encontra-se totalmente desobstruído e suspenso na infiltração de uma possível quebra e consequente desestabilização das bordas da ravina. Além dessas problemáticas relacionadas anteriormente, essa região é um local de despejo de lixo de diversas naturezas, o que facilita para que a água acumule aumentando assim a probabilidade de disseminação de do encharcamento e processo erosivo.

**Topologia do Processo:** Erosão do tipo ravina.  
**Quantidade de imóveis em risco:** 1 fábrica  
**Sugestões de intervenções**  
Interrupção de funcionamento da fábrica;  
Obras de retificação do terreno e contenções adequadas;  
Proibição e fiscalização para não ocupação na área;  
Remoção do lixo da ravina e de seu entorno, e fiscalização para que não volte a ser despejado;  
Reforçamento da borda da ravina;  
Instalação de rede de drenagem das águas pluviais e servidas adequadas ao longo da encosta e dissipadores de energia;  
Implantação de Sistema de Esgotamento Sanitário;  
Em caso de chuvas intensas, alerta e atenção máxima para o deslocamento e ventos fortes em direção de emergência;  
Instalação de pluviômetros para monitoramento e alerta em alguns pontos estratégicos do município;  
Campanhas educativas para evitar deslizamentos em áreas de risco geológico.



**1**  
Maniflas de concreto e canos de PVC de esgoto.



**2**  
Despejo de água servida dentro da ravina.



**3**  
Fissuras subverticais no talude lateral da ravina.



**4**  
Lixos de diferentes naturezas ao redor da ravina.



**5**  
Sentido do fluxo de drenagem.

**Legenda**

- - - Delimitação do setor risco
- - - Ravina
- Sentido do deslocamento
- Sentido do fluxo de drenagem

# ANEXO G - PRANCHA DESCRITIVA DE EROSIÃO – RUA FRANCISCO NUNES. FONTE: CPRM, 2015.


**GOVERNO FEDERAL**  
**BRASIL**  
PÁTRIA EDUCADORA

**AÇÃO EMERGENCIAL PARA RECONHECIMENTO DE ÁREAS DE ALTO E MUITO ALTO RISCO A MOVIMENTOS DE MASSAS E ENCHENTES**


**Rondon do Pará - Pará**  
Abril 2015  
PA\_RP\_SR\_08\_CPRM  
Localização: Bairro Centro  
Ponto Geométrico: UTM 22 M 824847 E 9472021 S

**CPRM**  
Serviço Geológico do Brasil


**EQUIPE TÉCNICA**  
Diamante Fonseca (SUEG-AE)  
Loury Bastos (SUEG-AE)  
Patricia Simões (SUEG-AE)  
Geólogos e Geógrafos - Pesquisadores em Geociências




**1**  
Moradia de madeira muito descarregada pela ravina.



**2**  
Despejo de águas servidas dentro da ravina.



**3**  
Talude lateral subvertical da ravina da estrada.



**4**  
Região de despejo de lixo de diferentes naturezas.

**Legenda**

- } Delimitação do setor risco
- } Ravina
- Sentido do deslocamento
- Sentido do fluxo de drenagem

**Descrição:** Área com muito alto risco a erosão do tipo ravina.

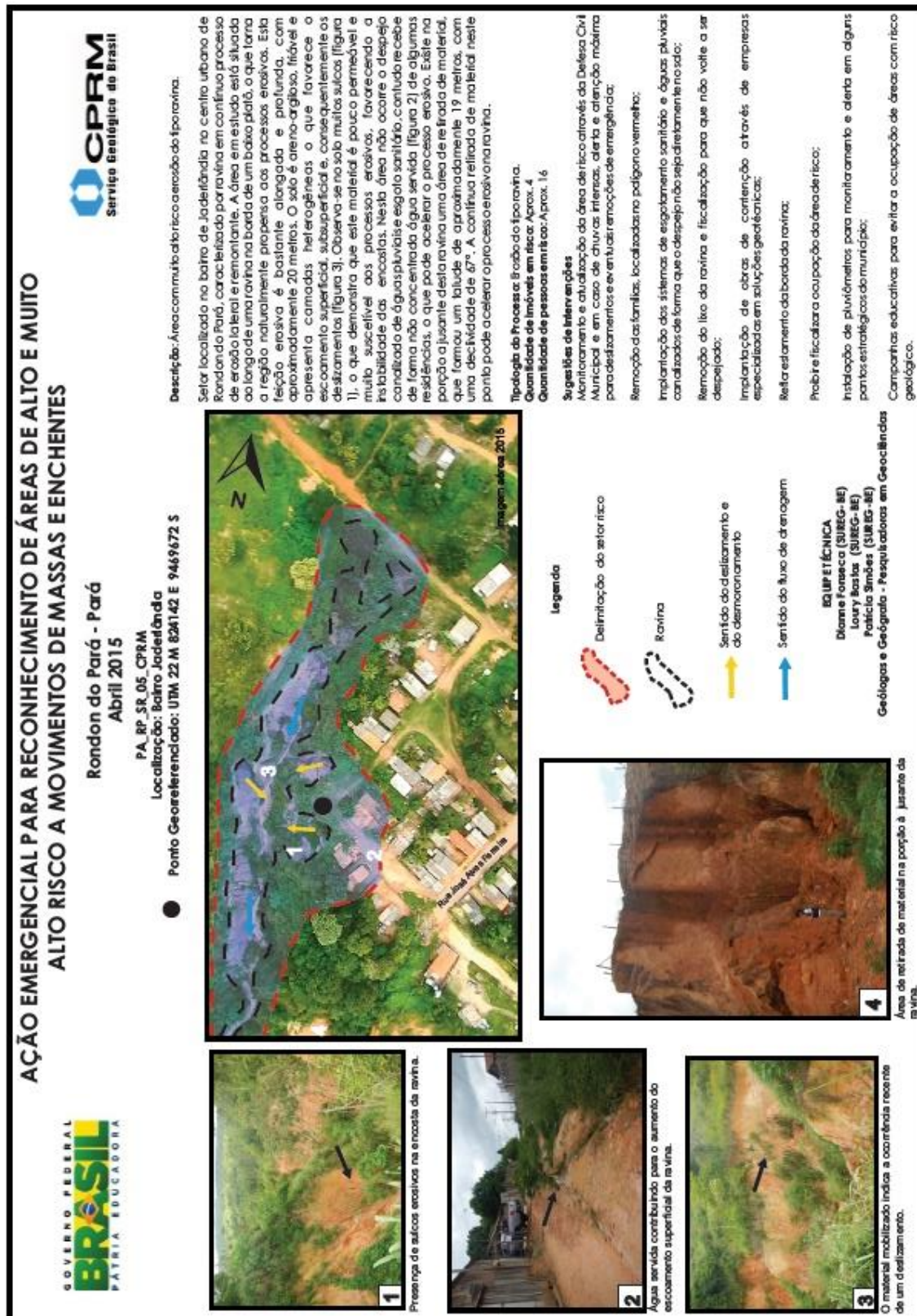
Setor localizado na área urbana de Rondon do Pará, no Bairro Centro, caracterizado por ravina em contínuo processo de erosão lateral remanente. A área em estudo está posicionada na borda de baixo platô, o que torna a região naturalmente instável. Feição erosiva profunda e estreita, com taludes laterais subverticais e solo de textura areno-argilosa. Bordas de ravina parcialmente desmatadas aceleram o processo erosivo. Evolução da erosão lateral da ravina e seu consequente alargamento ocasionou o descolamento de uma moradia e está fazendo com que sua borda se aproxime cada vez mais da Rua Francisco Nunes. Águas servidas são direcionadas para a ravina, por canais em superfície implantados pela própria população. Além dessas problemáticas relacionadas anteriormente, essa região é um local de despejo de lixo de diversas naturezas, o que facilita para que a água acumule aumentando assim a probabilidade de desproteção de drenagens e acelerando o processo erosivo.

**Tipologia do Processo:** Erosão do tipo ravina.  
**Quantidade de imóveis em risco:** 1 moradia  
**Quantidade de pessoas em risco:** aproximadamente 4 pessoas  
**Sugestões de Intervenções**

**Intenção das medidas em risco:**

- Remoção do lixo da ravina e fiscalização para que não volte a ser despejado;
- Obras de retificação e contenções adequadas;
- Proibição e fiscalização para não ocupação na área;
- Reflorestamento da borda da ravina;
- Instalação de rede de drenagem das águas pluviais e servidas adequadas ao longo da encosta e dispositivos de energia;
- Implantação de Sistemas de Esgotamento sanitário;
- Monitoramento e atualização da área de risco através da Defesa Civil Municipal e em caso de chuvas intensas, alertar a população para deslocamentos e eventuais remoções de emergência;
- Instalação de pluviômetros para monitoramento e alerta em alguns pontos estratégicos do município;
- Campanhas educativas para evitar ocupações e despejos em áreas de risco geológico.


## ANEXO H - PRANCHA DESCRITIVA DE EROÇÃO – BAIRRO JADERLÊNDA. FONTE: CPRM, 2015.





# ANEXO I - PRANCHA DESCRITIVA DE EROSIÃO – BAIRRO NOVO


## HORIZONTE 01. FONTE: CPRM, 2015.

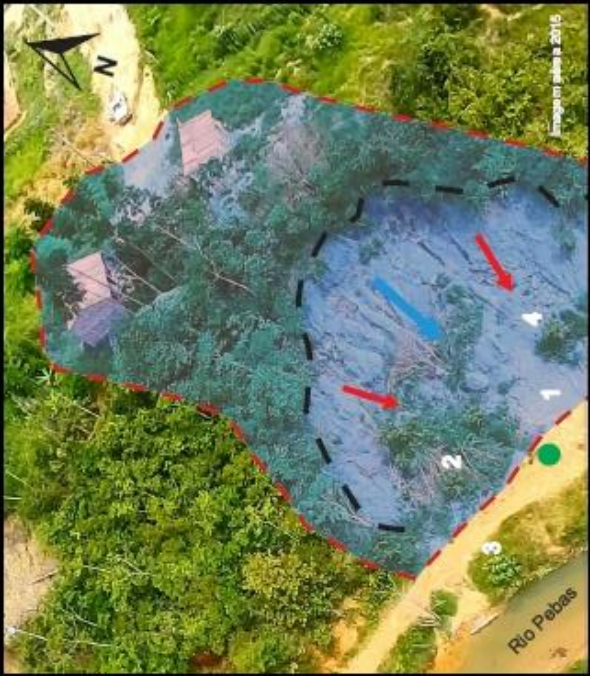



### AÇÃO EMERGENCIAL PARA RECONHECIMENTO DE ÁREAS DE ALTO E MUITO ALTO RISCO A MOVIMENTOS DE MASSAS E ENCHENTES

Rondon do Pará - Pará  
Abril 2015


PA, RP, SR, 07 - CPRM  
Localização: Bairro Novo Horizonte  
Ponto Georreferenciado: UTM 22 M 824983 E 9469071 S








**1**  
O material mobilizado indica a ocorrência recente de um deslizamento.



**2**  
Moeda em área de risco, situada a poucos metros da borda da encosta.



**3**  
Rio Peabas situado no sopé da encosta estudada, sujeito a avaria devido aos deslizamentos. Observa-se a alta diversidade da encosta.

**Legenda**

- Delimitação do setor risco
- Ravina
- Sentido do deslizamento e do desmoronamento
- Sentido do fluxo de drenagem

**Descrição:** Área com alta risco a deslizamento.

Sector localizado no bairro de Novo Horizonte no centro urbano de Rondon do Pará, caracterizado por um deslizamento planar na borda de um baixo platô, próximo à margem do Rio Peabas. Por se situar na borda de um baixo platô, esta é uma área naturalmente suscetível aos processos erosivos e movimentos de massa. Segundo fundação da Prefeitura esta é uma área de preservação que foi invadida por trabalhadores sem terra. A área de estudo é caracterizada por um solo arenoso-argiloso, o que juntamente com a alta declividade da encosta (figura 4) aumenta o risco de ocorrência de deslizamentos e processos erosivos. Como pode ser observado pela presença de material mobilizado no local (figura 1), indicando que houve deslizamentos recentes. Observa-se uma morada (figura 2) situada a aproximadamente 10 metros da borda da encosta, em situação de alto risco a deslizamento. Este processo contínuo de deslizamento, mobilizando material da encosta, irá gradativamente provocar o abatimento do rio Peabas (figura 3), que está localizado bem próximo do sopé da encosta.

**Tipo de processo:** deslizamento planar.

**Quantidade de imóveis em risco:** Aprox. 2

**Quantidade de pessoas em risco:** Aprox. 8

**Sugestões de intervenções**

Em caso de chuvas intensas, alerta e atenção máxima para deslizamentos e eventuais remoções de emergência;

Remoção das famílias, localizadas no polígono vermelho;

Implantação de sistemas de regularização sanitária e águas pluviais canalizados de forma que o despejo não seja diretamente no solo;

Implantação de obras de contenção através de empresas especializadas em soluções geotécnicas;

Reforço da borda do baixo platô;

Proibir e fiscalizar a ocupação da área de risco;

Instalação de pluviômetros para monitoramento e alerta em alguns pontos estratégicos do município;

Campanhas educativas para evitar ocupação e desastres em áreas de risco geológico.

**EQUIPE TÉCNICA**

Dianne Fonseca (SUBEG-BE)

Loury Barros (SUBEG-BE)

Patrícia Simões (SUBEG-BE)

**Geólogos e Geógrafos - Reguladores em Geociências**

## ANEXO J - PRANCHA DESCRITIVA DE EROSIÃO – BAIRRO NOVO HORIZONTE 02. FONTE: CPRM, 2015.

**GOVERNO FEDERAL**  
**BRASIL**  
PÁTRIA EDUCADORA

**AÇÃO EMERGENCIAL PARA RECONHECIMENTO DE ÁREAS DE ALTO E MUITO ALTO RISCO A MOVIMENTOS DE MASSAS E ENCHENTES**

Rondon do Pará - Pará  
Abril 2015

PA\_RP\_SR\_04\_CPRM  
Localização: Bairro Novo Horizonte  
Ponto Georreferenciado: UTM 22 M 825513 E 9469080 S

**CPRM**  
Serviço Geológico do Brasil

**EQUIPE TÉCNICA**  
Dianne Fonseca (SUIREG-IE)  
Loury Bastos (SUIREG-IE)  
Patrícia Smões (SUIREG-IE)  
Geólogos e Geógrafos - Pesquisadoras em Geociências

**1** Sulcos enfiados ao longo da rua.  
**2** Presença de água e lixo ao longo da ravina.  
**3** Evolução da erosão na ravina.

**Descrição:** Área com muito alto risco a erosão do tipo ravina. Setor localizado ao Sul do centro urbano de Rondon do Pará, no bairro Novo Horizonte, caracterizado por ravina em contínuo processo de erosão lateral e remanente. A área em estudo está posicionada na borda de baixo platô, o que torna a região naturalmente instável. Segundo funcionários da prefeitura esta rua foi construída a partir do aterramento da ravina, de maneira que ao longo dos anos esta área teve intervalos de estabilização e reativação do processo erosivo. Após os estudos na área foi possível observar que este processo é recorrente devido a baixa permeabilidade do solo, desmatamento lateral da ravina e ausência de obras ao longo da feição que possibilitem a passagem de água pluvial por debaixo da rua. Foi possível identificar um solo arenoso argiloso altamente frável e de baixa resistência e permeabilidade, que é evidenciada pelos sulcos erosivos ao longo da rua José Fernandes, e ainda, pelo acúmulo de água no canal da ravina. Além destas problemáticas já descritas anteriormente, ainda ocorre o despejo de lixo ao longo da feição feita pela própria população local que potencializa ainda mais o acúmulo de água e consequente proliferação de doenças.

