



Universidade Federal do Oeste do Pará  
Instituto de Ciências e Tecnologia das Águas  
Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental

**POTENCIAL EROSIVO DAS CHUVAS E QUALIDADE DA ÁGUA DRENADA SOB  
DIFERENTES COBERTURAS DE SOLO EM SIMULADOR PORTÁTIL**

**SAMÁRIA LETÍCIA CARVALHO SILVA ROCHA**

**Santarém-Pará**

**2018**

**SAMÁRIA LETÍCIA CARVALHO SILVA ROCHA**

**POTENCIAL EROSIVO DAS CHUVAS E QUALIDADE DA ÁGUA DRENADA SOB  
DIFERENTES COBERTURAS DE SOLO EM SIMULADOR PORTÁTIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal do Oeste do Pará como requisito de obtenção do grau de Bacharela em Engenharia Sanitária e Ambiental.

**Área de concentração:**

Avaliação de Impactos ambientais

**Orientador (a):**

Iracenir Andrade Dos Santos

**Co-orientadores (a):**

Lucieta Guerreiro Martorano e José Reinaldo Pacheco Peleja

**Santarém-Pará**

**2018**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**Sistema Integrado Bibliotecas – SIBI/UFOPA**

---

R672p Rocha, Samária Letícia Carvalho Silva  
Potencial erosivo das chuvas e qualidade da água drenada sob diferentes coberturas de solo em simulador portátil / Samária Letícia Carvalho Silva Rocha. – Santarém: UFOPA, 2018.  
51 f.: il.  
Inclui bibliografias.

Orientadora: Iracenir Andrade dos Santos  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Oeste do Pará, Instituto de Ciências e Tecnologia das Águas, Curso de Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental.

1. Erosividade. 2. Precipitação pluvial. 3. Simulação. I. Santos, Iracenir Andrade dos, *orient.* II. Título.

CDD: 23 ed. 363.7

---

## FOLHA DE AVALIAÇÃO

**Nome do Autor:** Samária Letícia Carvalho Silva Rocha

**TÍTULO: POTENCIAL EROSIVO DAS CHUVAS E QUALIDADE DA ÁGUA DRENADA SOB DIFERENTES COBERTURAS DE SOLO EM SIMULADOR PORTÁTIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal do Oeste do Pará, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Data da aprovação: 13/04/2018

### **Banca Examinadora**

\_\_\_\_\_ Orientador e presidente

Iracenir Andrade Dos Santos

Docente doutora do Centro de Formação Interdisciplinar. Universidade Federal do Oeste do Pará

\_\_\_\_\_ Membro titular

Professor Dr. Israel Nunes Henrique

Docente Doutor do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental (ICTA). Universidade Federal do Oeste do Pará

\_\_\_\_\_ Membro titular

Jorge Ivan Rebelo Porto

Pesquisador Doutor do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA)

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela força, coragem e perseverança para conquistar meus objetivos e, acima de tudo pela vida que me concedeu até o presente momento.

Agradeço a minha Orientadora Iracenir Andrade Dos Santos pela orientação e fundamental contribuição neste trabalho, pelos encaminhamentos, apoio e incentivo, e ainda pelos compartilhamentos de conhecimentos durante os três anos que tive a oportunidade de ser bolsista PET.

Agradeço a minha Co-orientadora Lucieta Guerreiro Martorano por ter me ensinado a cada segundo durante os momentos que estive ao seu lado, o que é difícil descrever em palavras, todo amor, dedicação, carinho e contribuição neste trabalho.

Agradeço ao meu Co-orientador Professor José Reinaldo P. Peleja pela contribuição neste trabalho, pelo apoio no estágio supervisionado e análises de água.

Agradeço aos meus pais pelos exemplos de vida e ensinamentos.

Agradeço ao meu esposo pela compreensão, amor, paciência, ajuda nas tarefas diárias de casa durante esses cinco anos.

Agradeço a minha tia, irmãs e amigos que sempre me encorajaram para lutar pelos meus objetivos na vida.

Ao Laboratório de Biologia Ambiental pelo apoio e suporte nas análises de água, em nome do professor José Reinaldo P. Peleja e também aos técnicos Flávia e Edivaldo.

À Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), que se instalou no interior da Amazônia, dando a oportunidade de cursar esta graduação.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) pelo apoio e suporte de campo durante o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Programa de Educação Tutorial Conexões de Saberes de Estudos Interdisciplinares: Comunidades do Campo e a tutora Iracenir Andrade Dos Santos pelo aprendizado durante os últimos cinco semestres do curso, e aos meus colegas PETianos pela vivência e compartilhamento de saberes.

Aos professores Pablo Pires, Mário Brasil e Professora Raquel (CENAPET).

A direção, professores e estudantes da Escola Waldemar Maués pelo apoio durante o experimento em Belterra.

A todos os professores que deram o melhor de si em suas aulas durante todo o curso de graduação.

Aos colegas que colaboraram na montagem do simulador (Luis, Arcenor e Raimundo), durante as coletas de campo e análise em laboratório de Agrometeorologia na EMBRAPA (José Reinaldo, Deyvielen, Eudilene) e de águas na UFOPA (Rosângela, Júlia e Samuel). E a todos que, de alguma forma, apoiaram e ou incentivaram/colaboraram para a realização deste trabalho.

## RESUMO

**ROCHA, S. L. C. S. Potencial erosivo das chuvas e qualidade da água drenada sob diferentes coberturas de solo em simulador portátil.** 2018.51f. (Trabalho de Conclusão de Curso). Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal do Oeste do Pará.

A erosão hídrica ocorre em três fases: desagregação, transporte e deposição de sedimentos em áreas mais baixas de um terreno. O objetivo deste trabalho foi estimar o potencial erosivo das chuvas e utilizar o simulador portátil com diferentes coberturas de solo para avaliar indicadores a partir de respostas termográficas e físico-químicas da água sob condições climáticas em Belterra, no estado do Pará. Os dados pluviométricos foram obtidos na base disponível pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), correspondente ao período de 1972 a 2017 e utilizados para estimar a erosividade das chuvas, tanto em escala anual, quanto mensal, onde se avaliou o coeficiente de chuva ( $R_c$ ), a erosividade e o Índice de Anomalia de chuva (IAC). Também, foram analisados dados correspondentes aos meses de janeiro e fevereiro de 2018 para identificar os eventos pluviométricos ocorridos no período de avaliação a campo com o simulador portátil. Durante as simulações, consideraram-se três tipos de eventos de chuva (fraca, moderada e intensa), testando-se os efeitos em três condições: solo exposto, cobertura com gramínea e cobertura com alface. Durante as simulações foram contabilizados o volume de água drenada em cada recipiente do simulador para avaliar as perdas de solução de solo durante as simulações. Contabilizou-se o volume drenado e conservou-se um litro de cada amostra para avaliar em laboratório as características físico-químicas da água. Em câmara termográfica foram registradas imagens no infravermelho próximo no simulador e, em seu entorno. Os padrões térmicos foram tratados em programa computacional (FLIR Tools), coletando-se amostras de diferentes alvos (telhado, área gramada, solo exposto, solo gramínea e com alface). Os resultados evidenciaram que o ano mais chuvoso foi 1985 (3.057,0 mm), e o menos chuvoso foi 1992 (974,2 mm). A erosividade média anual é da ordem de  $13.000 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , indicando alto potencial erosivo em Belterra. Em anos de La Niña em que as anomalias são positivas e as chuvas superam as normais climatológicas os problemas se intensificam devido a erosividade das chuvas. Entre os parâmetros físico-químicos da água analisados após as simulações, verificou-se que os valores mais expressivos foram a presença de cálcio ( $20,8 \text{ mg L}^{-1}$ ), turbidez (1100 UNT), sólidos suspensos ( $4,265 \text{ mg L}^{-1}$ ) e magnésio ( $37,44 \text{ mg L}^{-1}$ ). O simulador de chuva portátil auxiliou na sensibilização de extensionistas, estudantes, professores e produtores rurais que verbalizaram a importância da pesquisa utilizar exemplos práticos para explicar processos complexos como a erosividade das chuvas. Os padrões termográficos evidenciaram na alface a temperatura média foi de  $32,3^\circ\text{C}$ , com reduzida amplitude térmica ao final da simulação ( $0,1^\circ\text{C}$ ). No solo exposto e com gramínea as amplitudes atingiram valores de  $1,8^\circ\text{C}$ , indicando mudanças térmicas bruscas após um evento pluviométrico. Conclui-se que em Belterra o alto potencial erosivo é uma ameaça à conservação do solo. O simulador de chuva portátil auxilia na sensibilização de atores sociais quanto ao problema de perdas por erosão em solo exposto. O diagnóstico termográfico em tempo real possibilita a comparação e a identificação de diferentes processos que ocorrem no momento do impacto da gota da chuva no solo.

**Palavras-chave:** Erosividade. Uso Antrópico. Precipitação Pluvial. Simulação. Sensibilização. Temperatura.

## ABSTRACT

**ROCHA, S. L. C. S. Erosive potential of rainfall and the quality of water drained from different soil covers using a portable simulator.** 2018. 51f. (Undergraduate thesis). Coordination of the undergraduate course in Sanitary and Environmental Engineering, Federal University of Western Pará.

Erosion caused by water occurs in three phases: destruction of soil aggregate structure, transport, and deposition of sediments in topographically lower areas of a landscape. The objective of this research was to estimate the erosive potential of rainfall through the use of a portable simulator incorporating different soil vegetation covers, and subsequently to evaluate the responses of thermographic and physical and chemical indicators under ambient climate conditions in Belterra, State of Pará. Rainfall data from 1972 through 2017 were obtained from the database of the National Institute of Meteorology (INMET), and these data were used to estimate the erosive potential of this rainfall on annual and monthly scales. The rainfall coefficient (Rc), erosivity, and Rainfall Anomaly Index (IAC) were evaluated using these data. Furthermore, rainfall data from the months of January and February 2018 were analyzed in order to identify rainfall events that occurred during the field evaluation period using the portable simulator. During the simulations three types of rainfall events were considered (weak, moderate, and intense), testing the effects under three conditions: exposed soil, soil covered with garden of grass, and soil covered with lettuce. During the simulations the volume of water drained into each recipient of the simulator was quantified in order to evaluate the losses of soil solution, and one liter of this water was retained for laboratory physical and chemical analyses. A thermographic camera was used to take near infrared images in the area near and around the simulator including the simulator roof and the three treatments. The thermal patterns were treated with the FLIR Tools computational program. The results showed that the year 1985 had the highest rainfall (3,057.0 mm), and the year with the least rainfall was 1992 (974.2 mm). Annual average erosivity was on the order of  $13,000 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ year}^{-1}$ , indicating a high erosive potential in Belterra. During La Niña years in which the rainfall anomalies were positive and exceeded climatological norms, problems due to erosion intensified. Among the physical and chemical parameters verified, calcium ( $20.8 \text{ mg L}^{-1}$ ), turbidity (1100 UNT), suspended solids ( $4.265 \text{ mg L}^{-1}$ ), and magnesium ( $37.44 \text{ mg L}^{-1}$ ) were the ones that showed the largest effects. The portable rainfall simulator increased the awareness of the extensionists, students, professors, and farmers that participated in the trials, and allowed them to be able to witness first-hand and verbalize the importance of this research that used practical examples in order to express complex processes such as erosion due to rainfall. The thermal patterns showed that for the lettuce soil cover the average temperature was  $32.3^\circ\text{C}$ , with reduced thermal amplitude of ( $0.1^\circ\text{C}$ ) at the end of the simulation. For the exposed soil and the grass-covered soil the amplitude reached  $1.8^\circ\text{C}$ , thus indicating rapid thermal changes after rainfall events. We conclude that in Belterra there is a high erosive potential which represents a threat to soil conservation. The portable simulator promoted increased awareness of soil loss due to erosion of uncovered soil among diverse social actors. The thermal diagnosis in real-time enabled the comparison and identification of different processes that occur at the moment of raindrop impact on the soil surface.