**Tipologia do processo:** Erosão do tipo ravina.

**Sugestões de Intervenções**

Claras e canalização da água pluvial ao longo da ravina e rua; Reflorestamento da borda da ravina; Remoção do lixo da ravina e fiscalização para que não volte a ser despejado; Implantação de Sistemas de Esgotamento sanitário; Em caso de chuvas intensas, alerta e atenção máxima para deslizamentos e eventuais interdições da estrada; Instalação de pluviômetros para monitoramento e alerta em alguns pontos estratégicos do município; Campanhas educativas para evitar deslizantes em áreas de risco geológico.

# ANEXO L - PRANCHA DESCRITIVA DE EROSIÃO – BAIRRO NOVO HORIZONTE 03. FONTE: CPRM, 2015.

**GOVERNO FEDERAL**  
**BRASIL**  
PATRIA EDUCADORA


**AÇÃO EMERGENCIAL PARA RECONHECIMENTO DE ÁREAS DE ALTO E MUITO ALTO RISCO A MOVIMENTOS DE MASSAS E ENCHENTES**

**Rondon do Pará - Pará**  
Abril 2015


PA\_RJ\_S3\_10\_CPRM  
Localização: Bairro Novo Horizonte  
Perfil Georreferenciado: UTM 22 M 824752 E 14611167 S


**CPRM**  
Serviço Realizado no Brasil

**EQUIPE TÉCNICA**  
Elaine Passos (AUTEC-AR)  
Leury Balas (SUREC-BE)  
Patricia Simões (UREG-BE)  
Geólogos e Geógrafos - Pesquisadores em Geotecnologias




**1**  
Sedimentação em área de serviço.






**2**  
Bulços próximos no talude lateral do ravino.



**3**  
Furo de drenagem no canal do ravino.



**4**  
Morais construídas próximas a boca do ravino.

**Legenda**

- Delimitação do setor risco
- Furo de drenagem no canal do ravino
- Ravino
- Sentido do deslocamento
- Sentido do fluxo de drenagem

**Descrição:** Área com alta e média erosão do tipo ravino. Setor localizado na área urbana do Rondon do Pará, no bairro do Novo Horizonte, caracterizado por ravina em continuo processo de erosão lateral e remanejante. A área em estudo está posicionada na borda de uma platô, a que tem a rebaixação relativamente íngreme. Região reclusa profunda, estela re alongada, com taludes laterais subverticais de aproximadamente 15,0m de altura e solo de textura arenosa-argilosa e altamente frável. Bordas de ravina parcialmente demarcadas aceleram o processo erosivo, que são evidenciadas pela ocorrência de sulcos erosivos ao longo dos taludes laterais. Além da ocorrência de água pluvial e espelho desta região da cidade ser área onipal do ravino, ocorre ainda, o despejo de água servidas, que são drenadas através de canas superficiais implantadas pela própria população local. Casas de madeira e alvenaria construídas na borda do ravino, a aproximadamente 10,0m de distância indicam uma situação de risco iminentado.

**Tipo de Processo:** Erosão do tipo ravino.  
**Quantidade de morais:** 2 morais.  
**Quantidade de pessoas em risco:** aproximadamente 24 pessoas.

**Sugestões de Intervenções**

- Identificação das moradias em risco;
- Obras de retificação e contenção dos encostas;
- Proibição e fiscalização da não ocupação na área;
- Reforço e melhoramento do pavimento;
- Instalação de rede de drenagem das águas pluviais e servidas adequadas ao longo do encosta e taludes laterais;
- Implantação de Sistema de Espalamento lateral;
- Monitoramento e avaliação da área de risco através da Defesa Civil Municipal em casos de chuvas intensas, alerta e atenção máxima para os moradores e ventuos remoções de emergência;
- Instalação de pluviômetros para monitoramento e alerta em alguns pontos estratégicos municipais;
- Campanha educativa para evitar deslizem em áreas de risco geológico.

**ANEXO M - PRANCHA DESCRITIVA DE EROÇÃO – BR - 222. FONTE: CPRM, 2015.**

**GOVERNO FEDERAL**  
**BRASIL**  
PÁTRIA EDUCADORA

**CPRM**  
Serviço Geológico do Brasil

**AÇÃO EMERGENCIAL PARA RECONHECIMENTO DE ÁREAS DE ALTO E MUITO ALTO RISCO A MOVIMENTOS DE MASSAS E ENCHENTES**

Rondon do Pará - Pará  
Abril 2015

PA, RP, SR, 09 - CPRM  
Localização: Bairro Centro  
Ponto Georreferenciado: UTM 22 M 826059 E 94719841 S

**Descrição:** Área com muito alto risco a deslizamento.

Setor localizado no bairro do Centro, na BR 222 na entrada do perímetro urbano de Rondon do Pará. Este é caracterizado por um deslizamento planar na borda do baixo platô que limita praticamente toda a sede do município. Devido a sua localização ser em um parte bem íngreme, esta é uma área naturalmente suscetível aos processos erosivos e movimentos de massa. Segundo o morador esta foi uma área de retilhada de material para aterrar a ravina na rua Bahia.

Na área existem marcadões 0,7 metros de distância da base do talude, que possui 12 metros de altura e 87° de declividade (figura 1, 2 e 3). O solo é bastante fofável, arenoso e apresenta algumas fraturas subverticais. Um outro fator que favorece a instabilidade da encosta é poucos pontos com cobertura vegetal. Pode ser observado na parte superior da encosta uma moradia bem próxima da encosta, em situação de alto risco (figura 4).

**Tipologia do Processo:** deslizamento planar.

**Quantidade de imóveis em risco:** Aprox. 3

**Quantidade de pessoas em risco:** Aprox. 12

**Sugestões de intervenções**

Monitoramento e atualização da área de risco através da Defesa Civil Municipal e em caso de chuvas intensas, alerta e atenção máxima para deslizamentos e eventuais remoções de emergência.

Remoção das famílias, localizadas no polígono vermelho;

Implantação dos sistemas de esgotamento sanitário e águas pluviais canalizadas de forma que o despejo não seja diretamente no solo;


Implantação de obras de contenção através de empresas especializadas em soluções geotécnicas;

Reflorestamento da borda do baixo platô;

Proibir e fiscalizar a ocupação da área de risco;

Instalação de pluviômetros para monitoramento e alerta em alguns pontos estratégicos do município;

Campanhas educativas para evitar a ocupação de áreas com risco geológico.



BR 222  
Imagem aérea 2015

**Legenda**


- Delimitação do setor de risco
- Borda do Baixo Platô
- Sentido do deslizamento e do desmoronamento

**EQUIPE TÉCNICA**  
Diame Fonseca (SURGE-EE)  
Loury Sato (SURGE-EE)  
Patricia Amores (SURGE-EE)


Geólogos e Geógrafos - Pesquisadoras em Geotécnicas



4  
Observa-se moradia na parte superior do talude.



1  
Talude de 12 metros de altura muito próximo a residência.



2  
Talude íngreme a 7 metros de distância da moradia.



3  
Borda íngreme do baixo platô, com declividade de 87°.

**ANEXO N – ARTIGO PUBLICADO: COMPORTAMENTO DA  
PRECIPITAÇÃO COMO FATOR ATIVO DE PROCESSOS EROSIVOS NO  
MUNICÍPIO DE RONDON DO PARÁ, PA (BRASIL)**



## Comportamento da precipitação como fator ativo de processos erosivos no município de Rondon do Pará, PA (Brasil)

Behavior of precipitation as an active factor of erosive processes in municipality of Rondon do Pará, PA (Brazil)

A. G. Rosa<sup>1\*</sup>; J. T. S. Dos Santos<sup>1</sup>; J. A. Da Costa<sup>2</sup>; D. D. F. Fonseca<sup>3</sup>; A. M. L. De Sousa<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação de Ciências Ambientais, Universidade Federal do Pará, 66075-110, Belém-Pará, Brasil

<sup>2</sup>Instituto Ciberespacial – ICIBE, Universidade Federal Rural da Amazônia, 66.077-83, Belém-Pará, Brasil

<sup>3</sup>Superintendência Belém – SUREG/BE, Serviço Geológico do Brasil – CPRM, 66.095-110, Belém-Pará, Brasil

<sup>4</sup>Instituto Sócio Ambiental - ISARH, Universidade Federal Rural da Amazônia, 66.077-83, Belém-Pará, Brasil

\*amandagammarosa@gmail.com

(Recebido em 21 de novembro de 2016; aceito em 10 de janeiro de 2017)

Buscando contribuir com informações acerca do comportamento da precipitação e as perdas de solo em Rondon do Pará/PA, este trabalho buscou estimar a precipitação do município, entre os anos de 1999 e 2015, gerar uma normal provisória da precipitação e avaliar o comportamento desta nos casos de erosão registrados na região. Para isto, foram utilizados dados diários de precipitação obtidos a partir dos satélites CMORPH nos anos de 1999 a 2015, provenientes de um quadrante do município. De posse destes, foram gerados a normal provisória e o balanço hidrológico de Rondon do Pará. Dados de ocorrências de erosão da Defesa Civil foram obtidos para, junto aos de precipitação, serem analisados individualmente. A normal provisória apresentou ano hidrológico iniciando em outubro com a estação chuvosa e finalizando em setembro com o fim da estiagem, sendo o mês de março o mais chuvoso e agosto o menos chuvoso. O balanço hidrológico exibiu excedente hídrico nos meses de janeiro a abril e deficiência hídrica de junho a novembro, havendo reposição a partir de dezembro com a retomada das chuvas. Os casos de erosão apresentaram distribuição anual semelhante à distribuição da precipitação, indicando sua grande influência sobre os mesmos. A análise individual dos casos mostrou que a erosão pode ser decorrente tanto de precipitação ocorrida no dia do evento como acumulada nos cinco dias antecedentes ao evento, sendo este último caso o mais comum. Essas informações são úteis para o planejamento do município, nas áreas urbana e rural.

Palavras-chave: comportamento da chuva, erosão, planejamento.

Seeking to contribute with information about the behavior of precipitation and soil losses in Rondon do Pará/PA, this study sought to estimate the precipitation of city between the years 1999 and 2015, to generate a Provisional Normal of precipitation and to evaluate the behavior of that on cases of erosion recorded in the region. For this, was used daily precipitation data from satellites CMORPH in the years 1999-2015, from one quadrant of the city. In possession of these, were generated provisional normal and the hydrological balance of Rondon do Pará. The erosion occurrence data of Civil Defense were obtained for, with the precipitation data, are examined individually. The Provisional Normal presented hydrological year starting in October with the rainy season and ending in September with the end of the dry season, being the month of March the wettest and August the less rainy. The hydrological balance showed surplus water in the months from January to April and water deficiency from June to November, with replacement from December with the return of the rains. The cases of erosion presented annual distribution similar to the distribution of precipitation, indicating its great influence on them. Individual analysis of cases showed that erosion may be due as much precipitation occurred on the day of the event as accumulated in the five days prior to the event, the latter being the most common case. This information comes useful for municipal planning, in urban and rural areas.

Keywords: behavior of rain, erosion, planning.

## 1. INTRODUÇÃO

Integrante da dinâmica superficial da terra, a erosão constitui-se como o principal modelador fisiográfico do planeta. Consiste em um processo que ocorre naturalmente envolvendo as seguintes etapas: remoção de partículas, transporte e deposição lenta ou acelerada dos materiais, sejam eles formados por rochas, solos ou depósitos superficiais não consolidados [1, 2].

Quanto à sua classificação em função dos seus fatores ativos (condicionantes), as erosões podem ser divididas em 15 tipos, conforme foi proposto por Zachar em 1982 [3], porém, em síntese, o mais comum hoje é classificá-las em quatro grandes grupos: erosão eólica, erosão glacial, erosão hídrica e erosão organogênica [4]. A erosão hídrica, tipo mais comum em regiões tropicais, ocorre a partir da desagregação das partículas de solo como consequência do impacto direto das gotas de chuva, do escoamento superficial, da drenagem dos rios ou também da ação do mar. Após essa desagregação, parte significativa das partículas é transportada, removendo certa quantidade de solo [5].

A chuva é um dos principais agentes responsáveis pela energia necessária para a ocorrência da erosão, tanto pelo impacto direto sobre a superfície do solo quanto pela sua capacidade de produzir escoamento superficial [6]. Quanto mais intensa ela for, menos tempo e capacidade os solos terão para a água infiltrar, favorecendo o aumento do escoamento na superfície e, conseqüentemente, o aumento das chances de ocorrência de erosão laminar, podendo evoluir para sulcos, ravinas e até voçorocas. A quantidade de chuva também é importante, porque uma chuva pode ser de intensidade relativamente baixa, porém pode durar um período muito longo, tornando os solos saturados e suscetíveis à erosão [2].

Nesse contexto, a busca por maiores conhecimentos e informações acerca da precipitação e suas influências no desencadeamento de processos erosivos se torna essencial, principalmente quando se diz respeito aos riscos nas áreas urbanas, cuja análise é impulsionada pela necessidade de identificar situações de risco e realizar o planejamento adequado.

Diversos trabalhos têm sido realizados abordando a resistência de solos, em distintas situações, à ação das águas, como o de Corrêa et al. (2010) [7] em estradas em Itaiópolis (SC); Santos et al. (2002) [8] em vertentes de encostas em Ouro Preto (MG); Prieto (2010) [9] em um loteamento em Ponta Grossa (PR) e Alves (2007) [10] em zona rural de Uberlândia (MG), entre outros. Todos estes autores chamam a atenção para a necessidade de planejamento e de prevenção de situações de risco, a fim de evitar danos tanto ambientais como sociais e econômicos.

Diante disso, este trabalho objetivou estimar a precipitação do município de Rondon do Pará (PA), entre os anos 1999 e 2015, tendo em vista a carência deste tipo de dados para o local e o destaque que este município tem recebido nos últimos anos devido à ocorrência de erosões em sua área urbana, afetando centenas de pessoas. Além disto, buscou-se avaliar os casos de erosão identificados pela Defesa Civil do Pará em Rondon do Pará com base no comportamento da precipitação no dia do evento erosivo e nos dias que antecederam o evento.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo compreende a área urbana do município de Rondon do Pará/PA, localizado na mesorregião do sudeste paraense e na microrregião de Paragominas (Figura 1). O município em questão possui extensão territorial de 8.296,394 km<sup>2</sup> e sua área urbana possui de cerca 9,54 km<sup>2</sup>, tendo sua sede municipal nas coordenadas geográficas 4°46'34'' S e 48°04'02'' O.

O tipo climático predominante na região é Aw, de acordo com critérios de Koppen, caracterizado por um clima tropical chuvoso. O ano hidrológico da região começa em outubro com a estação chuvosa e termina em setembro, com o fim da estiagem [11].

Os principais sistemas que influenciam no tempo e clima da Região Norte do Brasil, onde está incluída a área de estudo, são a ZCIT (Zona de Convergência Intertropical), as Linhas de Instabilidade (LIs) e circulação de brisa marítima, a penetração de sistemas frontais, o deslocamento da ASAS/ASAN (Alta Subtropical do Atlântico Sul/ Alta Subtropical do Atlântico Norte) e da Alta da Bolívia, a qual pode interagir com Distúrbios Ondulatórios de Leste e outros mecanismos de escala regional e global (El Niño Oscilação Sul e dipolo do Atlântico Tropical, por exemplo) [5].