**Keywords:** Erosivity. Anthropic use. Rainfall. Simulation. Awareness. Temperature.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	8
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	10
2.1 Objetivo geral .....	10
2.2 Objetivos específicos .....	10
<b>3 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	11
3.1 Precipitação pluvial e erosão hídrica .....	11
3.2 Impactos da erosão em corpos hídricos .....	12
3.3 Variáveis físico-químicas da qualidade da água drenada no simulador de chuva.....	13
3.4 Aplicação da termografia infravermelho no diagnóstico de condições térmicas em eventos de chuva simulada .....	15
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	16
4.1 Tipologia climática de Belterra e coleta de dados de precipitação pluvial .....	16
4.2 Simulador de chuva portátil.....	18
4.3 Coleta e análises físico-químicas da água drenada.....	20
4.4 Condições térmicas no simulador de chuva portátil .....	21
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	24
5.1 Potencial erosivo e anomalias climáticas .....	24
5.2 Uso de simulador de chuva portátil em ações de sensibilização sobre o potencial erosivo das chuvas.....	30
5.3 Perdas de nutrientes em chuva simulada .....	32
5.4 Compartilhando conhecimentos em conservação dos recursos solo e água utilizando simulador de chuva.....	36
5.5 Termografia infravermelho para apontar indicadores térmico-hídricos durante eventos pluviais erosivos em simulador portátil.....	38
<b>6 CONCLUSÕES</b> .....	42
<b>7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	43

## 1 INTRODUÇÃO

A erosão hídrica constitui a principal forma de degradação dos solos que pode ser acelerada pelo uso de práticas inadequadas de manejo, declividade do terreno e falta de cobertura vegetal (COGO et al., 2003; MARTORANO et al., 2009; MELLO et al., 2007; COMIN; LOVATO, 2014). Em áreas agrícolas a erosão ocasiona a redução da capacidade produtiva dos solos em virtude das perdas de sementes, nutrientes, matéria orgânica, e implica em altos custos para ampliar a produtividade do solo, causando ainda a degradação dos recursos hídricos devido a contaminação por pesticidas (AGUIAR et al., 2015; PANAGOS et al., 2018; VOLK; COGO; STRECK, 2004).

A erosão hídrica ocorre em três fases: desagregação, transporte e deposição (GALDINO et al., 2003). Assim, a energia cinética da gota da chuva promove impacto na superfície do solo, ocasionando o desprendimento de partículas e, conseqüentemente desencadeia o transporte de sedimentos às áreas mais baixas do terreno até atingir o leito dos rios, gerando assoreamento e poluição (SANTOS et al., 2010; CORREA et al., 2012).

O índice de erosividade ( $EI_{30}$ ) das chuvas expressa seu potencial erosivo, sendo considerada a melhor variável para avaliar a erosão, estimada pela energia cinética da chuva e sua intensidade máxima em 30 minutos (BERTOL et al., 2006; BERTOL et al., 2010).

O potencial erosivo das chuvas tem sido avaliado no país, inclusive com desenvolvimento de métodos capazes de estimar a erosividade em eventos pluviais (COGO et al., 2003; CORREA et al., 2012; PANACHUKI et al., 2011). A utilização do simulador de chuva possibilita testar eventos pluviais distintos, adotando-se diferentes intensidades e, avaliando-se as perdas de solo, água, nutrientes e transporte de sedimentos pelo escoamento superficial (COSTA; MARTORANO; MORAES, 2013; SPOHR et al., 2015).

Vale destacar que as pesquisas em uso, manejo e conservação do solo iniciaram no Sul do Brasil e forneceram resultados capazes de nortear políticas públicas para a recuperação de áreas degradadas devido ao processo acelerado de erosão hídrica em áreas de agricultura tradicional e mecanizadas (HICKMANN et al., 2008). E, também, possibilitaram o desenvolvimento de diferentes estratégias em manejo e conservação do solo, destacando-se o sistema plantio direto e a rotação de culturas que promovem a manutenção da matéria orgânica no solo, melhora suas características físicas e reduz o processo erosivo das chuvas (SALTON et al., 2008; VOLK; COGO, 2014).

O impacto da gota da chuva desencadeia diferentes processos tais como a quebra de estruturas que agregam as partículas do solo em eventos pluviais intensos, típicos na Amazônia brasileira (MARTORANO et al., 2017). Estudos do potencial erosivo das chuvas no Oeste do Pará são indispensáveis para o planejamento conservacionista do solo nas áreas produtivas no período mais chuvoso do ano (janeiro a maio) devido ao grande volume e intensidade da precipitação pluvial. Ainda, no período com redução da pluviosidade (junho a dezembro), a perda da cobertura vegetal, devido a seca e queimadas, tornam essas áreas ainda mais vulneráveis, de modo que chuvas torrenciais podem desencadear erosão (BARBOSA et al., 2017).

O processo erosivo das chuvas contribui significativamente para a degradação das terras em áreas agrícolas com baixa cobertura do solo, ocasionando perdas na qualidade da água em bacias hidrográficas (SANTOS; MONTENEGRO, 2012). Técnicas como a termografia por infravermelho tem sido utilizadas como ferramenta de imagem de alta resolução em diferentes estudos hidrológicos, permitindo a identificação de fontes pontuais de poluição, caracterização do movimento de partículas e dispersão de poluentes têm sido utilizados em virtude da facilidade de manipulação em trabalhos de campo (DANIELESCU, 2009; SCHUETZ et al., 2012).

As estimativas, simulações e medições do potencial erosivo das chuvas de uma determinada região visam auxiliar no controle e monitoramento da erosão hídrica para identificar ações preventivas e mitigadoras em áreas rurais (ELTZ et al., 2011; PORTELA et al., 2011) e urbanas (ROSA et al., 2016).

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo geral

Estimar o potencial erosivo das chuvas e utilizar o simulador portátil com diferentes coberturas de solo para avaliar indicadores a partir de respostas termográficas e físico-químicas da água sob condições climáticas em Belterra, no Estado do Pará.

### 2.2 Objetivos específicos

- Analisar séries temporais de precipitação pluvial, inclusive anos com eventos extremos associados a mecanismos de grande e meso escala climática;
- Avaliar chuvas diárias e mensais durante os meses de simulações a campo;
- Estimar o potencial erosivo das chuvas tendo como referência 'o índice  $EI_{30}$ ;
- Simular o potencial erosivo das chuvas em simulador portátil;
- Analisar as variáveis físico-químicas da água drenada durante as simulações;
- Utilizar o simulador portátil como ferramenta de sensibilização ambiental sobre as perdas de solo e água devido à erosão hídrica;
- Avaliar respostas com termografia infravermelho antes e após as simulações no simulador portátil de eventos pluviais erosivos.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Precipitação pluvial e erosão hídrica

A erosão hídrica é a principal forma de degradação dos solos no Brasil. O impacto da gota da chuva é o processo inicial que promove o desprendimento dos agregados do solo em eventos pluviais intensos, onde simultaneamente ocorrem as demais fases da erosão hídrica, pelo transporte e deposição do material para outro local (GALDINO; LEVIEN; SCHWARZ, 2006).

A precipitação pluvial é o agente que determina grande parte dos efeitos erosivos no solo ocasionado pela energia cinética da gota das chuvas e o escoamento da enxurrada na superfície do solo (PISMEL et al., 2016). A ocorrência de chuvas intensas em curto intervalo de tempo, devido as elevadas temperaturas na região amazônica desencadeia o desenvolvimento de aglomerados de nuvens convectivas e favorece o potencial erosivo das chuvas (GILLE; MOTA, 2014).

A degradação das camadas superficiais que acarretam perdas na capacidade produtiva das terras agrícolas demandaram pesquisas e ações que apontassem as principais causas da erosão hídrica nos solos cultivados no sul do Brasil (ALVES; CABEDA, 1999; HICKMAN, et al., 2008). Foram, inclusive, estabelecidos métodos para avaliar perdas de solos e adotado sistemas de conservação como o plantio direto na palha e rotação de culturas, visando melhorar as condições físicas de superfície do solo (VEZZANI; MIELNICZUK, 2011).

A determinação de perdas de solo e água utilizando simuladores de chuva tiveram início em 1974 no Rio Grande do Sul, sendo os primeiros testes de chuva simulada em 1972 (CASSOL; COGO, 1975). A partir desses estudos foi possível obter os primeiros resultados sobre as perdas de áreas agrícolas por erosão hídrica e diagnosticar as causas dessas ocorrências, bem como, os danos ambientais e econômicos nas terras produtivas (COGO et al., 2003; SOUSA et al., 2012).

Na Bacia do Alto Taquari, em Mato Grosso do Sul, Martorano et al. (2002) ressaltaram que o processo erosivo das chuvas causou sérios danos ambientais aos corpos hídricos, apontados pelo monitoramento hidrossedimentológico. Esses e outros estudos evidenciaram a necessidade de adoção de estratégias conservacionistas no uso do solo e da água, inclusive subsidiando a redução de impactos socioeconômicos na bacia do Taquari (GALDINO et al., 2006).

Na Amazônia, a pecuária é uma das principais atividades econômicas, sendo o Pará considerado o maior produtor de rebanho bovino, ocupando o quinto lugar do mundo. De acordo com Minervino et al. (2008) as condições climáticas e a extensão territorial do Estado paraense contribuíram para a expansão dessa atividade. Apesar das características da região serem propícias para tal atividade, Dias Filho (2011) aponta que aproximadamente 50% das pastagens na Amazônia estão degradadas ou em vias de degradação, desencadeada pela perda de cobertura vegetal, devido a queimadas constantes que leva a redução da fertilidade dos solos. Fearnside (2006), também aponta o cultivo da sojicultura na Amazônia como ameaça para o meio ambiente, destacando os efeitos ocasionados pela expansão da soja na região, o qual expressa preocupação quanto a substituição dos ecossistemas naturais da região por áreas plantadas.

Martorano et al. (2017), observaram que aproximadamente 22% das áreas antropizadas na Amazônia Legal são classificadas com alta fragilidade quanto a erosão hídrica do solo, principalmente regiões consideradas declivosas onde a floresta nativa já foi removida. Santos et al. (2017), ao estudar os aspectos fisiográficos ambientais da Floresta Nacional do Tapajós e área de entorno alertaram para as possíveis perdas de vegetação e processos erosivos em áreas de encostas.

Oliveira et al. (2013), ao analisar os custos da produção de grãos, em especial a soja nos municípios de Santarém e Belterra verificou que a adoção de práticas conservacionistas como o uso do plantio direto, aumentou a produtividade da soja em  $\text{kg ha}^{-1}$ , enquanto onde continuou as técnicas convencionais de preparo do solo a produção foi considerada menor. Neste estudo, os autores também expressaram que o sistema de produção de soja de forma convencional demonstrou muito mais oneroso em relação a utilização de fertilizantes, sementes e aplicação de agrotóxicos e impactos ao meio ambiente.

### 3.2 Impactos da erosão em corpos hídricos

O uso e ocupação do solo têm influência na qualidade dos corpos hídricos. Segundo Coelho et al. (2011) os impactos ambientais da agricultura mal manejada nos recursos hídricos estão relacionados a retirada da floresta nativa, supressão das matas ciliares e uso descontrolado de insumos agrícolas. Vischi Filho et al. (2016) no estudo da bacia hidrográfica do rio do Peixe em São Paulo, identificaram a presença de processos erosivos na maioria das áreas agrícolas ocupadas por pastagens e plantio de café.

As perdas de água e nutrientes pela erosão hídrica ocorrem pelo escoamento

superficial e pelo transporte de sólidos (sedimentos) aderidos nas partículas de solo. A remoção da camada mais fértil do solo pela ação da água da chuva pode deixar áreas improdutivas e conseqüentemente gerar prejuízos econômicos para a agricultura. O deslocamento de sedimentos e nutrientes na enxurrada quando atingem os corpos hídricos também comprometem a qualidade das águas e causam impactos como assoreamento e eutrofização (BAGATINI et al. 2011; CARDOSO et al. 2012; VANZELA; HERNANDEZ; FRANCO, 2010).

O transporte de nutrientes no escoamento superficial proveniente da erosão hídrica pode ser um potencial indicador de poluição das águas, prejudicando seus usos diversos. Os principais impactos da erosão hídrica nos corpos de água são: assoreamento, eutrofização e alterações físico-químicas de variáveis qualitativas da água (CAPRARIO et al., 2017).

A Resolução n° 357/2005 do CONAMA estabelece condições de qualidade da água, classificando os corpos hídricos de acordo com critérios que delimitam os usos desse recurso, determinando padrões a serem observados conforme a classe de uso prevista (BRASIL, 2005). A erosão hídrica pode afetar os usos da água quando não são adotadas medidas de conservação do solo e proteção vegetal de margens de igarapés, rios e lagos (SPERANDIO et al., 2012).

### 3.3 Variáveis físico-químicas da qualidade da água drenada no simulador de chuva

As variáveis de qualidade da água servem como indicadores que apontam a condição de um corpo hídrico no que diz respeito as suas características físicas, químicas e biológicas. Esses parâmetros tem papel fundamental para se conhecer a qualidade da água de um determinado corpo hídrico bem como a influência de determinadas atividades e alteração de seus padrões de qualidade (AGUIAR; PELEJA; SOUSA, 2014; BATALHA et al., 2014).

A temperatura está relacionada as condições de clima e físico-química das águas superficiais, e o aumento expressivo na temperatura influencia as condições de vida dos organismos aquáticos e pode prejudicar suas funções biológicas (FUNASA, 2013; SODRÉ, 2007).

O pH (potencial hidrogeniônico) é um parâmetro químico indicador de qualidade das águas de grande importância. O valor do pH varia de 0 a 14 e aponta se as águas são ácidas, neutras ou alcalinas. A sua origem pode estar relacionada a fontes naturais, como dissolução de rochas, absorção de gases atmosféricos, oxidação da matéria orgânica, fotossíntese, e

também a fatores antrópicos (FUNASA, 2013). A Resolução CONAMA n° 357, estabelece uma faixa de pH entre 6,0 a 9,0 para águas naturais (BRASIL, 2005).

A turbidez está associada à presença de materiais sólidos em suspensão que diminuem a transparência da água, ou seja, quanto menor a transparência da água maior a turbidez. A turbidez pode ser originada da presença de algas, plâncton, matéria orgânica e outros compostos no meio. Em regiões mais suscetíveis a processos erosivos, a turbidez da água pode ser elevada pelo carreamento de partículas do solo ocasionada da precipitação pluvial (LIBÂNIO, 2010).

A condutividade elétrica indica a capacidade de transmissão de corrente elétrica na água, em função da presença de substâncias dissolvidas, concentração iônica e teor de salinidade presente nas águas naturais. A condutividade pode ser aumentada em corpos hídricos pela carga de poluição e material dissolvido (SODRÉ, 2007).

Os sólidos totais dissolvidos (STD) incluem todos os sais presentes na água e os componentes não iônicos. Compostos orgânicos dissolvidos contribuem para os sólidos totais dissolvidos. Os valores de sólidos totais dissolvidos (STD) tem correlação com a condutividade elétrica devido a concentração de íons (LIBÂNIO, 2010).

A presença de sólidos em suas diversas frações tem grande importância para avaliar as características de águas naturais. Os sólidos suspensos é a fração que permanece como resíduo após a filtração e secagem em estufa, enquanto os sólidos sedimentáveis é todo material que decanta após repouso durante um período de tempo. Águas com elevadas concentrações de sólidos podem reter bactérias, causar assoreamento, e ainda, tornarem inadequadas para o abastecimento e uso doméstico (CETESB, 2009). Por outro lado a cor está relacionada a presença de compostos orgânicos ou metais na água. A cor pode ser definida em cor aparente e verdadeira. A primeira se refere aquela observada com substâncias presentes nas amostras como sólidos dissolvidos. Já a cor verdadeira é determinada após a filtração da amostra de água (SODRÉ, 2007).

O nitrogênio constitui um dos importantes indicadores de qualidade das águas naturais e pode ser encontrado nas formas de nitrogênio orgânico, amoniacal, nitrito e nitrato. Em conjunto com outros nutrientes, esse elemento pode ser carreado para corpos hídricos através do escoamento de águas pluviais de áreas urbanizadas ou solos agrícolas fertilizados, ocasionando a eutrofização do meio aquático acarretando prejuízo aos usos múltiplos das águas (BATALHA et al., 2014).

O fósforo também compõe um parâmetro importante a ser analisado nos estudos de qualidade da água, principalmente no que refere a presença deste nutriente em quantidades

significativas em cursos de água com influência de áreas agrícolas e urbanas (CETESB, 2009). Na agricultura, o fósforo é um elemento essencial para as plantas, enquanto nos corpos hídricos, sua presença traz consequências negativas. As perdas de cálcio e magnésio no solo representam prejuízos para a agricultura quando são transportados pela água da chuva, pois deixam os solos mais ácidos e conseqüentemente, menos produtivos (FARIAS, 2013).

#### 3.4 Aplicação da termografia infravermelho no diagnóstico de condições térmicas em eventos de chuva simulada

A termografia infravermelho é considerada uma técnica rápida, precisa e não invasiva de mapeamento térmico de alvos biofísicos. No espectro infravermelho a radiação é emitida pela superfície dos corpos, uma vez que todo corpo com temperatura acima do zero absoluto (zero Kelvin) emite radiação térmica (CALDARA et al., 2014; FERREIRA et al., 2011). As respostas radiométricas são imageadas usando termogramas capazes de expressar o gradiente térmico na forma de padrão de cores (EDDY et al., 2001).

Os registros das temperaturas dos corpos permitem diagnosticar respostas térmicas instantâneas ao longo do tempo, permitindo a análise espaço-temporal de determinado processo. Utilizando imagens termográficas Pfister et al. (2010) ressaltaram que com o uso dessa ferramenta simples e prática foi possível mapear conectividade e dinâmica de área saturada no solo. Ao avaliar respostas termográficas em microtopografia da superfície do solo em diferentes condições de cobertura morta Montenegro et al. (2013) concluíram que a termografia infravermelho permitiu identificar caminhos preferenciais de escoamento hídrico, mesmo na presença de  $2 \text{ t ha}^{-1}$  de cobertura morta, na superfície do solo.

Santos et al. (2016) ao avaliarem as condições térmicas em ambientes com diferentes usos de solos (agricultura, pasto, área urbana) utilizando a termografia infravermelho (IR) identificaram temperaturas semelhantes as analisadas por imagens de satélite Landsat 5 e 8 na Floresta Nacional do Tapajós e entorno.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Tipologia climática de Belterra e coleta de dados de precipitação pluvial

O município de Belterra está localizado na mesorregião do Baixo Amazonas paraense e, sua sede encontra-se na latitude 02° 38' 11" S e na longitude 54° 56' 14" W. Possui uma área de 4.398,418 km<sup>2</sup>, com população estimada em 17.145 habitantes (IBGE, 2016).

Fez-se um recorte no mapa de tipologia climática da base para a Amazônia brasileira usando o método de Köppen, adaptado por Martorano et al. (1993) para identificar espacialmente os subtipos que predominam na mesorregião do Baixo Amazonas, onde está instalado o polo de grãos do Oeste do Pará.

Os dados de precipitação pluvial foram obtidos da Base de Dados (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), correspondentes ao período de 1972 a 2016.

Para estimar a erosividade das chuvas foram utilizados dados de precipitação pluvial mensal e anual. Primeiro calculou-se o coeficiente de chuva (Rc) e, posteriormente, a erosividade das chuvas de acordo com a metodologia desenvolvida por Lombardi Neto (1977) e Wischmeier e Smith (1978) com base no índice (EI<sub>30</sub>), calculados pelas equações 1 e 2.

$$Rc = \frac{(pmensal)^2}{(Panual)} \quad (1)$$

$$EI_{30} = 321,5 + 36,2Rc \quad (2)$$

Em que na equação 1:

Rc: é o coeficiente de chuva (mm); Pmensal: é a precipitação média mensal (mm); e Panual: é a precipitação média anual (mm).

Na equação 2:

EI<sub>30</sub>: é o índice de erosividade das chuvas (MJ mm ha<sup>-1</sup>).

Para determinar o índice de anomalia de chuvas (IAC) utilizou-se as equações (3) e (4), conforme Rooy (1965):

$$IAC = 3 \frac{(PRP-PRPm)}{(X-PRPm)} \quad (3)$$

$$IAC = -3 \frac{(PRP-PRPm)}{(y-PRPm)} \quad (4)$$

Sendo, portanto consideradas as seguintes variáveis: IAC: é o índice de anomalia de chuva; PRP (mm): refere-se a precipitação total do ano que será gerado o IAC; PRPm (mm): corresponde a precipitação média anual da série histórica; x (mm): é o valor médio considerando-se os dez maiores valores anuais de precipitação observados na série histórica; y (mm) compreende a média dos dez menores valores de precipitação observados da série histórica.

Foram analisadas as anomalias da precipitação pluvial no período estudado, com base na classificação do Índice de Anomalias de Chuva, conforme a Tabela 1. A partir dos valores estimados, os anos foram classificados de acordo com nove categorias descritas nessa tabela. Essas anomalias refletem o quanto cada ano se afastou da média climatológica, as quais indicam anos secos (anomalia negativa) ou mais chuvosos (anomalia positiva), com efeitos associados a mecanismos climáticos de grande e meso escala como o El Niño e a La Niña, (REIBOTA; SANTOS, 2014).

Tabela 1. Classificação do Índice de Anomalia de Chuva (IAC).

<b>Índice de Anomalia de Chuva (IAC)</b>	<b>Classificação</b>
$\geq 4,00$	Extremamente chuvoso
3,00 a 3,99	Altamente chuvoso
2,00 a 2,99	Moderadamente chuvoso
00,5 a 1,99	Baixa quantidade de chuva
-0,49 a 0,49	Normal
1,99 a -0,5	Redução suave de chuva
-2,00 a -2,99	Moderada redução de chuva
-3,00 a -3,99	Alta redução de chuva
$\leq -4,00$	Redução extrema de chuva

Fonte: (MORAES et al., 2013).

Para subsidiar as análises referentes as prováveis áreas suscetíveis as perdas de solo pelo potencial erosivo das chuvas, fez-se o levantamento de dados referente a área de expansão agrícola do polo grãos no município de Belterra e municípios adjacentes. As informações foram geradas a partir de dados disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de

Geografia e Estatística (IBGE), correspondentes a produção agrícola municipal, sendo realizada neste trabalho uma análise no período entre 2005 a 2016.

Assim, a evolução no polo de grãos foi realizada contabilizando a área plantada em Belterra, bem como nos municípios de Santarém e Mojuí dos Campos que evidencia o total de área destinada aos cultivos anuais (grãos), que utilizam uma agricultura mecanizada em seu processo produtivo. Vale destacar que o município de Mojuí dos Campos só aparece nas análises em área plantada, a partir de sua emancipação (2012), sendo, anteriormente, contabilizadas no município de Santarém.

Também, fez-se um levantamento de dados de cotas fluviais no rio Tapajós, correspondentes aos anos de 2006 e 2007, obtidos da Agência Nacional de águas, juntamente quando se consolida o polo de grãos no Oeste do Pará, a partir da moratória da soja (ABIOVE, 2014).

#### 4.2 Simulador de chuva portátil

Foram realizadas análises de dados pluviométricos máximos e mínimos correspondentes a série histórica de 1972 a 2017, bem como dados correspondentes a eventos pluviométricos diários, referentes aos meses de janeiro e fevereiro de 2018, ambos obtidos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Também realizou-se ações de sensibilização durante as coletas de campo, montagem e testes no simulador portátil.

Durante coleta de campo, foi realizada rodas de conversas com professores e estudantes do ensino fundamental e médio, onde buscou-se conhecer as percepções dos participantes em relação as temáticas abordadas como erosão hídrica, temperatura, pH, energia cinética, tipos de coberturas do solo, sistemas de produção (pecuária, grãos e sistemas integrados) e poluição da água. A coleta de dados deu-se por meio de entrevistas semiestruturada a partir de depoimentos de estudantes que foi previamente agendada com a direção da escola.

Informa-se que o simulador é constituído por uma estrutura de madeira com instalação de três garrações de água mineral com capacidade de 20 litros que encontram-se com prazo de validade esgotado. Assim, cada garração foi reutilizado como estratégia de destinação desses resíduos, evitando a disposição inadequada no meio ambiente. Na parte superior do simulador foi instalado um garração de 20 litros (posicionado na parte mais alta da estrutura). A função desse garração é simular uma nuvem contendo água de chuva para ser liberada aos três

recipientes, conectados por canos PVCs, ligados por três chuveiros, onde se controla a saída de água por três torneiras que são abertas simultaneamente. A estrutura de madeira na parte onde encontra-se acoplado os três garrafões apresenta orifícios que regulam as declividades: considerando solo plano, com declividade abaixo de 6% e de 12% para a inclinação máxima considerando um terreno com limitações ao uso de máquinas agrícolas.