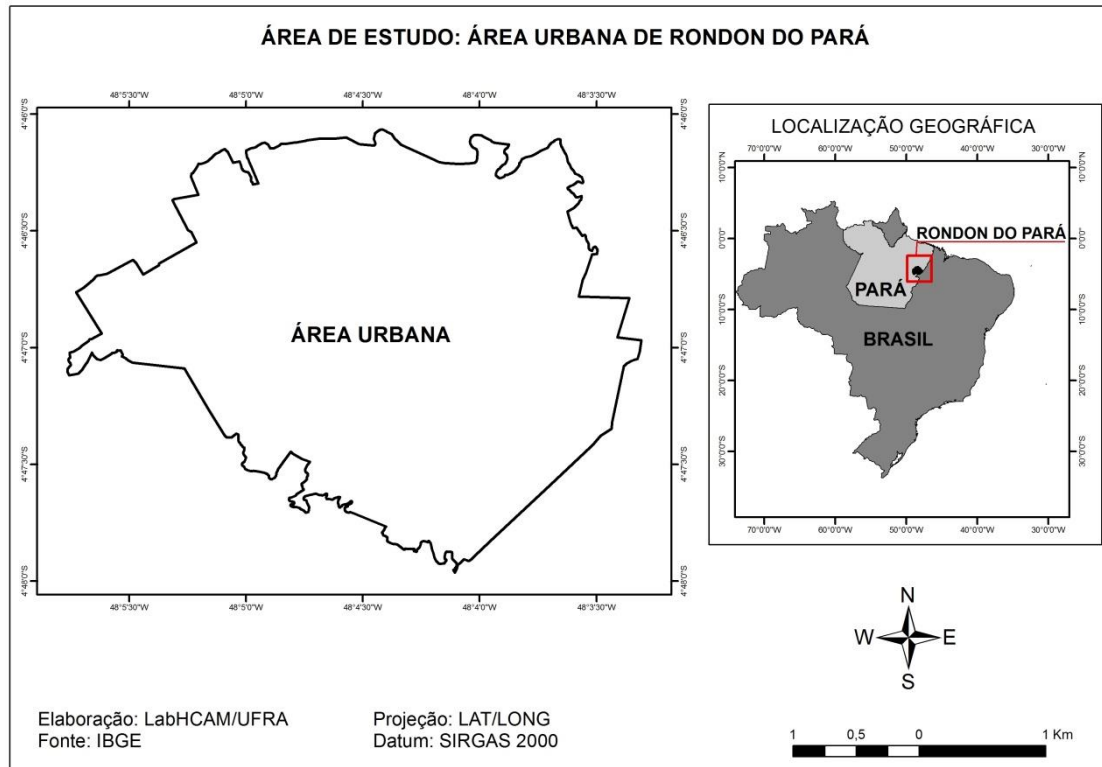


Figura 1: Localização da área de estudo no estado do Pará. Fonte: Autores.

Os processos erosivos, naturais de evolução geomorfológica na região, que está localizada no Domínio de Colinas Dissecadas e Morros Baixos e possui relevo de baixo platô, com amplitude média de 95 metros e bordas relativamente íngremes, e solos muito profundos, friáveis e com alta erodibilidade (latossolo amarelo), se intensificam entre novembro e maio, período de grande precipitação na região, influenciados também pela concentração de águas pluviais em galerias subterrâneas que deságuam em poucos pontos na cidade [11].

Na metodologia foram utilizados dados diários de precipitação obtidos a partir dos satélites CMORPH (Climate Prediction Center morphing method), para determinação da normal provisória do município e para a avaliação do comportamento da precipitação. Os dados de chuva do CMORPH (disponíveis em [ftp.cpc.ncep.noaa.gov/](http://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/)), com séries a partir de 1998, além de fornecer dados espaciais satisfatórios com resolução espacial de 64 km<sup>2</sup>, apresenta bastante confiabilidade quantitativa, como foi evidenciado em diversos estudos [12, 13]. Neste trabalho foram utilizados dados entre os anos de 1999 e 2015 provenientes de um quadrante do município, que inclui a área urbana, entre as latitudes 4°S e 5°S e entre as longitudes 48°W e 49°W. Para esta tarefa obteve-se o auxílio do software GrADS 2.0.

Embora seja necessária uma série de dados de precipitação de no mínimo 30 anos para a definição da normal climatológica padronizada de uma região [14], foi usada uma série de 17 anos em função da quantidade limitada de dados CMORPH e da indisponibilidade de dados de precipitação em outros bancos de dados, gerando uma Normal Provisória para o município. As Normais Provisórias são médias de curto prazo, segundo a OMM (1989) [14], calculadas, em substituição às Normais Climatológicas, em casos de insuficiência de dados, baseadas em observações que se estendam sobre um período mínimo de 10 anos.

Além da definição da normal provisória, foi elaborado o balanço hidrológico do município, a partir da metodologia desenvolvida por Thornthwaite e Mather (1955) [15]. Com a realização do balanço hidrológico foi possível avaliar a entrada, saída e armazenamento de água no solo ao longo do ano, o que pode explicar a distribuição da ocorrência dos eventos erosivos. Para a elaboração deste balanço foi definida uma capacidade de campo de 100 mm e foram usados os dados de precipitação CMORPH de 1999 a 2015 de Rondon do Pará (PA) e os dados de temperatura oriundos da estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET



localizada no município de Marabá (PA) (distante 135 km da área de estudo), a partir de sua normal climatológica de 1961-1990. Foram utilizados dados de Marabá devido ao fato de que este é o município mais próximo da área de estudo que possui dados climatológicos por um longo período e ao fato de que a estação meteorológica de Rondon do Pará possui dados apenas a partir de 2008 e estes se mostraram insatisfatórios para este estudo.

Os dados de eventos de erosão foram provenientes do banco de dados da Defesa Civil do Estado do Pará entre os anos de 1999 e 2015 [16]. Os eventos foram analisados individualmente e relacionados com o comportamento da distribuição da precipitação na região, buscando identificar os tipos de comportamentos pluviométricos que podem influenciar no desencadeamento de eventos erosivos em certo espaço de tempo.

Foram adotados como evento de erosão outros tipos de desastres naturais identificados pela Defesa Civil que tenham relação com este, seja como causa ou consequência, tendo em vista que a interpretação destes eventos pelos funcionários da Defesa Civil, ao longo dos 17 anos de dados, pode ser falha ou conflitante. Dessa forma, eventos como Enxurrada e Deslizamento também foram considerados eventos de erosão.

Para a análise temporal da precipitação foi definido um período de observação de 6 dias, sendo o dia do evento identificado e os 5 dias que antecederam o evento erosivo, julgando que um processo de erosão pode ser influenciado, além dos fatores intrínsecos e extrínsecos do ambiente, por precipitações ocorridas no dia do evento e acumuladas nos 5 dias anteriores ao evento, ou seja, pode ser influenciado tanto pela intensidade quanto pela quantidade e distribuição de precipitação. Este período de análise foi definido a partir de sugestões de Castro et al. (2012) [17], os quais afirmaram que a observação das precipitações ocorridas nos cinco dias antes da erosão é a mais adequada para explicá-la.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### *Normal Provisória de Rondon do Pará (PA)*

Os dados diários de precipitação obtidos a partir dos satélites CMORPH foram acumulados mensalmente gerando uma normal provisória conforme é apresentado abaixo (Figura 2), com o ano hidrológico iniciando em outubro com o início da estação chuvosa e finalizando em setembro com o fim da estiagem. O mês mais chuvoso é o mês de março e o menos chuvoso é o mês de agosto, apresentando semelhanças com o comportamento anual da precipitação em regiões próximas, como no município de Marabá, o mais próximo de Rondon do Pará com Normal Climatológica definida, que também tem como o mês mais chuvoso o mês de março e como o menos chuvoso o mês de agosto [18].

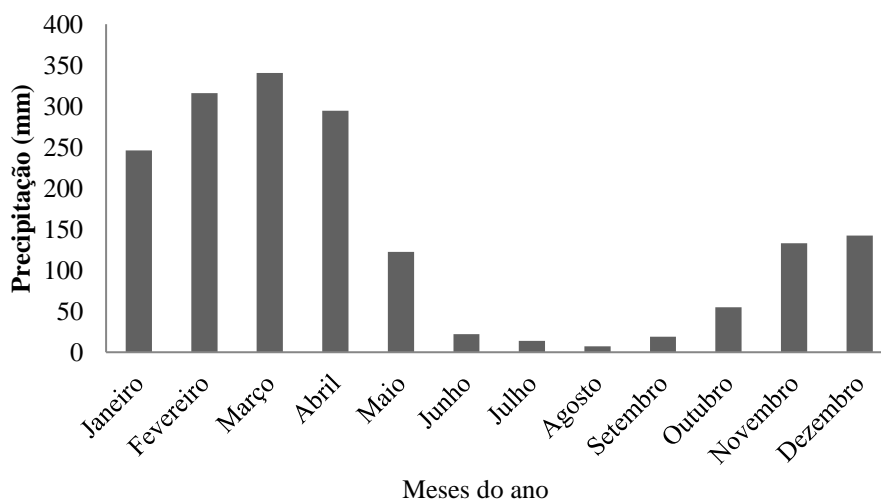


Figura 2: Normal Provisória do município de Rondon do Pará (PA), com base nos anos 1999 a 2015.

Para a série de dados investigada, a média pluviométrica anual encontrada foi de 1.710 mm, variando entre 1.261 mm a 2.504 mm. A região de Rondon do Pará possui alta pluviosidade, concentrada principalmente entre os meses de fevereiro a abril, correspondendo a 72,04% da precipitação anual.

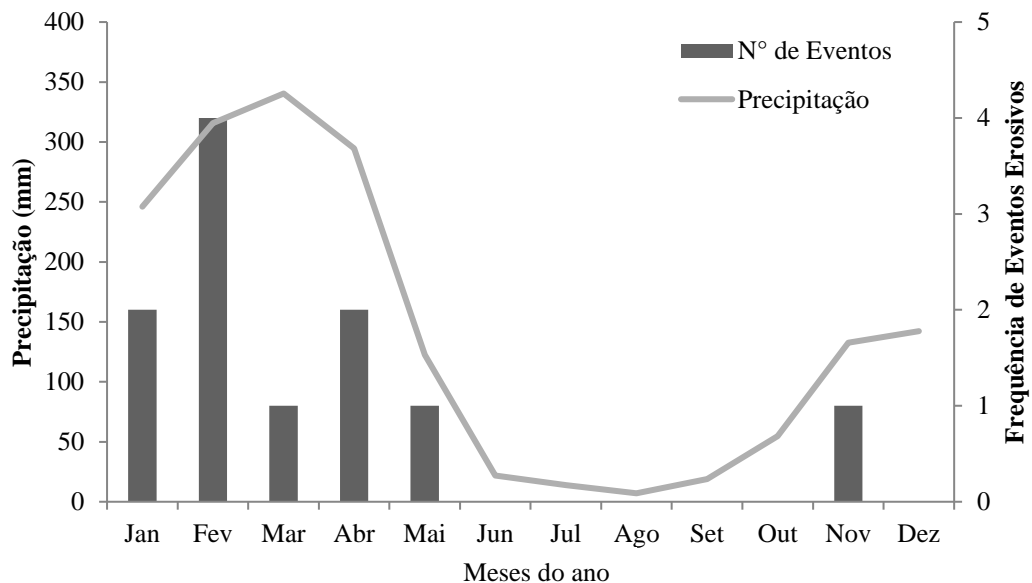
#### *A precipitação e os eventos erosivos entre 1999 e 2015*

Segundo Defesa Civil [16], foram registrados oficialmente 11 casos de processos erosivos de 1999 a 2015 no município (Tabela 1), com 730 pessoas afetadas. No entanto esses valores tendem a ser superiores na realidade, tendo em vista a deficiência na obtenção e armazenamento de dados nos anos iniciais das medições e a insuficiência de ações governamentais nos atendimentos a desastres, em função da grande extensão territorial do estado e das dificuldades institucionais.

Os casos registrados tiveram distribuição anual semelhante ao comportamento anual da precipitação, o que era esperado, pois a precipitação é um dos principais fatores ativos da erosão, embora não seja o único. Na Figura 3 pode-se observar, como dito, que, normalmente, os meses de maior precipitação, de outubro a maio, apresentam maior frequência de processos erosivos no município de Rondon do Pará, sendo o mês de fevereiro o mais crítico.

*Tabela 1: Eventos erosivos identificados pela Defesa Civil do Estado do Pará entre os anos 1999 e 2015.*

<b>Data do Evento</b>	<b>População Afetada (n° pessoas)</b>
<b>08/03/1999</b>	0
<b>19/04/2000</b>	0
<b>15/02/2001</b>	0
<b>15/02/2002</b>	0
<b>21/01/2005</b>	0
<b>22/02/2005</b>	6
<b>15/02/2006</b>	0
<b>30/04/2007</b>	684
<b>11/05/2009</b>	0
<b>17/11/2014</b>	5
<b>05/01/2015</b>	35



*Figura 3: Distribuição e frequência de eventos erosivos e distribuição da precipitação em Rondon do Pará (PA) entre 1999 e 2015.*

A precipitação, na maioria das vezes, pode explicar a ocorrência de um evento erosivo, mas isto não é uma regra, visto que a precipitação é apenas um dos vários fatores influentes. Dentre estes fatores, há a geologia e pedologia da região, a declividade do terreno, o uso e ocupação da terra, entre outros fatores ambientais extrínsecos. Por exemplo, analisando em uma escala de longo período de dados, como é o caso da análise entre 1999 e 2015 (Figura 3), vemos que apesar de o mês de março ser o mais chuvoso, não necessariamente neste mês irão ocorrer mais eventos de erosão, conforme foi registrado pela Defesa Civil.

Embora a erosão não seja totalmente explicada pela precipitação, de todo modo, é esperado que eventos erosivos concentrem suas ocorrências em períodos mais chuvosos do ano. Este tipo de informação é muito útil para o planejamento de um município, onde tomadores de decisão terão conhecimento sobre em quais meses do ano são esperadas as maiores perdas de solo, podendo, assim, selecionar as melhores opções de planejamento urbano e rural.

Nas Figuras 4 e 5 são apresentados os resultados do balanço hidrológico realizado para Rondon do Pará. Com base nelas, podemos observar que entre os meses de janeiro e abril houve um excedente hídrico, ou seja, houve uma sobra de água no período chuvoso, que o solo não teve a capacidade de infiltrar e armazenar. Esta quantidade de água que sobra, normalmente é direcionada ao escoamento superficial, favorecendo a ocorrência de erosões nesse período, tendo em vista que o solo ultrapassou seu limite de armazenamento.

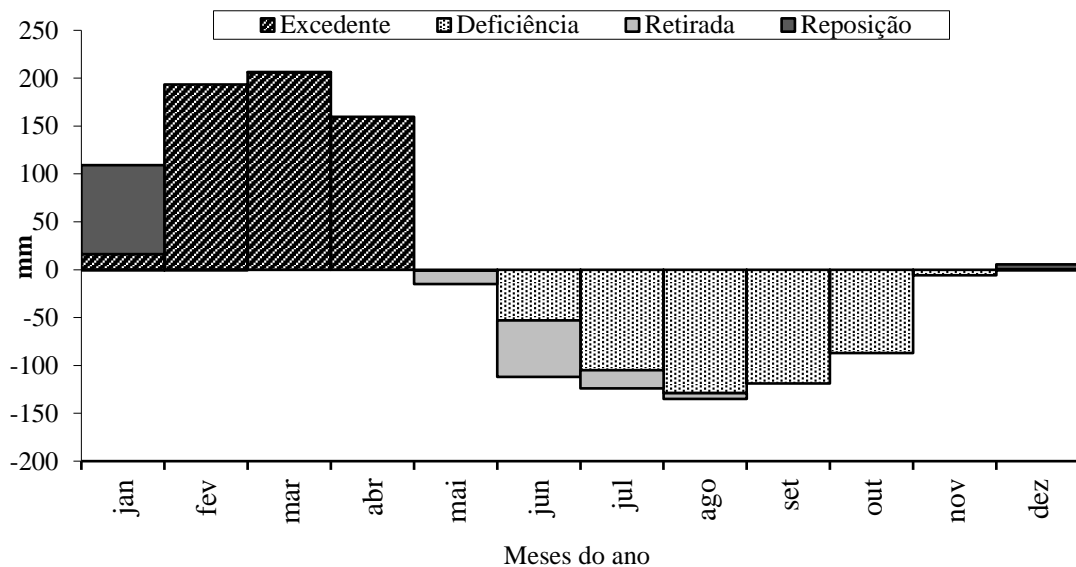


Figura 4: Extrato do Balanço Hidrológico de Rondon do Pará (PA) para o período de 1999 a 2015s.