A disposição dos tipos de cobertura no simulador foi planejado para representar condições típicas na região. Portanto, foi inserido no recipiente central a cobertura muito utilizada para representar uma área com pastagem, onde a densidade da vegetação serve como o efeito atenuador ao impacto da água durante as simulações. Nos dois recipientes laterais foram colocados arranjos com menor cobertura vegetal e solo exposto.

Durante as simulações são testadas diferentes possibilidades, variando-se tempo de duração e volume de água precipitado. A intensidade da chuva foi determinada de acordo a equação 1.

$$I = \left( \frac{V/S}{t} \right) \cdot 60 \quad (1)$$

$I$  é a intensidade da chuva ( $\text{mm h}^{-1}$ );  $V$  é o volume de água coletada ( $\text{mm}$ );  $S$  é a área da seção de coleta em ( $\text{m}^2$ ); e  $t$  é o tempo de duração da chuva simulada ( $\text{min}$ ).

As simulações foram realizadas utilizando solo exposto, solo coberto com gramínea e com alface. Para cada simulação de chuva (fraca, moderada e forte) foi coletada toda a água drenada e todo volume contabilizado em proveta graduada em milímetro. Ressalta-se que anterior as coletas de campo houve três dias sem ocorrência de eventos de chuva e o solo estava completamente seco.

Em experimento de campo foram aplicados três condições para simular eventos pluviais. Considerou-se um evento de chuva com duração média de 5 minutos. Antes das simulações, compartilhou-se com os estudantes e professores presentes nas atividades de campo que o recipiente com água na parte superior representa uma nuvem do tipo Cumulonimbus, ou seja, indicando que nesse tipo de nuvem possui elevada energia potencial e, dependendo de como a água é precipitada, a energia cinética das gotas pode impactar o solo em eventos intensos, comumente conhecido na região amazônica como pancadas de chuvas.

O volume de água precipitado durante as simulações foi contabilizado utilizando proveta graduada em milímetros para avaliar as perdas de solo por erosão hídrica (sedimentos) e a quantidade de água perdida pelo escoamento superficial (não infiltrada no

solo). Amostras de água drenada do simulador foram levadas ao laboratório para análise das variáveis turbidez, sólidos totais dissolvidos, condutividade elétrica, cor, sólidos sedimentáveis, sólidos suspensos, nitrato, amônia e fósforo. O pH e temperatura foram aferidos no momento da coleta em campo. Na Figura 1 estão ilustradas etapas durante a realização do trabalho de campo.

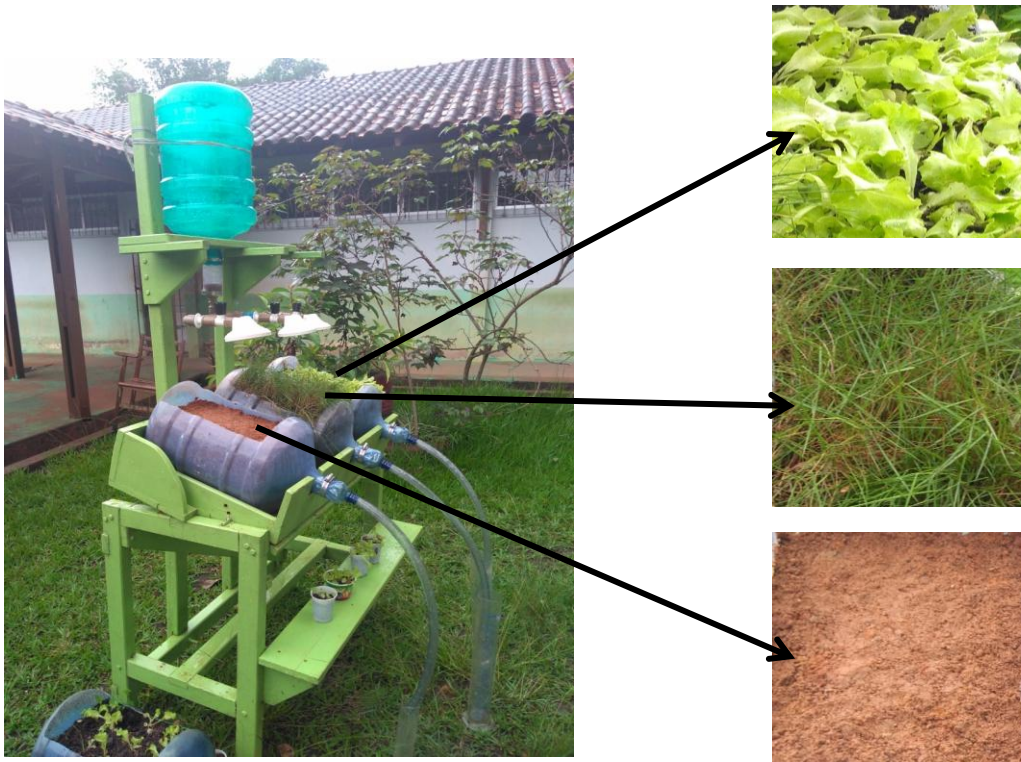


Figura 1: Simulador de chuva portátil.

#### 4.3 Coleta e análises físico-químicas da água drenada

Na primeira simulação todo o volume drenado foi coletado, exceto no solo exposto que não houve material drenado durante toda simulação. Na segunda simulação (chuva moderada) foi coletado dois recipientes de 1000 mL de cada cobertura (solo exposto, solo com gramínea e solo com alface). Na última simulação também foi coletado 2000 mL de água de cada cobertura de solo. Na segunda e terceira simulação de precipitação pluvial onde foi possível obter um volume maior que 2000 mL de cada cobertura, destinou-se 1000 mL para análise de sólidos sedimentáveis. As amostras foram inseridas em garrafas plásticas e armazenadas em caixa térmica (isopor) e levadas ao Laboratório de Biologia Ambiental (LBA) da Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA) para realização das análises.

Foram analisadas as seguintes variáveis de qualidade da água: Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), potencial Hidrogeniônico (pH), Sólidos Totais Dissolvidos (TDS), Sólidos Sedimentáveis, Sólidos Suspensos, Condutividade Elétrica (CD), Turbidez, Cor, Cálcio, Magnésio, Nitrato, Amônia e Fósforo. Na Figura 2 etapas de planejamento de coleta análise de laboratório.

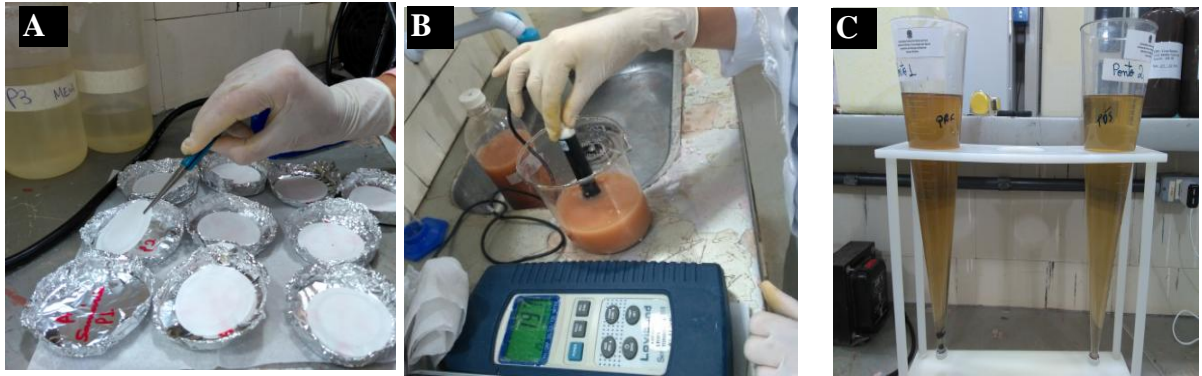


Figura 2: Planejamento de campo (A) e análises em laboratório (B e C). Fonte: MARTORANO, L. G.; ROCHA, S. L. C. S.

O pH e a temperatura da água foram aferidos em aparelho portátil ainda em campo antes das simulações e após cada teste de chuva simulada. A condutividade elétrica e TDS foram mensuradas em aparelho tipo sonda multiparâmetro, a turbidez em turbidímetro (modelo AP 2000) e a cor no aparelho de marca Hanna (HI 93727). Para determinação dos sólidos sedimentáveis foi homogeneizado 1000 mL de amostra de água drenada e transferida para cone Imhoff a qual permaneceu em repouso por uma 1 hora, e o volume de sólidos sedimentados foi determinado em  $\text{mL L}^{-1}$ . O nitrato, amônia e fósforo foram analisados em Espectrofotômetro (SP 220) e o cálcio e magnésio por método colorimétrico.

Para análise dos Sólidos suspensos foram filtradas em microfiltros com fibra de vidro 100 mL de cada amostra coletada, exceto do solo exposto que foi utilizado um volume inferior a 30 mL, devido a quantidade de sedimentos presentes na água. Os filtros foram preparados anteriormente com água destilada e aferido o peso seco depois de 24 horas. Após a filtração das amostras, os filtros foram secados em estufa e pesados durante 4 dias até a estabilização do material sólido, sendo os resultados expressos em  $\text{mg L}^{-1}$ .

#### 4.4 Condições térmicas no simulador de chuva portátil

Para avaliar as respostas térmicas e hídricas no simulador portátil foram imageadas as coberturas de solo exposto, gramínea e alface visando identificar as variações térmicas em

cada antes e após as simulações de campo. Assim sendo, foram realizadas imagens termográficas das superfícies nos recipientes com solo exposto, solo contendo gramínea e solo contendo alface. Utilizou-se uma câmera termográfica (modelo A320) que registra energia na faixa do infravermelho termal e possibilita a obtenção de dados referentes aos padrões de distribuição de calor nos alvos desejados (Figura 3). As imagens foram coletadas antes e após os testes de simulações.



Figura 3: Imagem obtida com termografia infravermelha

Os termogramas foram analisados utilizando-se um programa computacional (Flir Tools 2.1®-E40), coletando-se amostras térmicas dos diferentes alvos. As medições de temperatura foram exportadas para Microsoft® Office Excel (2013), onde foram calculados a média, amplitude térmica e valores máximos e mínimos de temperatura nas coberturas com gramínea, alface e solo exposto.

Para avaliar as condições no entorno onde estava instalado o simulador, foram retiradas amostras térmicas tanto da cobertura do telhado quanto no solo gramado. As amostras térmicas objetivaram identificar as condições fora do simulador como efeito comparativos entre amostras obtidas nas superfícies no solo exposto e, cobertura verde (grama e alface), no simulador portátil, cuja estrutura estava distante cerca de 1,50 m do solo.

Ressalta-se que a termografia detectou os pontos contendo temperaturas mais elevadas antes das simulações e reduções térmicas nos canos indicando que houve passagem de água.

É importante destacar que as imagens termográficas analisadas refletem as respostas térmicas dos diferentes alvos analisados auxiliando no diagnóstico do estado atual e indicando

efeitos da água no processo de fluxo térmico durante as simulações. Assim sendo, com a termografia infravermelho, ampliaram-se as informações quanto aos efeitos do transporte hídrico no simulador.

Também foram avaliados nos canos (1, 2 e 3) que interconectavam os garrafões aos recipientes coletores, visando identificar os fluxos térmico-hídricos, antes e depois das simulações. Considerando-se que cada termograma registra as condições térmicas emanadas pela superfície dos alvos em comprimento de ondas na faixa infravermelho próximo do espectro eletromagnético, foram avaliadas as temperaturas para identificar os pixels associados a presença de ar no início das simulações e os efeitos após o transporte de solução do solo drenando durante as simulações a campo.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Potencial erosivo e anomalias climáticas

Na Figura 4 verifica-se que a tipologia climática apresenta variação no polo de grãos do Oeste do Pará. É importante destacar que a classificação climática expressa as condições médias da atmosfera terrestre, onde as faixas indicam condições razoavelmente uniforme, dentro de um padrão médio de clima na região. Essas condições são típicas de clima tropical chuvoso, caracterizando-se por apresentar temperaturas médias mensais sempre superiores a 18° C. Os subtipos se diferenciam pela quantidade de precipitação pluvial média mensal e anual. Assim, na mesorregião do Baixo Amazonas paraense é possível identificar três subtipos, sendo o Am<sub>2</sub> predominante na porção nordeste-leste. O município de Belterra está regido sob dois subtipos, sendo na porção mais ao norte regido sob o subtipo Am<sub>3</sub> que se caracteriza por apresentar meses com chuvas abaixo de 60 mm e totais variando entre 2000 mm a 2500 mm de chuvas anuais. Na porção mais ao sul de Belterra o domínio climático apresenta características do subtipo Am<sub>2</sub> sendo os totais anuais variando entre 2500 mm e 3000 mm.

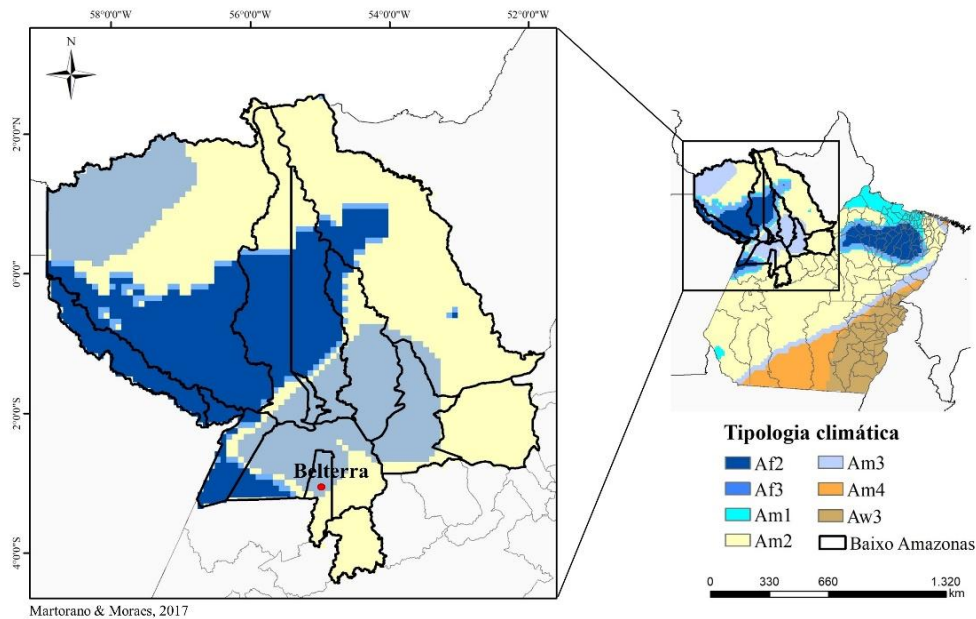


Figura 4. Tipologia climática de Koppen adaptado por Martorano et al (1993) na mesorregião do Baixo Amazonas paraense.

Ao analisar a série histórica homogênea, verificou-se que o valor máximo de precipitação ocorreu no ano de 1985 (3.057,0 mm) e o mínimo em 1992 (974,2 mm), destacados na Figura 5. Os anos com chuvas anuais mais erosivas foram em 1985, 2008 e 2006, respectivamente. Ressalta-se que 1985 foi o ano mais erosivo com  $18.636 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . Por outro lado, os anos de 1992, 1981 e 1983 apresentaram os menores índices de erosividade anual (variando entre 8.899,2 a  $9.441,1 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ). Em média a erosividade anual atinge valores da ordem de  $13.000 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  indicando que as chuvas no município de Belterra possuem alto potencial erosivo. Chuvas erosivas demandam ações conservacionistas quanto ao uso e cobertura do solo, conforme Martorano et al. (2002).

Rieger et al. (2014) verificaram no município de Sinop, Mato Grosso, valores de erosividade em termos de chuva anual média de  $16.220 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . No Estado de Goiás e no Distrito Federal os valores médios encontrados foram de  $8.000 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  (GALDINO, 2015), indicando que as chuvas anuais no Cerrado apresentam reduzido potencial erosivo quando comparados aos valores obtidos em Belterra, no Bioma Amazônia. No Estado do Pará, o valor médio anual foi de  $11.487,5 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  no município de Conceição do Araguaia (OLIVEIRA JUNIOR, 1996). No Rio Grande do Sul, com dados de Encruzilhadas do Sul os valores médios anuais não ultrapassaram os  $6.000 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  (ELTZ et al., 2011), evidenciando reduções da ordem de 50% quando comparado aos valores obtidos na Amazônia.

Os graves problemas de degradação e perda produtiva das terras agrícolas demandaram pesquisas e ações que apontassem as principais causas da erosão nos solos agrícolas. Foram, inclusive, estabelecidos métodos para avaliar as perdas de solos e a capacidade produtiva das terras. É importante destacar que o plantio direto surgiu no Sul do Brasil (VEZZANI; MIELNICZUK, 2011) devido a necessidade de conservação do solo, sendo uma alternativa de manejo conservacionista nas áreas cultivadas como estratégia de mitigação da erosão hídrica no país (TORRES et al., 2015).

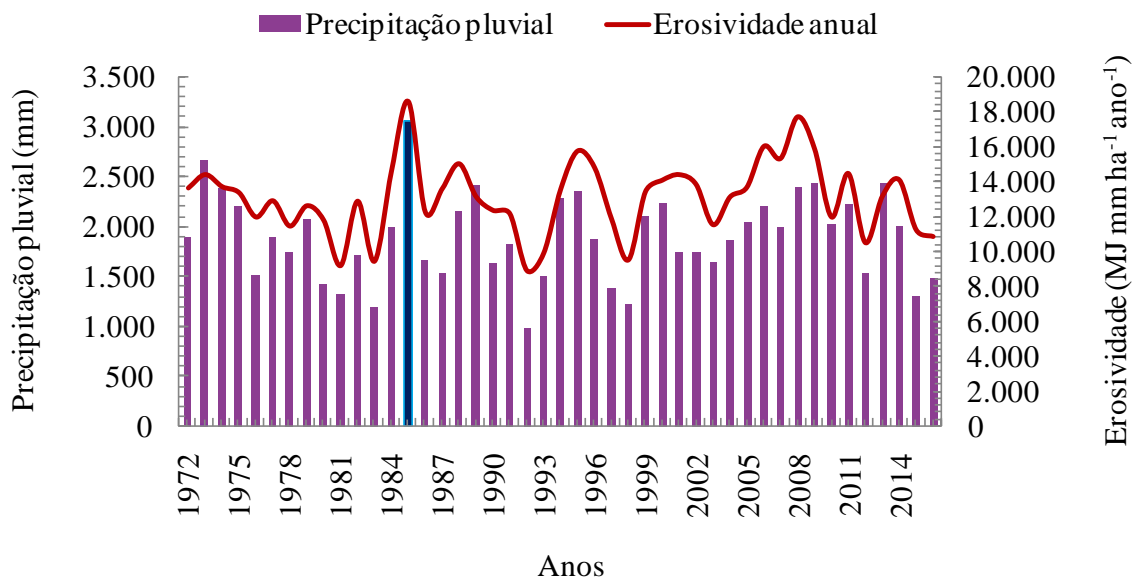


Figura 5: Erosividade anual das chuvas no município de Belterra, Pará no período entre 1972 a 2016. Fonte de dados brutos: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Os valores pluviométricos médios mensais apresentados na Figura 6 correspondem a série histórica de 44 anos no município de Belterra. Os meses de janeiro a maio são os mais chuvosos, com destaque para março que se contabilizou valores médios de 319,2 mm, sendo o mais erosivo com 2.440,6 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>. No período menos chuvoso na região entre julho a novembro, o destaque é para o mês de setembro que o volume precipitado não ultrapassou os 33 mm com erosividade inferior a 359 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> (Figura 6).

Os meses com os maiores volumes de precipitação pluviométrica apresentaram as maiores taxas erosivas mensais, indicando a necessidade de manutenção da cobertura vegetal para atenuar o impacto decorrente da energia cinética da chuva que promove o arraste de partículas nas camadas mais superficiais do solo causados por erosão hídrica (ZOLIN et al., 2016). Quanto a cobertura vegetal do solo, Portocarrero et al. (2006) ressalta que a vegetação tem função primordial na redução do escoamento superficial (perda de água e de solo), enquanto as raízes e serapilheira (palhada no solo) melhoram a capacidade de retenção e infiltração da água e a porosidade do solo, melhorando as características físicas que potencializam a capacidade de resiliência.

A cobertura vegetal influencia na qualidade da água em corpos hídricos, principalmente, no período mais chuvoso, podendo aumentar o aporte de sedimentos e poluentes em microbacias hidrográficas quando os solos perdem a vegetação nativa por desmatamento, por exemplo, conforme destaca Aguiar et al. (2014). O arraste superficial de

nutrientes para os cursos de água depende do manejo do solo em áreas rurais (GEBLER et al., 2012).

Vale ressaltar que apesar de setembro apresentar o valor de erosividade mais baixo em Belterra, quando comparado com outras regiões do país ainda é considerado elevado. Almeida et al. (2017), no semiárido brasileiro encontraram no mês de setembro estimativas de erosividade no valor de  $57 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ . Panachuki et al. (2011) ressaltaram que é importante manter os resíduos culturais, ou seja, a palhada no solo, evitando-se a exposição do solo a ação de chuvas erosivas.

Ressalta-se que os meses com menor oferta pluvial (julho a novembro) também são os mais propícios a ocorrência de chuvas intensas em curto intervalo de tempo, decorrentes de aglomerados de nuvens convectivas, devido as elevadas temperaturas nessa época do ano, quando os focos de calor se intensificam por queimadas, principalmente em anos de El Niño como ocorreu em 2005 (PISMEL et al., 2016; Carvalho et al., 2016). As taxas evapotranspiratórias se intensificam transportando umidade para a atmosfera, o que se ampliam as formações de aglomerados de cumulonimbus, ocorrendo chuvas intensas de curta duração e, conseqüentemente, em eventos desse tipo observa-se a intensificação do processo erosivo nas áreas em que o solo apresenta-se sem cobertura vegetal.

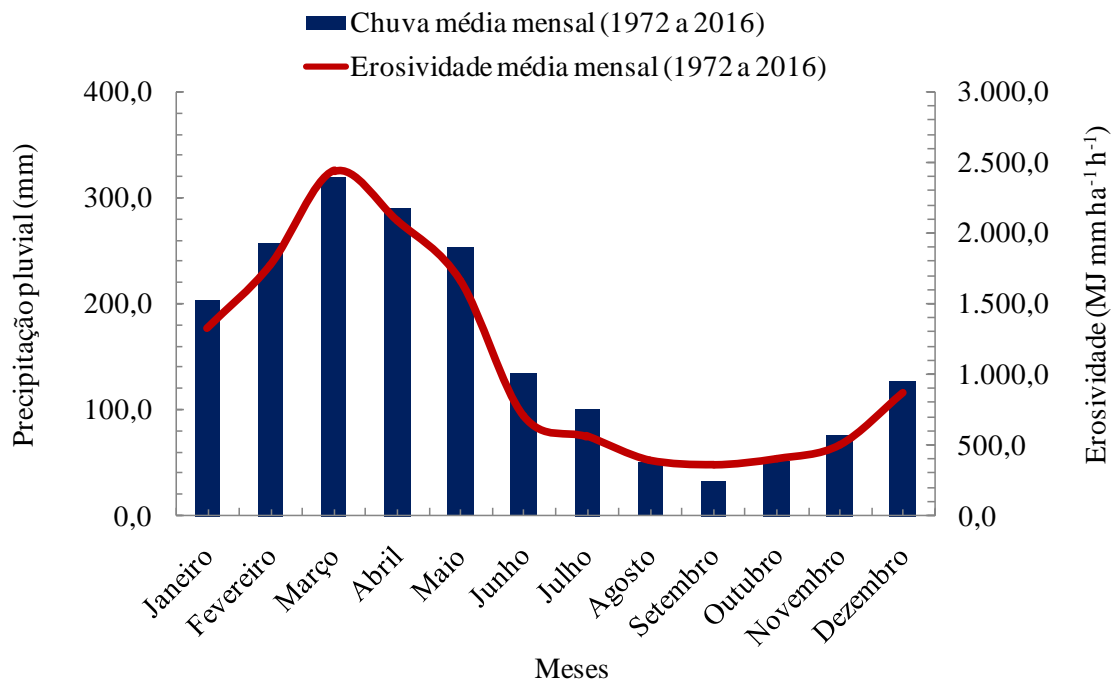


Figura 6: Precipitação Erosividade média mensal das chuvas em Belterra no período de 1972 a 2016. Fonte de dados brutos: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Ao avaliar o nível no rio Tapajós é notório que houve um retardamento em 2006, pois março foi o mês mais chuvoso em Belterra e o nível mais elevado no Tapajós só ocorreu em abril de 2006 com 12,52 metros de lâmina d'água. Já em 2007 o nível mais elevado ocorreu em fevereiro com 12,67. Portanto, o nível d'água na rede de drenagem deve ser investigado para avaliar efeitos associados ao transporte de água e sedimento, principalmente nos rios e igarapés que recebem influência direta do polo de grãos e integram a bacia do Tapajós. Um fato que merece destaque é a heterogeneidade na base de dados das cotas fluviais, sendo, portanto, esses dois anos que apresentaram série homogênea (Figura 7).