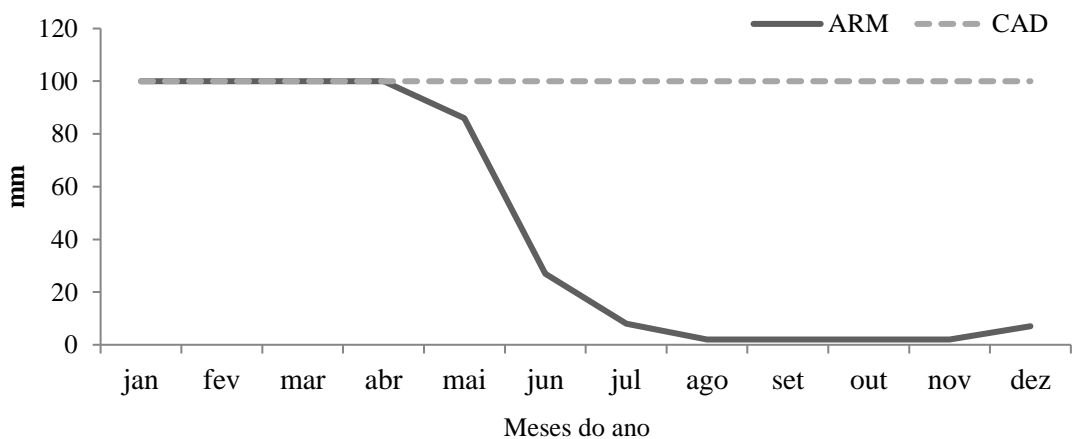


Figura 5: Capacidade de Água Disponível (CAD) e Armazenamento (ARM) de água no solo durante o ano em Rondon do Pará, com base nos anos de 1999 a 2015.

Com a redução da precipitação a partir do mês de maio passou-se a observar a deficiência hídrica, que é a falta de água no solo, com a consequente retirada de água do solo pela evapotranspiração e a redução do armazenamento. Essa situação se estende até o mês de dezembro, quando recomeça a reposição de água no solo com o retorno da precipitação em outubro. Este período, de maio a novembro, é menos favorável para eventos de erosão.

De dezembro a janeiro ocorre a reposição de água no solo. Logo em janeiro toda a falta de água no solo é suprida e já se tem excedente hídrico, recomeçando o ciclo anual.

#### *Estudo de Caso dos eventos erosivos ocorridos em Rondon do Pará (PA)*

Analisando individualmente os casos de erosão registrados pela Defesa Civil do Pará, verificou-se que um evento erosivo pode ser resposta tanto da precipitação ocorrida no dia do evento como da precipitação acumulada em dias anteriores ao evento, indicando que não apenas a intensidade da chuva, mas também a sua quantidade e distribuição, podem explicar a ocorrência de determinados processos erosivos.

Isto é explicado da seguinte forma: no primeiro caso tem-se uma chuva de alta intensidade ocorrida em um espaço de tempo relativamente curto, um dia, e, dessa forma, os solos terão menos tempo para infiltrar a água, reduzindo sua capacidade retenção, e esta passará a escoar superficialmente, gerando maior energia para a desagregação e transporte de materiais, favorecendo a erosão; no segundo caso se teria uma chuva de intensidade relativamente baixa, mas que ocorreram por um maior tempo, dias seguidos, deixando o solo saturado e, conseqüentemente, mais suscetível à erosão.

Trabalhos como os de Tatizana et al. (1987) [19] e Castro et al. (2012) [17] também trataram da influência não apenas da precipitação no dia do evento, mas principalmente da precipitação acumulada nos dias anteriores ao evento. Tatizana et al. (1987) [19] trabalhou com a precipitação acumulada de quatro dias para explicar os processos erosivos. Já Castro et al. (2012) [17] definiu que cinco dias de precipitação acumulada seria mais adequado.

Para Delmonaco et al. (1995) [20], os movimentos de massa mais profundos estão mais possivelmente relacionados a chuvas antecedentes acumuladas de vários dias, enquanto que movimentos de massas superficiais estão mais ligados e dependentes da intensidade da chuva em períodos mais curtos. Porém, essas análises não foram possíveis neste trabalho devido à falta de informações sobre as características estruturais das erosões registradas.

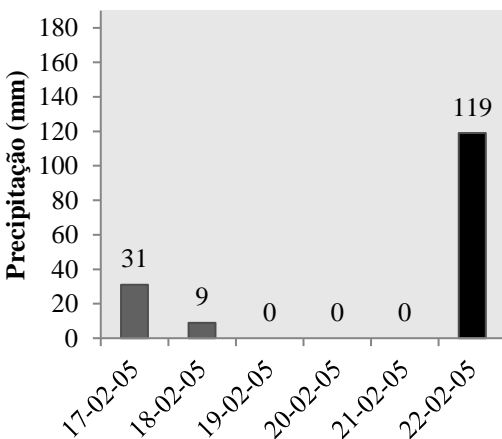
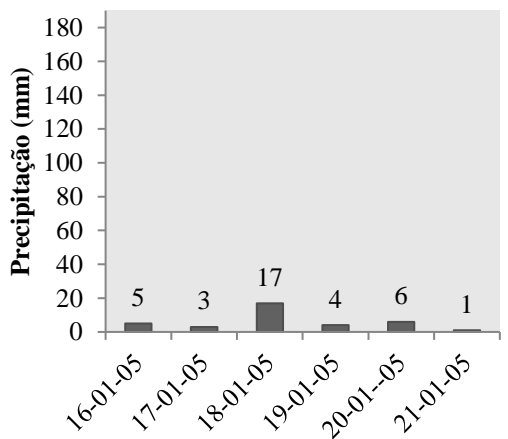
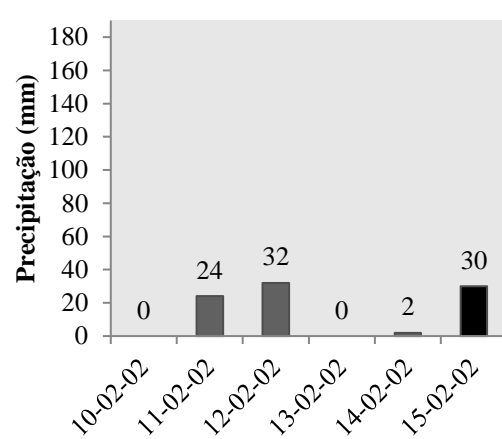
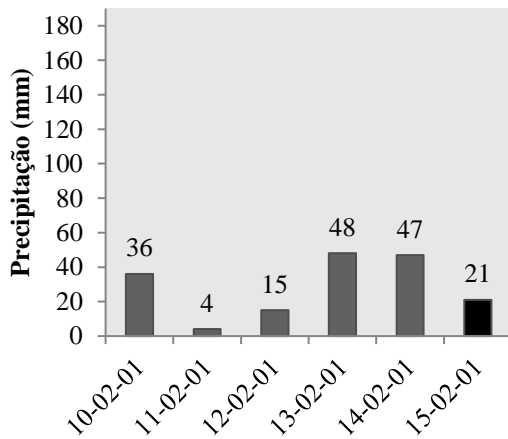
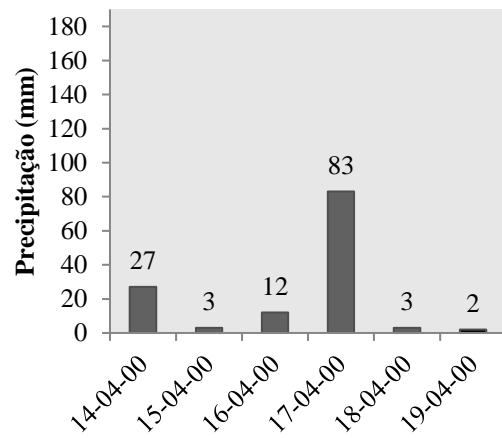
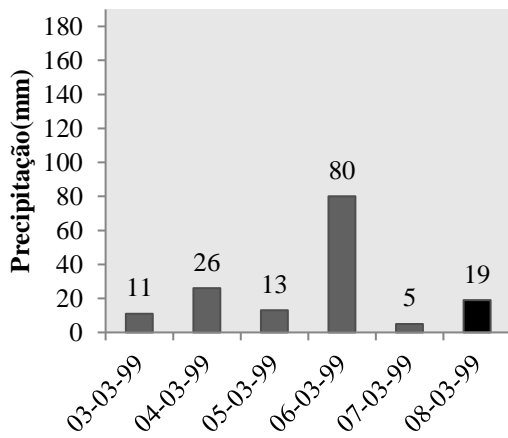
O comportamento da precipitação em todos os casos registrados oficialmente pela Defesa Civil, tanto no dia do evento como nos cinco dias que o antecederam (Figura 6). Observam-se dois comportamentos da precipitação como fator ativo no desenvolvimento de processos erosivos: intensa no dia do evento e em quantidade, acumulada do dia do evento e dos cinco dias que o antecederam. A maioria das erosões verificadas é resultante de precipitações acumuladas nos cinco dias antes do evento (nove dos onze casos). Em apenas dois casos, os eventos de 22/02/2005 e 17/11/2014, apresentaram no dia do evento uma precipitação maior que a soma das precipitações dos cinco dias antecedentes.

A média de quantidade de água precipitada que resulta em erosões, acumulando os seis dias de análise, com base do período de dados, é de 152,9 mm, porém variam os eventos que careceram de pouca água para desencadear, como o caso de 30/04/2007 (32 mm), e os que desencadearam após precipitações com grande volume de água, como o caso de 15/02/2006 (388 mm).

Os casos em que houve um acúmulo de água relativamente baixo, e principalmente distribuído por um longo período, a erosão tende a ser explicada especialmente pelos outros fatores influentes, não em maior parte pela ação das chuvas, destacando a grande importância que os outros fatores também têm sobre os processos erosivos. Em casos contrários, podemos ter a chuva como principal fator ativo de erosões.

Dentre os casos de erosões que desencadearam após a precipitação de grande volume de água, destaca-se o ocorrido no dia 15/02/2006, com quantidade total de 388 mm de água acumulada nos cinco dias que antecederam o evento, sendo os dois dias antecedentes os mais expressivos, um com 182 mm (13/02/2006) e outro com 180 mm (14/02/2006). Essa situação não é comum de ocorrer, visto o enorme volume de água em pouco tempo de incidência, com grande

potencial de causar danos, sendo considerada, desse modo, como um evento extremo. Pesquisas nas mídias e jornais foram realizadas buscando ocorrências de desastres naturais na região nesse período, porém nenhum fato foi encontrado, apenas a ocorrência registrada pela Defesa Civil.



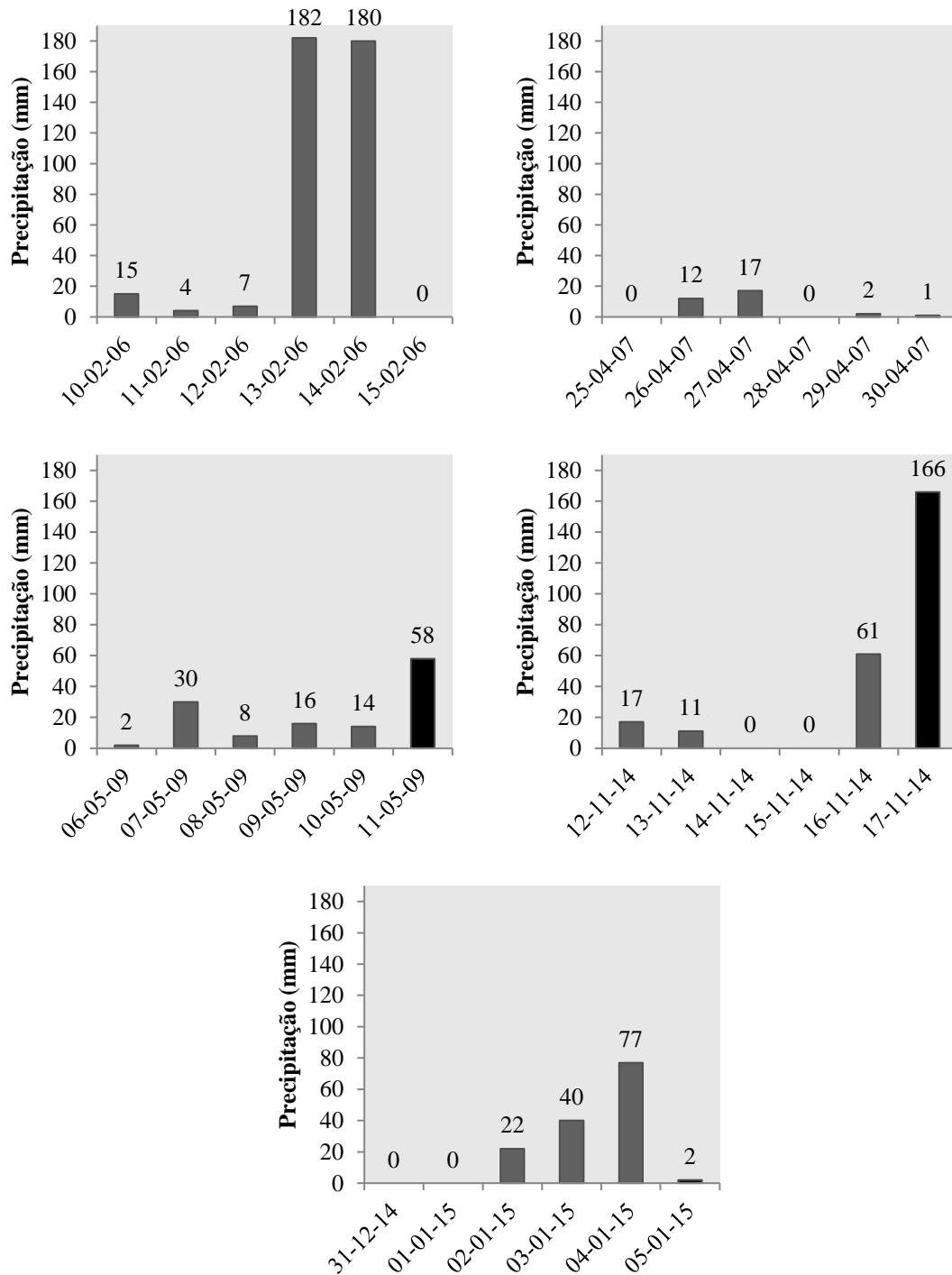


Figura 6: Comportamento da precipitação no dia do evento erosivo e nos cinco dias que o antecederam. Cada gráfico representa um dos eventos erosivos, em ordem cronológica. Observação: O dia do evento é sempre o último dia apresentado no gráfico, representado pela coluna de cor preta.