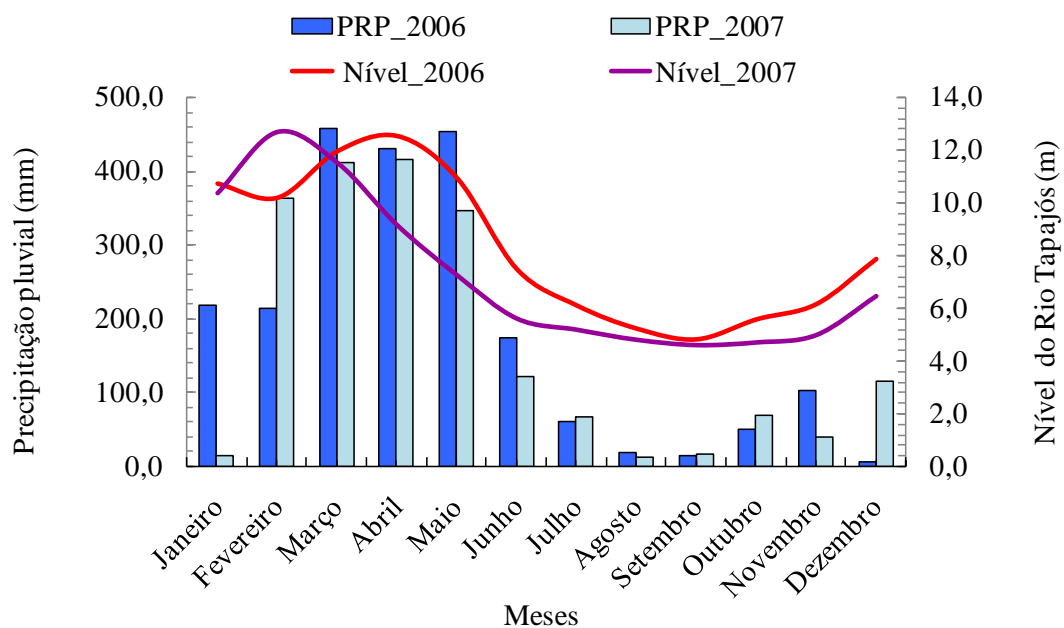


Figura 7: Valores de precipitação pluvial (mm) e nível do Rio Tapajós (m) referente aos anos de 2006 e 2007. Fonte de dados brutos: Dados de chuva disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e de nível do rio pela Agência Nacional de Águas (ANA).

Ao analisar a Figura 8 destaca-se que os anos 1973 e 1985 tiveram os maiores valores de precipitação pluvial e foram classificados como extremamente chuvosos (anomalia positiva) indicando efeitos do fenômeno La Niña. Os anos considerados com alta a extrema redução de chuvas (anomalia negativa) foram 1992, 1981, 1983, 1998 e 2015, respectivamente, os quais foram considerados com ocorrência do fenômeno El Niño. No período estudado as anomalias negativas extremas predominaram em Belterra, contabilizando-se cinco anos típicos de influência de mecanismos climáticos do tipo El Niño. Para as anomalias positivas, apenas duas ocorrências com valores extremos foram observadas em 1985 e 1973, indicados nessa sequência conforme ao valor da precipitação pluvial.

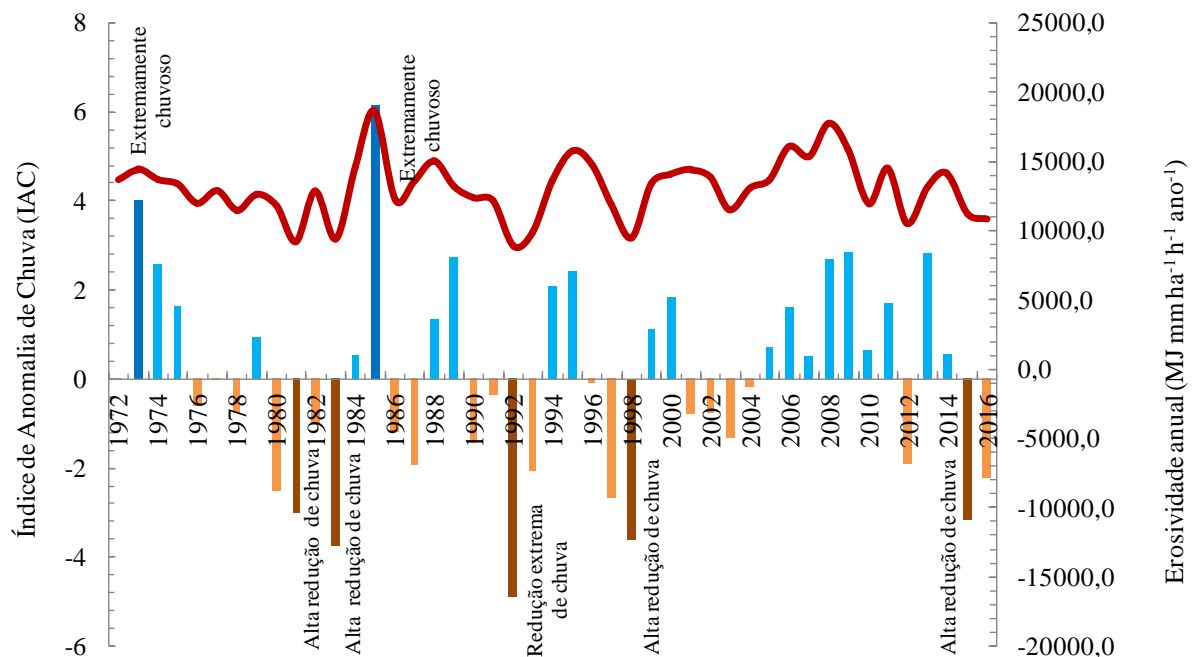


Figura 8: Índices de Anomalias de Chuva (IAC) no município de Belterra no período de 1972- a 2016. Fonte de dados brutos: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

O fenômeno El Niño influencia na redução das chuvas na Amazônia (SANTOS et al., 2014), devido a modulação de mecanismos associados ao comportamento da Temperatura da Superfície do Mar (TSM), nos oceanos Pacífico e Atlântico (LIMBERGER; SILVA, 2016).

Como a precipitação pluvial é a variável meteorológica que está diretamente relacionada ao aporte de água no solo para os cultivos agrícolas de sequeiro, é essencial compreender como os fenômenos oceânicos e atmosféricos interferem nas variações do volume e distribuição de chuvas no Oeste do Pará. Esses efeitos são sentidos diretamente pelos produtores rurais, que necessitam de prognósticos climáticos como emissão de alertas e boletins indicativos sobre anos que os sistemas de previsão de tempo e clima classificam as anomalias na TSM típicas de El Niño e La Niña, ou seja, subsidiar os agricultores quanto aos indicativos de redução ou abundância de chuvas, respectivamente. Os fenômenos El Niño La Niña em áreas agrícolas no sul do país podem ser favoráveis ou não a agricultura, dependendo do tipo de cultura e do seu estágio fenológico, principalmente, em cultivos de grãos (CUNHA et al., 2011).

Vale destacar que os aconselhamentos agrometeorológicos são realizados com base em modelos de crescimento, desenvolvimento e rendimento das culturas agrícolas e visam subsidiar o planejamento em anos safras, minimizando perdas ambientais, econômicas e até sociais, como no polo de grãos do Oeste do Pará. Os municípios de Belterra e Santarém

tinham as maiores áreas com grãos até 2012. Porém, em 2013 com a criação do Município de Mojuí dos Campos as áreas plantadas no novo município passam a ter destaque, que antes eram contabilizadas para Santarém (Figura 9). E como essas áreas recebem o impacto da intensa mecanização, em períodos que esses solos não estejam cultivados, principalmente, sem a adoção de práticas conservacionistas como o plantio direto na palha, ampliam-se os riscos ao processo erosivo das chuvas quando o solo estiver exposto às intempéries de agentes de tempo e clima na região.

Fearnside (1980) já alertava sobre a intensificação em perdas de solos agricultáveis pela erosão em áreas destinadas a reforma agrária na Amazônia, pois o manejo inadequado predispõe à redução da fertilidade e da capacidade produtiva dos solos na região. Oliveira et al. (2013) verificaram que produtores de grãos nos municípios de Belterra e Santarém ainda utilizavam práticas tradicionais no preparo dos cultivos anuais, indicando que os problemas de erosão hídrica podem comprometer a manutenção das áreas agricultáveis no polo de grãos do Oeste do Pará.

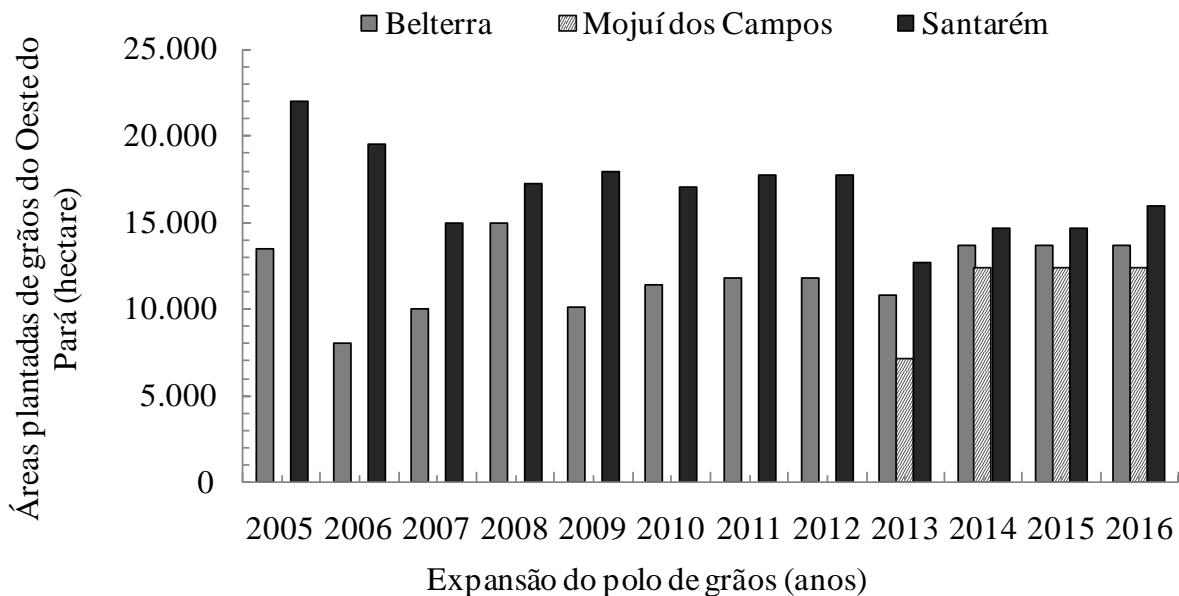


Figura 9: Expansão da área plantada do polo de grãos no município de Belterra e entorno. Fonte de dados brutos: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

## 5.2 Uso de simulador de chuva portátil em ações de sensibilização sobre o potencial erosivo das chuvas

Na Figura 10 destaca-se os volumes máximos de precipitação mensal ocorridos na série temporal estudada (1972 a 2017). Informa-se que em dezembro de 1985 choveu 753,9

mm sendo o mês mais chuvoso da série histórica avaliada, indicando que os mecanismos de grande e meso escala como o La Niña que ocorreu nesse ano, intensificaram os eventos de chuvas em Belterra. Também, em março de 2008 os valores foram elevados, contabilizando-se 737,1 mm. Observou-se que no mês de março de 1981 houve redução das chuvas, sendo computado 114,2 mm, devido aos efeitos do forte El Niño, que desencadeou alta redução das chuvas na região.

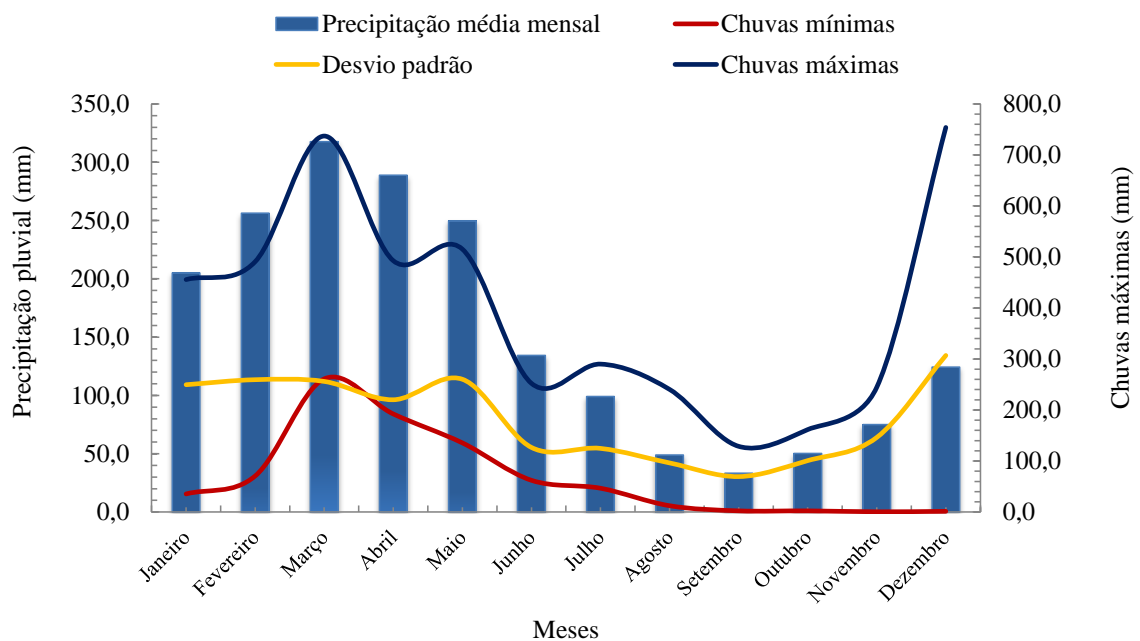


Figura 10: Precipitação média mensal no período de 1972 a 2017. Fonte de dados brutos: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Durante o período de simulação, ao avaliar os eventos pluviométricos diários verificou-se que no mês de janeiro e fevereiro de 2018 os valores máximos observados foram nos dias 29 de janeiro com 50,4 mm e 13 de fevereiro com 60,0 mm de chuva (Figura 11). No mês das simulações (fevereiro) o total pluviométrico foi de 291,5 mm. Nos meses chuvosos recomenda-se a manutenção da cobertura vegetal do solo para mitigar o impacto do potencial erosivo das chuvas (WALTRICK et al., 2015).

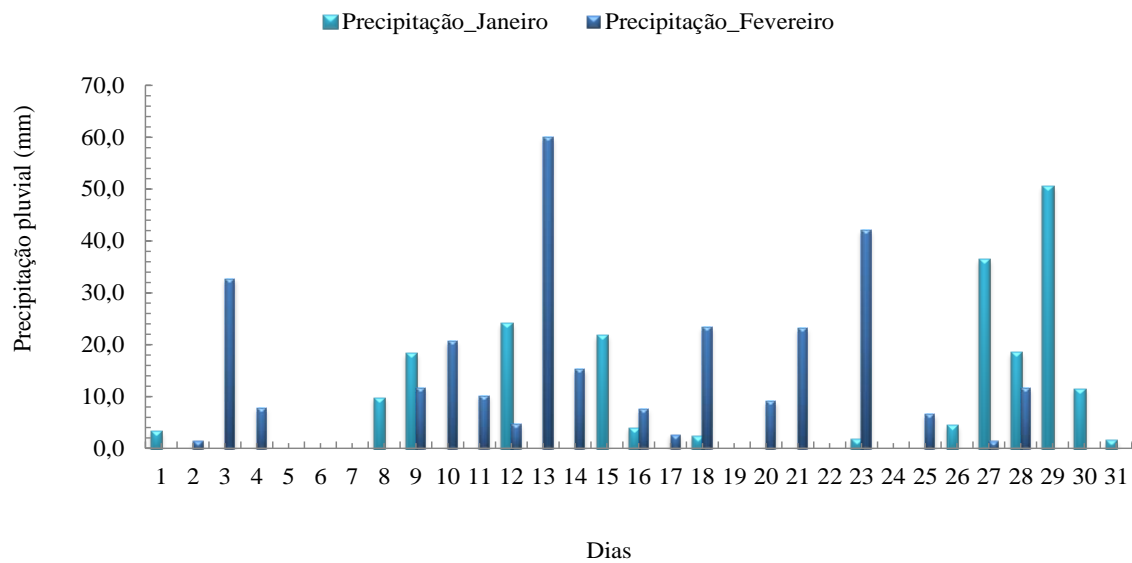


Figura 11: Precipitação diária em Belterra (janeiro e fevereiro 2018). Fonte de dados brutos: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

### 5.3 Perdas de nutrientes em chuva simulada

Observou-se nas simulações de chuvas com duração de 5 minutos, apenas a cobertura de gramínea e alface drenou água, pois o solo estava seco e a maioria do volume de água infiltrou no solo exposto. O volume total de água escoada foi em média de 13,76 mm nas coberturas com gramínea e alface, enquanto no solo exposto toda a água foi infiltrada. Ao simular chuvas moderadas o volume de água escoado foi de 170,3 mm. Nos três recipientes houve perdas de água. Ao simular chuvas intensas, a água drenada foi 237,6 mm. Como o solo já estava saturado, as perdas de água e solo foram maiores, inclusive no solo sem cobertura vegetal, onde também ocorreu a obstrução da passagem da água drenada pela carga de sedimentos carregados onde observou-se sinais iniciais de fissuras no solo.

Ao analisar as características físico-químicas da água notou-se que a temperatura variou de 31,1 a 32,7 °C nas amostras coletadas durante os três testes realizados no horário entre 15 e 16 horas.

Quadro 1. Parâmetros analisados em laboratório.

Parâmetros	Chuva Fraca			Chuva Moderada			Chuva intensa			
	Unidade	Solo exposto	Gramínea	Solo com alface	Solo exposto	Solo com gramínea	Solo com alface	Solo exposto	Solo com gramínea	Solo com alface
PH	-	-	5,6	5,3	6,1	5	5,6	5,3	5,3	5,2
Turbidez	UNT	-	39,9	49,5	<b>1101</b>	35,3	36,9	<b>596</b>	40,2	17,5
Condutividade elétrica	$\mu\text{S cm}^{-1}$	-	175,8	155,5	<b>302</b>	<b>237</b>	<b>213</b>	121	140	109
Cor	$\text{mg Pt L}^{-1}$	-	550	550	550	510	550	550	550	320
Sólidos Sedimentáveis	mL/mL	-	>0,1	>0,1	27	0,7	0,3	30	>0,1	>0,1
Sólidos Suspensos	$\text{mg L}^{-1}$	-	0,035	0,038	<b>4,265</b>	0,022	0,017	<b>4,085</b>	0,416	0,005
Sólidos T. dissolvidos	$\text{mg L}^{-1}$	-	117,1	103,5	<b>198</b>	158	127,4	76,5	151	73
Cálcio	$\text{mg L}^{-1}$	-	<b>20,8</b>	16	<b>12,8</b>	11,2	9,6	8	12,8	3,2
Magnésio	$\text{mg L}^{-1}$	-	30,72	<b>33,6</b>	8,64	<b>37,44</b>	3,84	1,92	7,68	3,84
Nitrato	$\text{mg L}^{-1}$	-	0	0	0	0	0	0	0	0
Amônia	$\text{mg L}^{-1}$	-	3,82	<b>4,00</b>	<b>3,82</b>	3,22	0,37	0,21	<b>4,03</b>	1,67
Fósforo	$\text{mg L}^{-1}$	-	0,003	0,003	0,004	0,002	0,003	<b>0,121</b>	0	0,001

A concentração de turbidez no solo exposto (chuva moderada) ultrapassou de 1000 UNT, resultado 10 vezes superior ao valor considerado com padrão na resolução 357 CONAMA, que é de 100 UNT, para corpos hídricos considerados de Classe I e II (BRASIL, 2005).

Na terceira simulação o resultado mais elevado de turbidez também foi mantido no solo sem cobertura vegetal com 596 UNT, enquanto nos outros dois tipos de cobertura a turbidez foi em média de 36,1 UNT. Por outro lado, o solo coberto por alface na última simulação (chuva forte) foi o que teve menor de turbidez com 17,5 UNT. Os altos valores de turbidez indicaram que áreas com solo exposto sofrem mais com o potencial erosivo das chuvas, o que consequentemente intensifica a poluição da água, prejudicando seus usos múltiplos. Ao avaliar a qualidade da água em quatro nascentes com vegetação remanescente e atividades agrícolas, Donadio et al. (2005) constataram que os valores de turbidez foram mais acentuados nas áreas com predominância de agricultura.

Os valores de condutividade elétrica na água escoada no segundo teste de simulação foram maiores com 302, 237 e 213  $\mu\text{S cm}^{-1}$  no solo exposto, cobertura com gramínea e alface na simulação de chuva moderada, evidenciando a presença de substâncias dissolvidas na solução da água drenada.

Quanto aos valores correspondentes a cor foi de 550 mg Pt  $\text{L}^{-1}$  nos três eventos pluviais, exceto no solo com gramínea (chuva moderada) com 510 mg Pt  $\text{L}^{-1}$  e solo com alface (chuva forte) com 320 mg Pt  $\text{L}^{-1}$  a água drenada apresentou coloração escura, principalmente nas coberturas com gramínea e alface, devido a quantidade de material orgânico dissolvidos e partículas suspensas presentes na solução.

Os Sólidos Totais Dissolvidos presentes na água drenada tiveram maior valor no solo exposto na segunda simulação de chuva (intensidade moderada) com 198 mg  $\text{L}^{-1}$ , e o menor, na terceira simulação (forte) com cobertura de alface com 73 mg  $\text{L}^{-1}$ .

As maiores concentrações de sólidos suspensos foram obtidas no solo exposto, com valor de 4,265 mg  $\text{L}^{-1}$  na segunda simulação, e 4,085 mg  $\text{L}^{-1}$  na terceira, devido a maior quantidade de sedimentos perdidos quando a cobertura vegetal é ausente. A concentração de sólidos sedimentáveis foi mais elevada no solo exposto com 27 mL  $\text{L}^{-1}$  (chuva moderada) e 30 mL  $\text{L}^{-1}$  na simulação com chuva forte. O aporte de sedimentos no leito de rios e lagos provoca enchentes e assoreamento e outros impactos ambientais. A manutenção da vegetação as margens corpos de água funciona como barreira de proteção contribuindo na mitigação desses impactos (MARTINI et al., 2016).

Os maiores valores de cálcio foram observados na primeira simulação, onde as coberturas com gramínea e alface alcançaram valores de 20,8 e 16 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente. Já o menor valor obtido foi na cobertura com alface na última simulação com 3,2 mg L<sup>-1</sup>, indicando que no início da chuva os nutrientes já são perdidos pelo escoamento superficial e que após um evento pluvial intenso, grande quantidade de nutrientes da camada superficial do solo são transportados pela água da chuva.