#### 4. CONCLUSÃO

Na área urbana de Rondon do Pará, os prejuízos decorrentes dos processos erosivos são cada vez mais frequentes e intensos. A precipitação é um fator que traz grande influência sobre estes processos e este trabalho vem apresentar casos que podem comprovar essa afirmação. De acordo com as análises realizadas, observou-se que os eventos registrados oficialmente pela Defesa Civil do Estado do Pará se distribuíram ao longo do ano com comportamento semelhante à distribuição

da precipitação, sendo os meses de novembro a maio os mais expressivos para as duas variáveis. Nos meses de janeiro a abril, onde se concentram a maior parte das ocorrências de erosão, houve excedente hídrico, ou seja, houve uma sobra de água no solo, onde o mesmo perde a capacidade de infiltrar água e esta se transforma em escoamento superficial, fator que favorece processos erosivos. Assim, concluiu-se que, apesar da precipitação não ser o único fator que influencia no desencadeamento de erosões, ela é um dos fatores ativos de maior importância.

Concluiu-se através das análises individuais dos 11 casos de erosão registrados, que um processo erosivo pode ser explicado, dentre outros fatores, por precipitações ocorridas tanto no dia do evento como nos cinco dias que o antecedem, sendo a maior parte dos eventos resultante de acúmulo de precipitação nos dias que o antecedem. Dentre as situações analisadas, variaram casos de erosão que careceram de pouca quantidade de água para desencadear (32 mm em 30/04/2007) e casos que careceram de grandes quantidades (388 mm em 15/02/2006).

## 5. AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Nacional de Meteorologia – INMET pela disponibilização dos dados meteorológicos.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Bertoni J, Lombardi Neto F. Conservação do solo. São Paulo: Ícone Editora; 1990. 355 p.
2. Bonna JL. Mapeamento Pedológico e de Suscetibilidade Erosiva no Alto Córrego Prata (Ouro Preto-MG) [dissertação]. Belo Horizonte (MG): Universidade Federal de Minas Gerais; 2011. 119 p.
3. Zacar D. Soil erosion. Development in Soil Science, 10. Amsterdam: Elsevier Scientific; 1982.
4. Carvalho JC, Sales MM, Sousa NM, Melo MTS. Processos Erosivos no Centro-Oeste Brasileiro. Brasília: Universidade de Brasília: FINATEC; 2006. 464 p.
5. CEPED – Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. Universidade Federal de Santa Catarina. Atlas brasileiro de desastres naturais: 1991-2012. Volume Pará. 2 ed. rev. ampl. Florianópolis: CEPED UFSC, 114 p., 2013.
6. Pruski FF. Fatores que Interferem na Erosão Hídrica do Solo. In: Pruski FF. (edit.). Conservação de solo e água: Práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica. Ed. 2. Viçosa: Ed. UFV; 2009 p. 40-73.
7. Corrêa CMC, Dedecek RA, Roloff G. Sedimentos provenientes de estradas de uso florestal em condição de relevo ondulado a fortemente ondulado. R. Floresta. 2010; 40(1):221-234.
8. Santos CA, Sobreira FG, Coelho Neto AL. Comportamento hidrológico superficial e erodibilidade dos solos da região de Santo Antônio do Leite, Distrito de Ouro Preto – MG. R. Esc. Minas. 2002; 55(4):285-290.
9. Prieto CC. Investigação sobre implantação de loteamentos e a ocorrência de processos erosivos: voçoroca situada no Jardim Santa Edwiges em Ponta Grossa – PR [dissertação]. Ponta Grossa (PR): Universidade Estadual de Ponta Grossa; 2010. 96 p.
10. Alves RR. Monitoramento dos processos erosivos e da dinâmica hidrológica e de sedimento de uma voçoroca: estudo de caso na Fazenda do Glória na zona rural de Uberlândia – MG [dissertação]. Uberlândia (MG): Universidade Federal de Uberlândia; 2007. 104 p.
11. CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Ação Emergencial para Delimitação de Áreas em Alto e Muito Alto Risco a Enchentes e Movimentos de Massa – Rondon do Pará, Pará. Pará: 2015. 36 p.
12. Sodré GRC, Rodrigues LLM. Comparação Entre Estimativa da Precipitação Observada Pela Técnica CMORPH e Estações Meteorológicas do INMET em Diferentes Regiões do Brasil. Revista Brasileira de Geografia Física. 2013; 6:301-307.
13. Araújo NA, Guetter AK. Validação da chuva estimada por satélite “CMORPH” na modelagem hidrológica do Alto Iguaçu. RBRH. 2007; 12(3):189-198.
14. Organização Meteorológica Mundial. Calculation of monthly and annual 30-year standard normals. Geneva, 1989. (WMO. Technical document, n. 341; WCDP, n.10).
15. Thornthwaite CW, Mather JR. The water balance. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, 1955. 104 p. (Publications in Climatology, vol. VIII, n.1).
16. PARÁ. Coordenadoria Estadual de Defesa Civil. Banco de dados e registros de desastre: Sistema Integrado de Informações sobre Desastres - S2ID; 2015. Disponível em: [s2id.mi.gov.br](http://s2id.mi.gov.br). Acesso em: 09 de set. de 2015.

17. Castro JMG, Sobreira FG, Gomes RC, Gomes GJC. Proposição de procedimento preventivo de riscos geológicos em Ouro Preto – BR com base em histórico de ocorrências e sua correlação com a pluviosidade. *R. Bras. Geociências*. 2012; 42(1):58-66.
18. Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. Normais Climatológicas do Brasil 1961 – 1900. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>. Acesso em: 19 de agosto de 2016.
19. Tatizana C, Ogura AT, Cerri LES, Rocha MCM. Análise de Correlação entre Chuvas e Escorregamentos - Serra do Mar, Município de Cubatão. *In: ABGE, Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia*, 5., 1987. São Paulo. *Anais...* São Paulo: ABGE, 1986 p. 225-236.
20. Delmonaco G, Ippolito F, Margottini C. The CEC Project. Meteorological Factors influencing slope stability and slope movement type: evaluation of hazard prone areas. *In: Hydrological and Hydrogeological Risks: Proceedings of the First Review Meeting*, 1., 1995. p. 259-283.



**ANEXO O – ARTIGO PUBLICADO: EROSIVIDADE DA CHUVA EM  
RONDON DO PARÁ/PA (BRASIL) DE 1999 A 2015 E PROJETADA PARA 2015**



## Erosividade da chuva em Rondon do Pará, PA, Brasil de 1999 a 2015 e projetada para 2035

doi:10.4136/ambi-agua.1956

Received: 14 Jun. 2016; Accepted: 22 Sep. 2016

Amanda Gama Rosa<sup>1\*</sup>; Adriano Marlisom Leão de Sousa<sup>2</sup>;  
Jamer Andrade da Costa<sup>3</sup>; Everaldo Barreiros de Souza<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Pará (UFPA), Belém, PA, Brasil  
Instituto de Geociências

<sup>2</sup>Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Belém, PA, Brasil  
Instituto Sócio Ambiental (ISARH)

<sup>3</sup>Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Belém, PA, Brasil  
Instituto Ciberespacial (ICIBE)

\*Autor correspondente: e-mail: amandagamarosa@gmail.com,  
marlisoms@yahoo.com.br, jammer@terra.com.br, everaldo@ufpa.br

### RESUMO

Visando contribuir com informações acerca das perdas de solo em Rondon do Pará, este trabalho determinou o valor de erosividade da chuva para a área urbana deste município, sua probabilidade de ocorrência e de seu período de retorno projetados para os próximos 20 anos. Foram realizadas análises da distribuição anual do índice de erosividade e verificadas as correlações entre o índice de erosividade médio mensal com o coeficiente de chuva. Para isto, obtiveram-se dois tipos de dados de precipitação: 1) observados, dos satélites CMORPH, de 1999 a 2015; e 2) por modelagem, RegCM4, de 2016 a 2035. Com base nestes dados, a erosividade foi calculada com os dados mensais e anuais de precipitação. Distribuições de frequência dos valores de erosividade e seus períodos de retorno foram calculados e plotados em curvas de probabilidades de ocorrência. Foram feitas análises de regressão entre a precipitação e a erosividade. No período de 1999 a 2015, o valor do fator R para Rondon do Pará foi  $16.390 \text{ MJ mm ha}^{-1}\text{h}^{-1}\text{ano}^{-1}$ , com probabilidade de 47% de ser igualado ou superado pelo menos uma vez a cada 2,1 anos. No período de 2016 a 2035, o valor de R foi  $13.038 \text{ MJ mm ha}^{-1}\text{h}^{-1}\text{ano}^{-1}$ . Entre fevereiro a abril e janeiro a abril, são prováveis as maiores perdas de solo para 1999-2015 e 2016-2035, respectivamente. O modelo matemático de regressão que apresentou melhor resultado foi o de potência para os anos de 1999 a 2015 e o de polinômio para os anos de 2016 a 2035.

**Palavras-chave:** erosão, planejamento conservacionista, regime de precipitação.

### Rainfall erosivity in Rondon do Pará, PA, Brazil from 1999 to 2015 and projected to 2035

### ABSTRACT

This study determined the rainfall erosivity value for the urban area of Rondon do Pará in order to provide information about the city's soil loss. The study also determined the probability of erosion occurrence and the return period projected for the next 20 years. The

annual distribution of the erosivity index was analyzed and an estimate was made of the correlation between the average monthly erosivity index and the rainfall coefficient. To accomplish this, two types of rainfall data were obtained: 1) data observed by the CMORPH satellites from 1999 to 2015; and 2) data modelled by the RegCM4 model from 2016 to 2035. Erosivity was calculated based upon these monthly and annual rainfall data. Frequency distributions of erosivity values and their return periods were calculated and probability curves were plotted. Regression analyses between precipitation and erosivity were completed. In the period from 1999 to 2015, the value of the R factor of Rondon do Pará was  $16,390 \text{ MJ mm ha}^{-1}\text{h}^{-1}\text{ano}^{-1}$ , with a probability of 47% of being equaled or exceeded at least once each 2.1 years. In the period from 2016 to 2035, the R value was  $13,038 \text{ MJ mm ha}^{-1}\text{h}^{-1}\text{year}^{-1}$ . Highest soil losses are probable between February and January from 1999 to 2015 and between January and April from 2016 to 2035. The regression mathematical models that had the best results were the potency and the polynomial models for the years from 1999 to 2015 and 2016 to 2035, respectively.

**Keywords:** conservation planning, erosion, precipitation regime.

## 1. INTRODUÇÃO

Os desastres naturais compõem um tema cada vez mais presente no cotidiano da sociedade. Existe um aumento significativo não apenas na frequência e intensidade destes desastres, mas também nos impactos gerados (CEPED, 2013). Muitos destes desastres são intensificados pelo crescimento acelerado e desordenado das cidades associado com a falta de planejamento urbano, o que tem potencializado as situações de risco em eventos naturais, causando desastres (Mello et al., 2006). Um exemplo destes é o evento de erosão, caracterizado por um processo mecânico de desagregação, transporte e deposição de materiais pela ação da água, ventos ou gelo, que pode ocorrer em superfície e profundidade, sob condições físicas naturalmente relevantes, porém que pode se tornar crítico em função da ação antrópica (Silva e Machado, 2014). A erosão hídrica, tipo de erosão mais comum no Brasil, e a consequente produção de sedimento têm sido preocupação constante no que se diz respeito à gestão do solo e da água, com grande potencial de ocasionar problemas de ordem ambiental, econômico e social relevantes ao equilíbrio de ecossistemas em uso (Santos et al., 2010).

Desde muito tempo, trabalhos como o de Brown (1984) alertavam sobre as consequências da intensificação do uso do solo, seja pela agricultura ou urbanização, exercendo forte pressão sobre este, o que coloca em risco o atendimento das necessidades humanas e ambientais em virtude da aceleração das taxas de erosão. Assim, é inadiável equacionar e propor soluções para este problema. Nesse sentido, a modelagem do processo de erosão é essencial como uma estratégia usada no planejamento do uso, manejo e conservação do solo.

A Equação Universal da Perda de Solo (EUPS) é um modelo empírico de estimativa de perdas médias anuais de solo em um local, possibilitando um planejamento conservacionista capaz de manter essas perdas em níveis toleráveis (Wischmeier e Smith, 1978). Este modelo abrange os diversos fatores que podem influenciar a erosão hídrica, sendo expresso pela equação  $A = R.K.L.S.C.P$ , onde A representa as perdas médias anuais de solo ( $\text{Mg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ ), R é o índice de erosividade da chuva, K é o fator erodibilidade do solo, L o fator comprimento de rampa, S a declividade do terreno, C o fator uso, manejo e cobertura do solo e P o fator práticas conservacionistas de suporte do solo (Dias e Silva, 2003).

A definição do fator R, objeto principal deste trabalho, se dá pelo cálculo do índice de erosividade das chuvas ( $EI_{30}$ ), o qual representa a capacidade potencial da chuva em provocar o processo de erosão do solo, e é resultado da multiplicação de dois parâmetros específicos

das precipitações erosivas de um dado local: energia cinética total da chuva (E) e intensidade máxima em 30 min ( $I_{30}$ ). A média anual desse índice, obtida na maior série de dados de precipitação disponível, representa o fator R da área de estudo (Bazzano et al., 2010). Este parâmetro, desenvolvido nos EUA (Wischmeier e Smith, 1978), tem sido bastante aplicado em regiões tropicais e subtropicais, a exemplo do Brasil nos trabalhos de Oliveira Jr. e Medina (1990) no estado do Amazonas, Dias e Silva (2003) no Ceará, Maques et al. (1997) em Minas Gerais, Roque et al. (2001), Colodro et al. (2002) e Bertoni e Lombardi Neto (1990) em São Paulo, Hickmann et al. (2008) no Rio Grande do Sul, entre vários outros.

A determinação da erosividade da chuva possibilita identificar, durante o ano, os meses nos quais há maior risco de perda de solo e água, informação que tem papel fundamental no planejamento conservacionista urbano e rural em épocas de maior capacidade erosiva das chuvas (Wischmeier e Smith, 1978; Bertoni e Lombardi Neto, 1993; Silva et al., 2010).

Tendo em vista ser a chuva um dos principais agentes ativos no processo de erosão hídrica, é fundamental avaliar a resposta do solo às diferentes precipitações, tanto em função do volume precipitado quanto pela característica do evento. Nesse sentido, o potencial erosivo da chuva é quantificado a partir de suas características, sendo o índice de erosividade um dos mais utilizados, essencial para os estudos de perda de solo (Carvalho et al., 2009). Apesar da chuva não ser o único fator que influencia no potencial erosivo de um ambiente, na carência de outras informações e na necessidade de se avaliar os processos erosivos em dadas regiões, esta análise da erosividade da chuva é importante para gerar conhecimento e informações para áreas críticas.

No estado do Pará, o município de Rondon do Pará, localizado no sudeste paraense, tem se destacado nos últimos anos, especialmente em 2015, em função dos processos erosivos recorrentes na área urbana. Assim, este foi escolhido para a área de interesse deste estudo devido às suas peculiaridades e seu histórico de problemas associados à perda de solo.

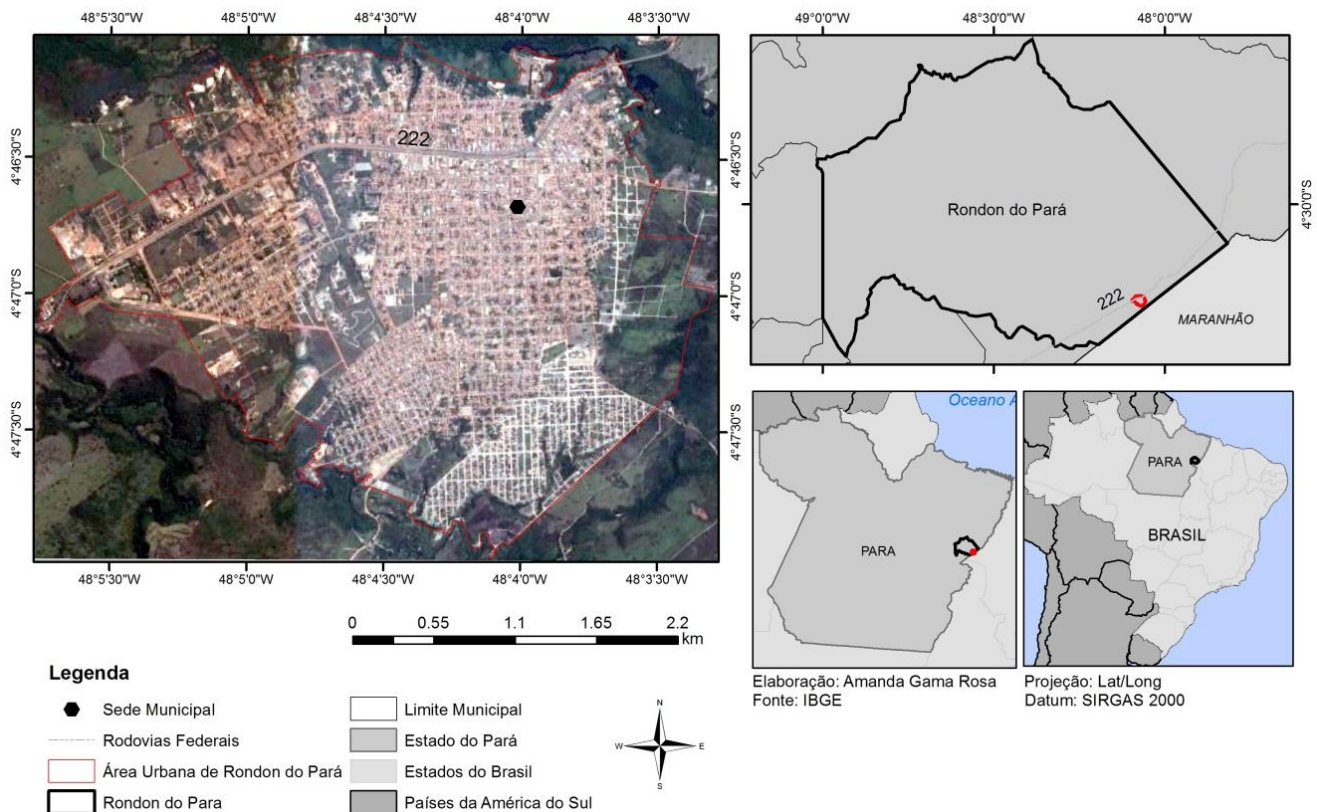
A carência de informações sobre a erosividade da chuva na região de estudo constitui, dessa forma, um obstáculo ao planejamento de controle da erosão e ao manejo racional dos solos locais. Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo determinar o fator erosividade da chuva para a área urbana do município de Rondon do Pará. Para isso, as seguintes metas devem ser alcançadas: (a) projeções da erosividade da chuva na região para os próximos 20 anos; (b) análise da distribuição anual, sazonal e mensal do índice de erosividade, e (c) correlação do índice de erosividade médio mensal com o coeficiente de chuva local.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Caracterização da área e do material de estudo

Localizada na região norte do território brasileiro, a área de estudo compreende a área urbana do município de Rondon do Pará/PA, localizado na latitude 4°46'34''S e longitude 48°04'02''W (Figura 1). A precipitação média anual é de 1.710 mm e o tipo climático predominante na região é Aw, de acordo com critérios de Köppen, caracterizado por um clima tropical chuvoso. O ano hidrológico da região começa em outubro com a estação chuvosa e termina em setembro, com o fim da estiagem (CPRM, 2015).

Os processos erosivos, naturais de evolução geomorfológica na região, que está localizada no Domínio de Colinas Dissecadas e Morros Baixos e possui relevo de baixo platô, com amplitude média de 95 metros e bordas relativamente íngremes, e solos muito profundos, friáveis e com alta erodibilidade (Latossolo amarelo), se intensificam entre novembro e maio, período de grande precipitação na região, influenciados também pela concentração de águas pluviais em galerias subterrâneas que deságuam em poucos pontos na cidade (CPRM, 2015).

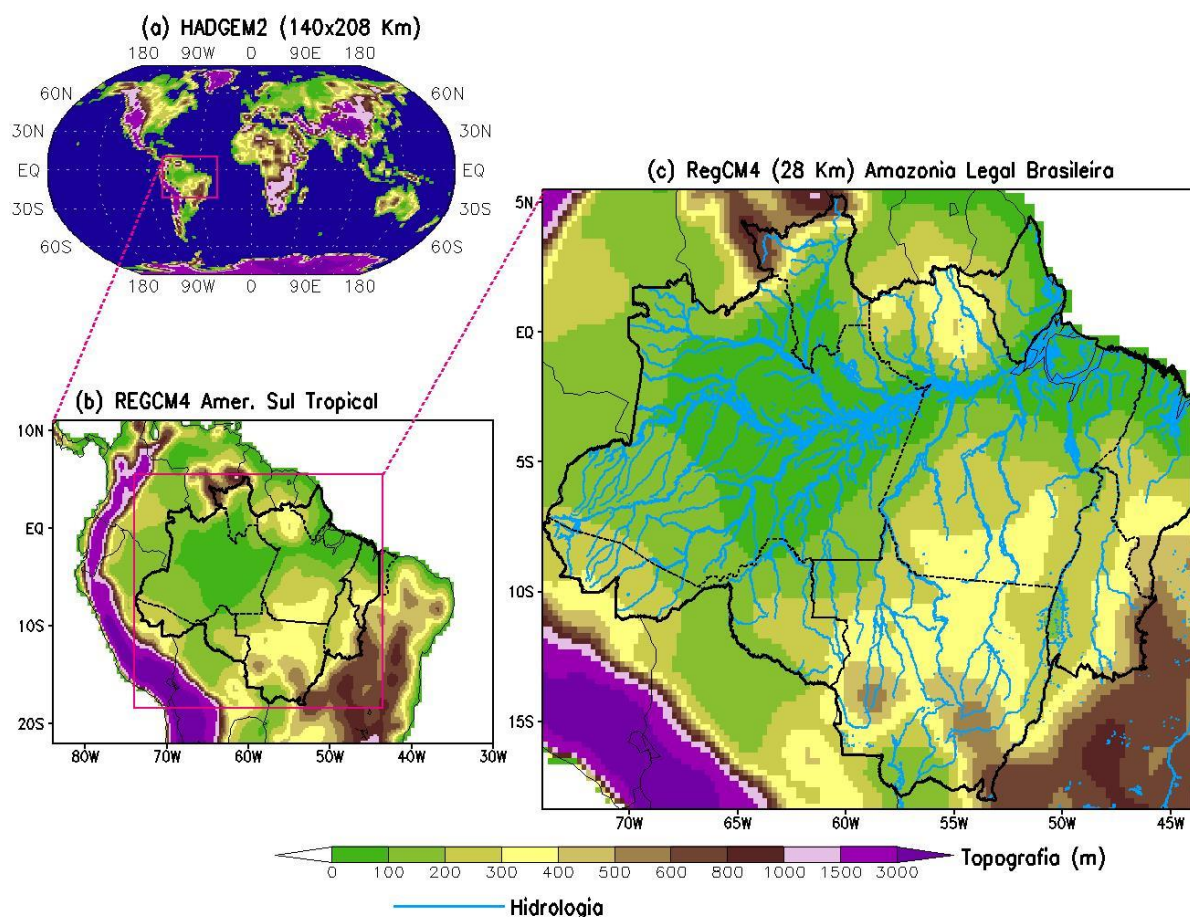


**Figura 1.** Localização da área de estudo.

Na metodologia foram utilizados dados observados de precipitação adquiridos a partir dos satélites CMORPH (Climate Prediction Center morphing method) para a posterior determinação da erosividade da chuva. Os dados de chuva do CMORPH (disponíveis em <ftp.cpc.ncep.noaa.gov/>), com séries a partir de 1998, além de fornecer dados espaciais satisfatórios com resolução espacial de 64 km<sup>2</sup>, apresenta bastante confiabilidade quantitativa, como foi comprovado em diversos estudos (Sodré e Rodrigues, 2013; Araújo e Guetter, 2007). Neste trabalho foram utilizados dados entre os anos de 1999 e 2015 provenientes de um quadrante do município que inclui a área urbana entre as latitudes 4°S e 5°S e entre as longitudes 48°W e 49°W. Para esta tarefa obteve-se o auxílio do software GrADS 2.0.

Embora a maioria dos estudos faça uso de períodos de dados de precipitação mais longos, geralmente maior de 20 anos (Dias e Silva, 2003; Colodro et al., 2002; Bazzano et al., 2010; Hickmann et al., 2008; Cassol et al., 2008), conforme sugerido por Wischmeier & Smith (1978), utilizou-se essa série de dados de 17 anos em função da indisponibilidade de dados mais antigos.

Na determinação da erosividade da chuva para o clima futuro, foram usados os dados fornecidos pelo Sistema de Modelagem Climática Regional - RegCM4 (Giorgi et al., 2012). A simulação climática regional na resolução de 28 km sobre o domínio da Amazônia foi conduzida por De Souza et al. (2016) usando o RegCM4 aninhado as condições de contorno do modelo global HADGEM2 para o cenário RCP 4.5 que é considerado como cenário intermediário de emissões globais com forçante radiativa de aproximadamente 4.5W/m<sup>2</sup> (~650 ppm de CO<sub>2</sub>) até o ano de 2100 (Figura 2). Assim, os dados de precipitação gerados pelo RegCM4 para o quadrante da região de Rondon do Pará foram extraídos para o período de 2016 a 2035.



**Figura 2.** Domínios dos modelos: (a) global HadGEM2 (resolução 140 x 208 km) e (b) regional RegCM4 (resolução 28 x 28 km) sobre a América do Sul tropical com o destaque para (c) a região da Amazônia Legal Brasileira. As cores representam a topografia (m) e as isolinhas azuis mostram a hidrologia (rios principais).

**Fonte:** De Souza et al. (2016).

Este Sistema de Modelagem Climática Regional utiliza dados de precipitação gerados através do sistema de análise de dados observacionais do “Climate Prediction Center” (CPC, USA). Os dados de chuva do CPC consistem de médias mensais disponíveis numa grade sobre o Brasil com resolução horizontal de 55 km, e são baseados inteiramente nos registros das estações de superfície da rede meteorológica nacional e estadual. Os detalhes sobre a técnica de análise objetiva e interpolação empregados na geração destes dados encontram-se em Chen et al. (2008). Estudos anteriores demonstraram ótima consistência e correspondência entre os dados do CPC e dados derivados de estações convencionais individuais e estimativas de satélite sobre a região da Amazônia (Silva et al., 2007; De Souza et al., 2009).

## 2.2. Determinação dos índices de erosividade

Um dos primeiros estudos acerca da erosividade foi o realizado por Wischmeier e Smith (1958), posteriormente modificado por Foster et al. (1981), os quais propuseram um índice de erosividade da chuva denominado  $EI_{30}$ , definido como o produto da energia cinética da chuva pela intensidade máxima ocorrida em um período de 30 minutos. Porém, em função da dificuldade de obtenção de registros e do grande trabalho no processamento dos dados, outros autores, como Silva (2004), propuseram uma metodologia que permite estimar a erosividade da chuva para cada mês usando dados diários e mensais de precipitação.

Silva (2004) sugeriu que o país fosse dividido em oito regiões homogêneas em termos de precipitação, as quais possuiriam equações específicas para cada realidade. A área de interesse deste trabalho está incluída na região dois desta divisão, que possui método estabelecido por Moraes et al. (1991) representado pela Equação 1.

$$R_x = 36,849 \left(\frac{M_x^2}{P}\right)^{1,0852} \quad (1)$$

em que:

R<sub>x</sub> = erosividade da chuva para cada mês;

M<sub>x</sub> = precipitação média mensal; e

P = precipitação média anual.

Assim, foram calculados índices de erosividade para os 17 anos de dados, 1999 a 2015, gerando índices mensais, que foram somados, originando o índice de erosividade anual para a área de estudo. A erosividade prevista para os anos de 2016 a 2035 foi determinada pela mesma metodologia. O valor final classificou a região dentre as classes de erosividade de acordo com a Tabela 1.

**Tabela 1.** Classificação do Índice de Erosividade Anual (R).

Erosividade (MJ mm ano <sup>-1</sup> ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )	Classe de Erosividade
R ≤ 2452	Baixa erosividade
2452 < R ≤ 4905	Média erosividade
4905 < R ≤ 7357	Média-alta erosividade
7357 < R ≤ 9810	Alta erosividade
R > 9810	Muito Alta erosividade

Fonte: Carvalho (1994), modificado de Foster et al. (1981).

### 2.3. Probabilidade de ocorrência e período de retorno do índice de erosividade

Nas análises de probabilidade de ocorrência e do período de retorno do índice de erosividade determinados para os anos de 1999 a 2015, foram usadas a lei de probabilidade logarítmica e a teoria de valores extremos (Schwab et al., 1981). O período de retorno e a probabilidade de ocorrência foram obtidos pelas Equações 2 e 3.

$$T = (N + 1)/m \quad (2)$$

em que:

T é o período de retorno, no qual o índice de erosividade é igualado ou superado;

N é o número de anos de registro de dados, e

m é o número de ordem do índice de erosividade, quando a série de dados de erosividade é colocada em ordem decrescente de magnitude.

$$Pr = 100/T \quad (3)$$

em que:

Pr é a probabilidade de ocorrência, e

T é o tempo de retorno.

Utilizou-se o programa OriginPro 8.0 como auxílio na confecção do gráfico da plotagem dos valores determinados das probabilidades de ocorrência, dos períodos de retorno e da curva de distribuição de probabilidade.

#### **2.4. Distribuição anual e mensal da percentagem acumulada da erosividade**

Os valores dos índices de erosividade médios mensais foram divididos pelo seu valor médio anual, obtendo-se os respectivos valores relativos mensais. Esses valores, modificados para percentagens, representam a percentagem acumulada da erosividade para cada mês do ano, possibilitando a análise da distribuição da erosividade ao longo dos períodos.

#### **2.5. Correlação entre a precipitação e o índice de erosividade**

Utilizando os dados pluviométricos de 1999 a 2015, e de 2016 a 2035, para cada mês do ano, foi calculado o coeficiente de chuva, por meio do método proposto por Lombardi Neto (1977), cuja expressão é dada pela Equação 4.

$$Rc = Pm^2/Pa \quad (4)$$

em que:

Rc é o coeficiente de chuva em mm;

Pm é a precipitação média mensal em mm, e

Pa é a precipitação média anual.

Os valores dos coeficientes de chuva foram correlacionados com os valores de erosividades por meio de regressão, visando identificar relação entre a precipitação e a ocorrência de processos erosivos.

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

O fator erosividade da chuva (R) determinado para Rondon do Pará (PA), com base nos dados de precipitação observados (1999 a 2015), foi de 16.390 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, com desvio padrão de 3.640 e coeficiente de variação de 22%, classificando a região em área de muito alta erosividade. Com base nos dados de precipitação por modelagem, nos anos de 2016 a 2035, obteve-se um fator de erosividade de 13.038 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, com desvio padrão de 2.239 e coeficiente de variação de 17%, mantendo a classificação de muito alta erosividade (Tabela 2 e Figura 3). Estes valores do fator erosividade encontrados enquadram-se na faixa de variação de 3.116 a 20.035 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, encontrada por Silva (2004) através do mapa de erosividade da chuva para o Brasil.

A variação observada nas curvas de erosividade anual nos dois períodos (Figura 3) se dá em função das pequenas distinções na estimativa de dados de precipitação nas duas séries, sendo uma série originada de dados observados (CMORPH) e outra resultante de dados de modelagem (RegCM4).

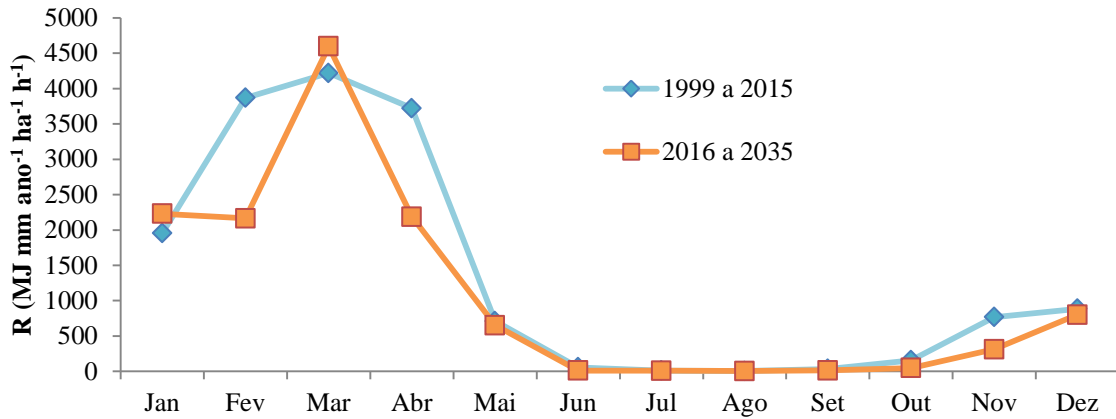
Os valores dos fatores de erosividade da chuva encontrados para Rondon do Pará foram significativamente superiores aos encontrados para outras regiões do Brasil, como o encontrado para Teodoro Sampaio (SP) (7.172 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) por Colodro et al. (2002), para Rio Grande (RS) (5.135 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) por Bazzano et al. (2010), para



Barranquinho (MT) ( $8.493 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) por Moraes et al. (1991), para Fortaleza (CE) ( $6.774 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) por Dias & Silva (2003), para Goiânia (GO) ( $8.355 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) por Silva et al. (1997), e para Uruguaiana (RS) ( $8.875 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ), por Hickmann (2008). Os fatores de erosividade apresentados nos trabalhos citados, possivelmente, se mostram discrepantes, comparados ao valor encontrado neste trabalho, devido à grande distinção climática com a área de estudo deste trabalho. Entretanto, não há grande disponibilidade de estudos de erosividade para a região norte do país, dificultando a discussão dos resultados com trabalhos semelhantes na região.

**Tabela 2.** Distribuição média mensal da precipitação, da erosividade absoluta e relativa e do coeficiente de chuva de Rondon do Pará (PA), nos períodos de 1999 a 2015, e 2016 a 2035.

Total Mensal					
Ano	Mês	Prp (mm)	Erosividade ( $\text{MJ mm ano}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ )	Erosividade Relativa (%)	Coef. de Chuva – Rc (mm)
1999 a 2015	Jan	245,94	1952,60	11,91	35,36
	Fev	315,82	3867,55	23,60	58,31
	Mar	340,41	4218,22	25,74	67,75
	Abr	294,65	3720,82	22,70	50,75
	Mai	122,53	711,99	4,34	8,78
	Jun	21,88	56,96	0,35	0,28
	Jul	13,88	11,85	0,07	0,11
	Ago	7,06	5,10	0,03	0,03
	Set	18,88	34,03	0,21	0,21
	Out	54,65	156,71	0,96	1,75
	Nov	132,71	768,52	4,69	10,30
	Dez	142,12	885,69	5,40	11,81
<b>Total anual</b>		<b>1710,53</b>	<b>16390,04</b>	<b>100,00</b>	<b>-</b>
2016 a 2035	Jan	262,57	2228,66	17,09	40,80
	Fev	265,48	2165,12	16,61	41,71
	Mar	372,16	4596,90	35,26	81,97
	Abr	256,05	2186,98	16,77	38,80
	Mai	145,24	652,25	5,00	12,48
	Jun	16,35	12,03	0,09	0,16
	Jul	17,83	10,55	0,08	0,19
	Ago	13,80	6,33	0,05	0,11
	Set	25,80	14,62	0,11	0,39
	Out	46,50	49,22	0,38	1,28
	Nov	108	313,90	2,41	6,90
	Dez	159,96	801,46	6,15	15,14
<b>Total anual</b>		<b>1689,72</b>	<b>13038,01</b>	<b>100,00</b>	<b>-</b>



**Figura 3.** Distribuição do fator erosividade (R) médio anual para os períodos de 1999 a 2015 (dados observados) e 2016 a 2035 (dados de modelagem).

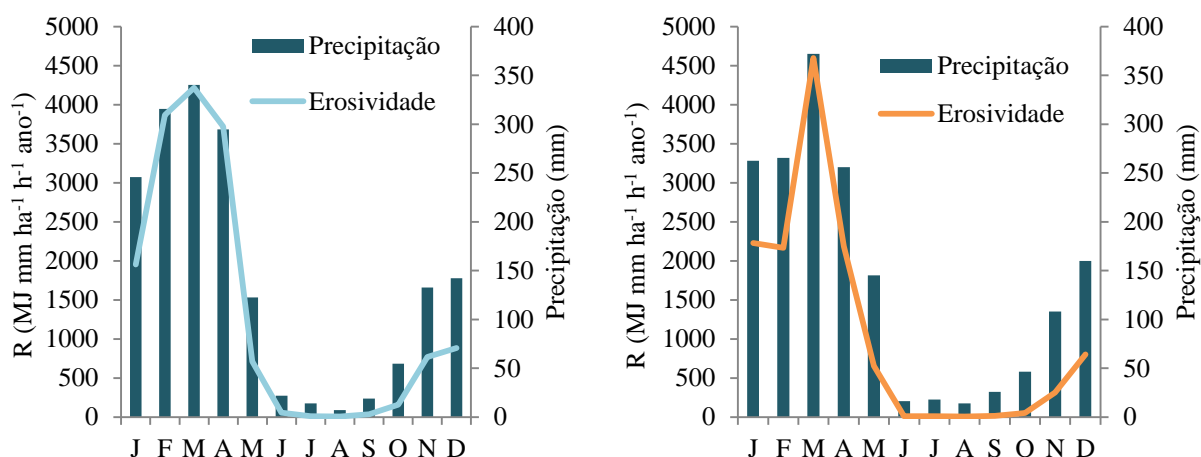
Valores de erosividade da chuva semelhantes foram encontrados por Oliveira Jr. e Medina (1990) em Manaus (AM), com índice de  $14.129 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , e por Oliveira Jr. (1996) em Conceição do Araguaia (PA), com índice de  $11.487 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . O valor mais próximo era esperado em função da semelhança da distribuição anual e das características da precipitação na região norte. Valores próximos foram encontrados também por Silva et al. (2010) para São Domingos do Prata (MG) ( $13.145 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ), Santo Antônio do Itambé (MG) ( $15.280 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) e Belo Oriente (MG) ( $12.919 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ).

Considerando os valores relativos da erosividade mensal entre os anos de 1999 a 2015, verifica-se que no semestre de novembro a abril ocorre 94,04% da erosividade anual, sendo o trimestre fevereiro-março-abril o de maior recorrência, com 72,04% da erosividade anual, valor compatível com a distribuição da precipitação na região, indicando que neste período é provável que tenha ocorrido a maior parte das perdas anuais de solo por erosão em Rondon do Pará. Tal comportamento da distribuição da erosividade também é observado entre os anos 2016 e 2035, com os dados de modelagem climática (Tabela 2). Para esta segunda série de dados, o semestre de maior ocorrência da erosividade anual foi de dezembro a maio, com 96,88 %, sendo o quadrimestre janeiro-fevereiro-março-abril o de maior destaque, ocorrendo 85,73 % da erosividade anual. Embora a variação nos valores mensais da precipitação e suas características possam explicar grande parte das variações na erosividade (Bazzano et al., 2010), é importante destacar que estes não são os únicos fatores influentes dos processos erosivos, a exemplo da geologia, pedologia, relevo e o uso do solo (Silva e Machado, 2014).

Outros trabalhos na literatura elaboraram uma análise da erosividade relativa, como Colodro et al. (2002) para Teodoro Sampaio (SP), Roque et al. (2001) para Pirajú (SP), Lombardi Neto (1977) para Campinas (SP), Pereira (1983) para Piracicaba (SP), entre outros. Esses autores definiram como o semestre de maior potencial de erosividade, o de outubro a março, coerente para o estado de São Paulo, enquanto que para Rondon do Pará (PA), este foi de novembro a abril. Apesar da diferença de um mês no intervalo do semestre com maior potencial de erosividade anual, é válida uma comparação entre os seus resultados, a fim de discutir o comportamento da erosividade anual do município de Rondon do Pará. Em termos absolutos, o valor de erosividade para o semestre de maior potencial foi de 15.413, 6.047, 5.545, 5.307 e 4.933  $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , respectivamente, para Rondon do Pará (1999 a 2015), Campinas, Pirajú, Teodoro Sampaio e Piracicaba. Em termos relativos, a erosividade foi de 94,04; 90,7; 86,1; 78,5 e 74,0%, para Rondon do Pará, Campinas, Piracicaba, Pirajú e Teodoro Sampaio, respectivamente. Com base nesta análise, pode-se concluir que tanto em termos absolutos como relativos eram prováveis maiores perdas de solo por erosão em

Rondon do Pará quando comparadas às dos outros municípios em questão, o que indica maiores necessidades de cuidados com a proteção do solo.

A Figura 4 indica haver uma conformidade entre as distribuições médias mensais do fator erosividade e precipitação, entre os anos de 1999 a 2015, do município de Rondon do Pará. Observa-se que a erosividade média anual para a área de estudo é de  $16.390 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , para uma precipitação média de  $1710,53 \text{ mm ano}^{-1}$ , estando os meses com maiores precipitações associados com os meses de maior erosividade, reforçando a ideia do efeito preponderante da intensidade da precipitação em caracterizar o potencial erosivo. O mesmo comportamento é verificado na série de dados de 2016 a 2035. Esta harmonia entre a precipitação e a erosividade pode ser encontrada em outros trabalhos, como o de Oliveira Jr. (1996) para Conceição do Araguaia (PA), de Colodro et al. (2002) para Teodoro Sampaio (SP), de Moraes et al. (1991) para Cárceres (MT) e Corixa (MT), de Roque et al. (2001) para Piraju (SP), e de Hickmann et al. (2008) para Uruguaiana (RS), e de Silva et al. (2010) para a região centro-leste do Estado de Minas Gerais. Bazzano et al. (2010), na análise da erosividade em Rio Grande (RS), encontraram um comportamento distinto, onde em meses de alta precipitação (junho, julho e agosto) foram identificadas baixos índices de erosividade mensais, comparados ao resto do ano.



**Figura 4.** Distribuição do fator erosividade (R) e da precipitação médias anuais de Rondon do Pará (PA) nos períodos de 1999 a 2015 (à esquerda), e 2016 a 2035 (à direita).

Os valores do período de retorno e da probabilidade de ocorrência determinados para o maior parâmetro de erosividade anual observado ( $23.880 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , em 2002) foram de 18 anos e 5,6%, respectivamente (Tabela 3). Os períodos de retorno e probabilidade de ocorrência para o menor valor de erosividade ( $10.110 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , em 2012) foram, respectivamente, 1,1 anos e 94,4%. Assim, espera-se que ocorra na área de estudo, com uma probabilidade de 5,6%, um valor de erosividade anual igual ou superior a  $23.880 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  pelo menos uma vez a cada 18 anos, e que, com uma probabilidade de 94,4%, ocorra um valor de erosividade igual ou superior a  $10.110 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  pelo menos uma vez a cada 1,1 ano, em ambos os casos, classificando a região como de muito alta erosividade. Para a análise do período de retorno e da probabilidade de ocorrência foram utilizados apenas os dados de 1999 a 2015, devido serem resultantes de séries observadas.

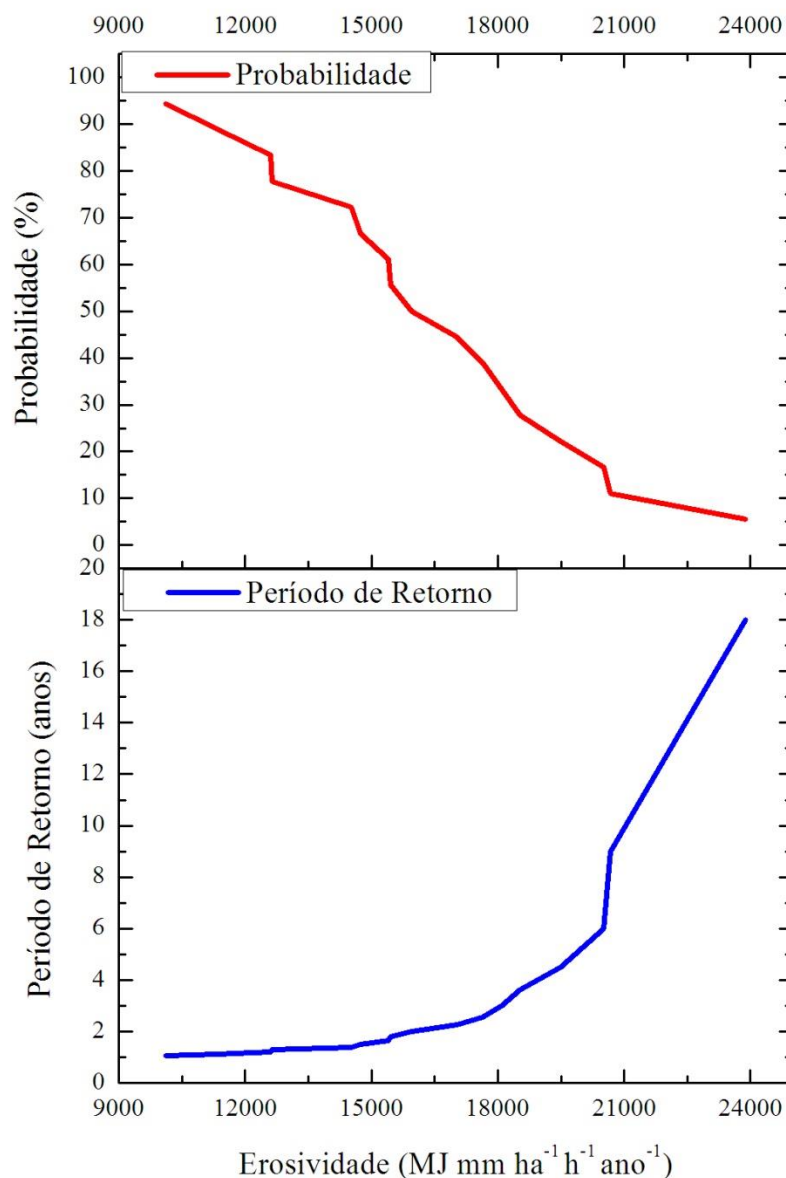
Para um período de análise de 20 anos, em Fortaleza (CE), Dias e Silva (2003) encontraram valor máximo ( $12.881 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) e mínimo ( $2.237 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) da erosividade anual, com períodos de retorno de 21 e 1,05 anos, e probabilidades de ocorrência de 4,8% e 95,2%, respectivamente. Para um período de 23 anos de dados, Roque et al. (2001), em Piraju (SP), encontraram um valor máximo de  $12.940 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  e

mínimo de 3.624 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de erosividade anual, com período de retorno e probabilidades de ocorrência iguais a 24 anos e 4,2% para o máximo, e 1,04 anos e 96,2% para o mínimo. Seguramente, tanto os períodos de estudo diferentes da análise como as diferenças climáticas entre o Pará, o Ceará e São Paulo, condicionaram valores superiores de erosividade encontrada para o município de Rondon do Pará (PA).

O período de retorno do fator erosividade da chuva (R) do município de Rondon do Pará (16.390 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) foi de aproximadamente 2,1 anos, equivalentes a uma probabilidade de ocorrência de 47% (valores obtidos da Figura 5). Esse valor foi próximo daqueles obtidos para os fatores R de Teodoro Sampaio (SP) (2,33 anos) por Colodro et al. (2002), de Campinas (SP) (2,1 anos) por Lombardi Neto (1977), de Piraju (SP) (2,3 anos) por Roque et al. (2001), de Piracicaba (SP) (2,1 anos) por Pereira (1983), de Fortaleza (CE) (2,2 anos) por Dias e Silva (2003), e de Conceição do Araguaia (PA) (2,7 anos) por Oliveira Jr. (1996). Conclui-se, portanto, ser possível ocorrer no município, em uma probabilidade de 47% um valor de erosividade anual igual ou superior ao fator R calculado, pelo menos uma vez a cada 2,1 anos. A leitura dessa curva (Figura 5) permite estimar os períodos de retorno e probabilidades de ocorrência para diferentes valores de erosividade.

**Tabela 3.** Probabilidade de ocorrência e período de retorno dos valores anuais de erosividade de Rondon do Pará (PA) no período de 1999 a 2015.

Ano	Erosividade (MJ mm ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	Número de Ordem, m	Período de Retorno, T (anos)	Probabilidade, Pr (%)
2002	23.880	1	18,0	5,6
1999	20.677	2	9,0	11,1
2009	20.513	3	6,0	16,7
2014	19.492	4	4,5	22,2
2015	18.522	5	3,6	27,8
2007	18.089	6	3,0	33,3
2006	17.648	7	2,6	38,9
2001	17.036	8	2,3	44,4
2005	15.955	9	2,0	50,0
2003	15.458	10	1,8	55,6
2008	15.402	11	1,6	61,1
2004	14.737	12	1,5	66,7
2011	14.516	13	1,4	72,2
2013	12.639	14	1,3	77,8
2010	12.608	15	1,2	83,3
2000	11.350	16	1,1	88,9
2012	10.110	17	1,1	94,4
DP	3.640			
CV %	22			

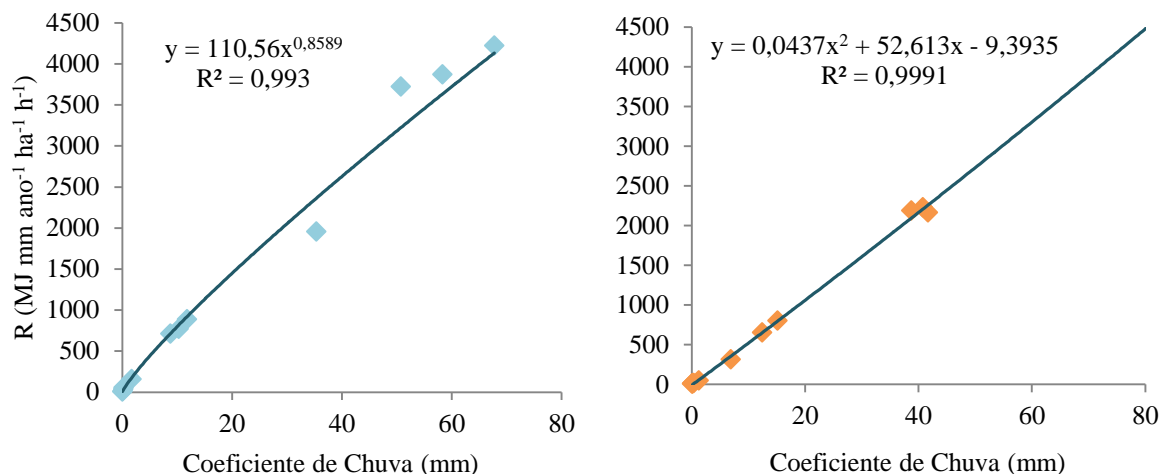


**Figura 5.** Curva de probabilidade de ocorrência e período de retorno da erosividade anual de Rondon do Pará (PA) no período de 1999 a 2015.

A Figura 6 apresenta a curva de regressão entre o índice de erosividade médio mensal e o coeficiente de chuva para Rondon do Pará para a série de dados observados (1999 a 2015) e para a série de dados oriundos de modelagem (2016 a 2015).

Rondon do Pará apresentou elevada correlação entre o fator erosividade médio mensal e o coeficiente de chuva. Isto indica que a erosividade mensal das chuvas no município pode ser estimada utilizando dados de precipitação. O modelo matemático que apresentou a melhor correlação foi o de potência para o período de 1999 a 2015, ( $r^2 = 0,993$ ), conforme a equação (Figura 6), concordando com os resultados de Roque et al. (2001) para Piraju (SP), de Lombardi Neto (1977) para Campinas (SP), de Pereira (1983) para Piracicaba, dentre outros. Por outro lado, contrastou com os dados de Colodro et al. (2002) e Rufino et al. (1993), nos quais a relação linear apresentou maior correlação, e com os dados de Hickmann et al. (2008),

onde a relação quadrática apresentou melhor correlação. Para o período de 2016 a 2035, o modelo matemático que apresentou melhor correlação foi o de polinômio ( $r^2 = 0,9991$ ), de acordo com a equação (Figura 6), embora a relação linear também tenha apresentado elevada correlação entre os dados.



**Figura 6.** Curva de regressão entre a erosividade média mensal (R) e o coeficiente de chuva de Rondon do Pará (PA) nos períodos de 1999 a 2015 (a esquerda), e de 2016 a 2035 (a direita).

**Fonte:** Autores.

#### 4. CONCLUSÕES

Os fatores erosividade da chuva para o município de Rondon do Pará (PA) foram de 16.390 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> no período de 1999 a 2015, e 13.038 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> no período de 2016 a 2035. O fator 16.390 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, que revela uma probabilidade de ocorrência de 47%, pode ser igualado ou superado pelo menos uma vez a cada 2,1 anos. Os índices de erosividade anual foram considerados muito altos, estabelecendo cenários críticos para o planejamento de práticas conservacionistas do solo e da água.

Nos meses de fevereiro, março e abril, observou-se uma distribuição de 72,04 % do total na erosividade anual para o período de 1999 a 2015, indicando que, neste período, era provável que ocorresse a maior parte das perdas anuais de solo por erosão. Para o período de dados de 2016 a 2035, os meses de janeiro, fevereiro, março e abril foram os que mais se destacaram na distribuição da erosividade, ocorrendo 85,73 % do total na erosividade anual.

O modelo matemático que apresentou a melhor correlação entre a erosividade média mensal e o coeficiente de chuva foi o de potência para os anos de 1999 a 2015 e o de polinômio para os anos de 2016 a 2035.

#### 5. REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, N. A.; GUETTER, A. K. Validação da chuva estimada por satélite “CMORPH” na modelagem hidrológica do Alto Iguaçu. **RBRH**, v. 12, n. 3, p. 189-198, 2007.
- BAZZANO, M. G. P.; ELTZ, F. L. F.; CASSOL, E. A. Erosividade e características hidrológicas das chuvas de Rio Grande (RS). **R Bras Ci Solo**, v. 34, p. 235-244, 2010. <http://hdl.handle.net/10183/80298>

- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone; 1990.
- BROWN, L. R. The global loss of topsoil. **J Soil Water Conserv**, v. 39, p. 162-165, 1984.
- CARVALHO, D. F.; CRUZ, E. S.; PINTO, M. F.; SILVA, L. D. B.; GUERRA, J. G. M. Características da chuva e perdas por erosão sob diferentes práticas de manejo do solo. **R Bras Eng Agríc Ambiental**, v. 13, n. 1, p. 3-9, 2009.
- CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia Prática**. Rio de Janeiro: CPRM, 1994.
- CASSOL, E. A.; ELTZ, F. L. F.; MARTINS, D.; LEMOS, A. M.; LIMA, V. S.; BUENO, A. C. Erosividade, padrões hidrológicos, período de retorno e probabilidade de ocorrência das chuvas em São Borja, RS. **R Bras Ci Solo**, v. 32, p. 1239-1251, 2008. <http://hdl.handle.net/10183/79905>
- CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ESTUDOS E PESQUISAS SOBRE DESASTRES - CEPED. **Atlas brasileiro de desastres naturais: 1991-2012**. Volume Pará. 2. ed. rev., ampl. Florianópolis: CEPED UFSC, 2013.
- CHEN, M.; SHI, W.; XIE, P. Assessing objective techniques for gauge-based analyses of global daily precipitation. **J Geophys Research**, v. 113, p. D04110, 2008. <http://dx.doi.org/10.1029/2007JD009132>
- COLODRO, G.; CARVALHO, M. P.; ROQUE, C. G.; PRADO, R. M. Erosividade da Chuva: Distribuição e correlação com a precipitação pluviométrica de Teodoro Sampaio (SP). **R Bras Ci Solo**, v. 26, p. 809-818, 2002. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832002000300027>
- COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS - CPRM. **Ação emergencial para delimitação de áreas em alto e muito alto risco a enchentes e movimentos de massa – Rondon do Pará, Pará**. Belém, 2015.
- DE SOUZA, E. B.; CARMO, A. M. C.; MORAES, B. C.; NACIF, A.; FERREIRA, D. B. S.; ROCHA, E. J. P. et al. Sazonalidade da precipitação sobre a Amazônia Legal Brasileira: clima atual e projeções futuras usando o modelo RegCM4. **R Brasil Climatologia**, 2016 (in press). <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v18i0.43711>
- DE SOUZA, E. B.; LOPES, M. N. G.; ROCHA, E. J. P.; SOUZA, J. R. S.; CUNHA, A. C.; SILVA, R. R. et al. Precipitação climatológica sobre a Amazônia oriental durante o período chuvoso: observações e simulações regionais com o RegCM3. **R Bras Meteorol**, v. 24, n. 2, p. 111-124, 2009. <http://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/2190>
- DIAS, A. S.; SILVA, J. R. C. A Erosividade das chuvas em Fortaleza (CE). I – distribuição, probabilidade de ocorrência e período de retorno – primeira aproximação. **R Bras Ci Solo**, v. 27, p. 335-345, 2003.
- FOSTER, G. R.; MCCOOL, D. K.; RENARD, K. G.; MOLDENHAUER, W. C. Conversion of the universal soil loss equation to SI units. **J Soil Water Conserv**, v. 36, p. 355-359, 1981.
- GIORGI, F.; COPPOLA, E.; SOLMON, F.; MARIOTTI, L.; SYLLA, M.; BI, X. et al. RegCM4: model description and preliminary tests over multiple CORDEX domains. **Climate Research**, v. 52, p. 7-29, 2012. <http://dx.doi.org/10.3354/cr01018>

- HICKMANN, C.; ELTZ, F. L. F.; CASSOL, E. A.; COGO, C. M. Erosividade das chuvas em Uruguaiana, RS, determinada pelo Índice EI<sub>30</sub>, com base no período de 1963 a 1991. **R Bras Ci Solo**, v. 32, p. 825-831, 2008. <http://hdl.handle.net/10183/107075>
- LOMBARDI NETO, F. **Rainfall erosivity – Its distribution and relationship with soil loss at Campinas, Brasil**. 1977. 53f. Dissertação (Mestrado em Agronomy) - Purdue University, West Lafayette, 1977.
- MARQUES, J. J. G. S. M.; ALVARENGA, R. C.; CURI, N.; SANTANA, D. P.; SILVA, M. L. N. Índices de erosividade da chuva, perdas de solo e fator erodibilidade para dois solos da região dos cerrados – primeira aproximação. **R Bras Ci Solo**, v. 21, p. 427-434, 1997.
- MELLO, G.; BUENO, C. R. P.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de perdas de solo, do potencial natural e risco de erosão em áreas intensamente cultivadas. **R Bras Eng Agríc Ambiental**, v. 10, p. 315-322, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662006000200010>
- MORAIS, L. F. B.; SILVA, V.; NASCHENVENG, T. M. C.; HARDOIN, P. C.; ALMEIDA, J. E. L.; WEBER, O. L. S. et al. Índice EI<sub>30</sub> e sua relação com o coeficiente de chuva do sudoeste de Mato Grosso. **R Bras Ci Solo**, v. 15, p. 339-344, 1991.
- OLIVEIRA JR., R. C. **Índice de erosividade das chuvas na região de Conceição do Araguaia, Pará**. Belém: EMBRAPA-CPATU; 1996. (Boletim de Pesquisa, n° 165).
- OLIVEIRA JR., R.; MEDINA, B. F. A erosividade das chuvas em Manaus (AM). **R Bras Ci Solo**, v. 14, p. 235-239, 1990.
- PEREIRA, H. H. G. **Índices de erosividade da chuva: distribuição e relação com a precipitação em Piracicaba – SP**. 1983. 70f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1983.
- ROQUE, C. G.; CARVALHO, M. P.; PRADO, R. M. Fator erosividade da chuva de Piraju (SP): distribuição, probabilidade de ocorrência, período de retorno e correlação com o coeficiente de chuva. **R Bras Ci Solo**, v. 25, p. 147-156, 2001. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832001000100016>
- RUFINO, R.; BISCAIA, R. C. M.; MERTEN, G. Avaliação do potencial erosivo da chuva do Estado do Paraná, através de pluviometria. Terceira Aproximação. **R Bras Ci Solo**, v. 17, p. 439-444, 1993.
- SANTOS, G. S.; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L. F. C. Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica. **R Bras Eng Agríc e Ambiental**, v. 14, n. 2, p. 115-123, 2010.
- SCHWAB, G. O.; FANGMEIER, D. D.; ELLIOT, W. J.; FREVERT, R. K. **Soil and water conservation engineering**. 3. ed. New York: John Wiley & Sons, 1981.
- SILVA, A. M. Rainfall erosivity map for Brazil. **Catena**, v. 57, p. 251-259, 2004. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2003.11.006>
- SILVA, M. L. N.; FREITAS, P. L.; BLANCANEUX, P.; CURI, N. Índice de erosividade de chuva da região de Goiânia (GO). **Pesq Agropec Bras**, v. 32, n. 10, p. 977-985, 1997.



- SILVA, M. A. S.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; SANTOS, G. R.; MARQUES, J. J. G. S. M.; MENEZES, M. D. et al. Avaliação e espacialização da erosividade da chuva no Vale do Rio Doce, Região Centro-Leste do Estado de Minas Gerais. **R Bras Ci Solo**, v. 34, p. 1029-1039, 2010.
- SILVA, V. B. S.; KOUSKY, V. E.; SHI, W.; HIGGINS, R. W. An improved gridded historical daily precipitation analysis for Brazil. **J Hydromet**, v. 8, p. 847-861, 2007. <http://dx.doi.org/10.1175/JHM598.1>
- SILVA, V. C. B.; MACHADO, P. S. SIG na análise ambiental: suscetibilidade erosiva da bacia hidrográfica do Córrego Mutuca, Nova Lima – Minas Gerais. **R Geogr**, v. 31, n. 2, p. 66-87, 2014.
- SODRÉ, G. R. C.; RODRIGUES, L. L. M. Comparação entre estimativa da precipitação observada pela técnica CMORPH e estações meteorológicas do INMET em diferentes regiões do Brasil. **R Bras Geog Física**, v. 6, n. 2, p. 301-307, 2013.
- WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning**. Washington: USDA, 1978. (Agricultural Handbook, 537).
- WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Rainfall energy and its relationship to soil loss. **Trans Am Geophys**, v. 39, p. 285-291, 1958. <http://dx.doi.org/10.1029/TR039i002p00285>