Por outro lado, o magnésio teve maior concentração no solo coberto por gramínea na segunda simulação com perdas de 37,44 mg L<sup>-1</sup>, e na cobertura com alface (chuva fraca) com 33,6 mg L<sup>-1</sup>. As perdas de Cálcio e Magnésio foram mais altas na primeira e segunda simulação, indicando que quando a chuva fica mais intensa esses nutrientes são levados facilmente pelo fluxo da água e predispõe o solo a sofrer com acidez, representando prejuízos nas áreas agrícolas como gastos com aplicação de corretivos para tratamento do solo (FARIAS, 2013).

O valor de fósforo na água drenada do solo exposto na simulação de chuva intensa foi de 0,121 mg L<sup>-1</sup>, superior ao recomendado pela Resolução CONAMA n° 357/2005, onde o valor não pode ultrapassar de 0,020 mg L<sup>-1</sup> para águas de Classe I e II. O fósforo é um elemento de grande relevância para a fertilidade de solos agrícolas e suas perdas pela erosão hídrica podem ocasionar limitação do crescimento de plantas, principalmente na região amazônica, onde naturalmente os solos possuem baixos níveis desse macronutriente (FEARNSIDE; LEAL FILHO, 2001). Por outro lado, águas drenadas de áreas agrícolas tem risco de comprometer a qualidade dos corpos hídricos, devido a presença excessiva de fósforo, considerado um nutriente chave para causar a eutrofização em ambientes aquáticos.

A amônia apresentou valores máximos de 4,03 mg L<sup>-1</sup> (solo com gramínea com chuva forte), 4,00 mg L<sup>-1</sup> solo com alface (chuva fraca), 3,82 mg L<sup>-1</sup> no solo com gramínea (chuva fraca) e no solo exposto (chuva moderada). Os valores de nitrato foram zero em todas as amostras analisadas.

Verificou-se que na última simulação os valores da maioria das variáveis analisadas foram decrescendo, indicando as perdas de nutrientes do solo pelo escoamento da água, logo no início da chuva, devido a perda da camada superficial do solo (Horizonte A), onde fica disponível grande parte dos nutrientes. Bertol et al. (2011), esclareceram no experimento sob chuva simulada que início do escoamento superficial os teores de nutrientes são maiores no solo e com o aumento da enxurrada estes elementos vão sendo carreados e suas concentrações são reduzidas.

Ao estimar os custos da erosão hídrica em relação as perdas de nutrientes em solos sob diferentes condições de coberturas vegetais em quatro experimentos realizados, Dechen et al. (2015) constaram que a maior quantidade de cobertura vegetal reduziu consideravelmente às perdas de solo, água e nutrientes, enquanto a diminuição da densidade de vegetação elevaram as taxas de perdas nas áreas experimentais.

Ao comparar as alterações em atributos físicos do solo sob cultivo de hortaliças em produção orgânica e sistema convencional, Ramos et al. (2015) avaliaram que a incorporação de matéria orgânica melhorou a estabilidade dos agregados e contribuiu para a redução dos processos erosivos, causados pela ação das chuvas nas áreas de produção (MAIA; PARRON, 2015).

#### 5.4 Compartilhando conhecimentos em conservação dos recursos solo e água utilizando simulador de chuva

Em dia de campo, apresentou-se o simulador portátil para mais de 150 pessoas entre agricultores familiares de base agroecológica oriundos dos municípios de Santarém, Belterra e Mojuí dos Campos, além de estudantes, extensionistas, professores e pesquisadores que participaram do dia de campo na comunidade de Lavras em Santarém, Pará, Figura 12.



Figura 12: Apresentação do simulador portátil para agricultores no projeto IrrigaPote na Comunidade de Lavras, Santarém, Pará (A, B). Fonte: MARTORANO, L. G.; DOS SANTOS, I. A.

O simulador foi capaz de despertar aos participantes expressões de perplexidade sobre o processo erosivo das chuvas na ausência de cobertura vegetal. As perguntas realizadas pelos participantes durante as simulações reforçaram o quanto eles entenderam sobre a importância da cobertura vegetal na prevenção das funcionalidades dos solos, principalmente nas camadas superficiais onde há maior acúmulo de matéria orgânica (MO). Os resíduos das culturas agrícolas quando deixados na lavoura, aumenta o acúmulo da MO no solo, melhorando suas

características físicas, químicas e biológicas (VIEIRA et al., 2012). Além disso, gera outros benefícios como a diminuição da perda de água pelo escoamento superficial, atenuação do impacto da gota da chuva sobre a superfície do solo e amortecimento da velocidade do escoamento hídrica.

Na segunda e terceira campanha de campo o simulador de chuva foi apresentado a professores e estudantes na escola Waldemar Maués em Belterra. Foram realizadas simulações na presença de professores e estudantes da escola para obter informações verbal e visual sobre as percepções dos observadores quanto a importância do uso do simulador de chuva nas avaliações do processo de erosão hídrica no solo. Vale destacar que antes do início das simulações fez-se uma rodada de conversa para socializar todo o processo durante as etapas considerando eventos de chuva fraca, moderada e forte. Também, a equipe de orientação do TCC e orientanda fizeram uma explanação sobre a aplicação dos fundamentos básicos obtidos em disciplinas como física, matemática, geografia, biologia e química. As percepções expressas durante as simulações foram associadas em nível de aplicabilidade da energia potencial e cinética, oriundos da disciplina de física, bem como os ensinamentos teóricos de química sendo aplicados nas avaliações de pH, turbidez, cor e temperatura da água. O acúmulo de sedimentos no canal de escoamento da água ao recipiente coletor representou como os corpos hídricos são assoreados pelo carreamento de partículas de solo.

Os estudantes tiveram a oportunidade de acompanhar o tempo de duração das simulações, cor do material drenado, volume coletado em cada unidade de coleta no simulador, bem como as medições de temperatura da água e pH. Os estudantes fizeram perguntas e suas dúvidas foram esclarecidas durante as simulações de campo na escola, conforme representado na Figura 13.



Figura 13: Roda de conversa durante as simulações em Belterra escola Waldemar Maués (A, B, C).  
Fonte: MARTORANO, L. G.; DOS SANTOS, I. A.

Nos testes pluviais com o uso do simulador portátil os estudantes visualizaram a importância de uma prática conservacionista do solo que é a cobertura vegetal que protege o solo do impacto direto das gotas da chuva, minimizando o escoamento superficial (perda de

água, solo e nutrientes), melhorando a capacidade de retenção e infiltração da água no solo (CAPECHE, 2009). Os alunos puderam observar as características da água escoada e a quantidade de sedimentos perdidos pela erosão hídrica, percebendo, portanto, os prejuízos econômicos e impactos ambientais que pode ser desencadeado quando não é adotado um sistema de manejo conservacionista do solo (SOUZA, 2004).

As campanhas de campo de sensibilização com a demonstração do processo erosivo das chuvas por meio do simulador de chuva serviu para orientar e informar produtores sobre os problemas decorrentes da erosão hídrica em solos sem manejo conservacionista.

Comin e Lovato (2014) chamaram a atenção para a valorização dos agricultores, expondo que não é necessário apenas garantir a segurança alimentar, mas também refletir sobre as questões socioeconômicas que envolvem o homem do campo, visando assegurar uma renda digna e melhorias nas condições de vida e trabalho dessas famílias.

A sensibilização ambiental dos agricultores na defesa da qualidade do meio ambiente está prevista na Política Nacional de Educação Ambiental Lei nº 9.795/1999. No âmbito das escolas as ações de sensibilização ambiental também são necessárias para o engajamento e participação coletiva dos estudantes na defesa do meio ambiente (BRASIL, 1999).

### 5.5 Termografia infravermelho para apontar indicadores térmico-hídricos durante eventos pluviais erosivos em simulador portátil

Eventos pluviais com alto potencial erosivo estão associados a intensificação do escoamento hídrico superficial que dependendo do tipo de cobertura do solo podem ocasionar desmoronamento de encostas, fortes enxurradas, rompimento de contenções, pontes e tantos outros impactos ambientais. No instante em que esses eventos ocorrem, normalmente não são detectadas as condições térmicas das superfícies que recebem a carga hídrica.

Ao observar as condições térmicas detectadas no instante que iniciaram os testes de simulação no campo, verificou-se que o telhado estava em média com temperaturas de 53,5°C, porém os máximos valores foram de 57,8°C e os mínimos de 49,1°C, evidenciando que na telha de cerâmico a temperatura estava em média com valor superior a 50°C. Por outro lado, na superfície gramada no solo as condições térmicas estavam em média com 18,7°C inferior os valores médios no telhado, ou seja, em termos absolutos a temperatura média no solo gramado foi de 34,9°C.

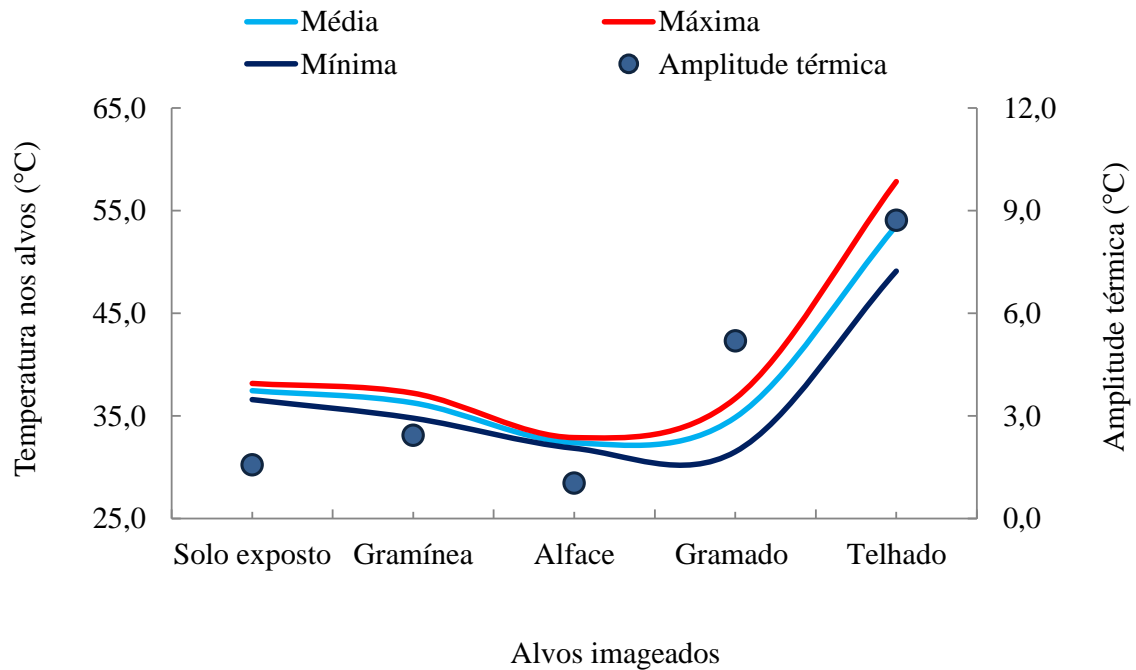


Figura 14: Condições térmicas em alvos no simulador e no seu entorno

Em câmera termográfica detectou em média nos alvos de cada garrafão os seguintes valores: 37,5°C solo exposto; 36,3° solo com gramínea em plena atividade vegetativa; e, 32,4°C no solo contendo alface. Nota-se que a menor amplitude térmica foi detectada no garrafão contendo alface (Figura 15). Como a estrutura das plantas de alface estava em com mais uniformidade em crescimento vegetativo, o processo evapotranspiratório é o fator que pode explicar essa atenuação de calor, o que pode explicar a capacidade de infiltração no solo e o escoamento superficial mais lento durante as etapas de simulação de chuva.

Observou-se nos termogramas antes das simulações no recipiente com solo exposto as temperaturas apresentavam valores superiores aos demais alvos, sendo em média 36,2°C. Como não havia presença de vegetação a amplitude térmica foi a mais baixa, contabilizando-se 1,2°C. No recipiente cujo solo estava coberto com gramínea os valores térmicos médio foram de 33,7°C, seguido da alface que estava com 31,1°C.

Vale destacar que a alface estava em fase de crescimento, totalizando cerca de 10 dias após o transplante no recipiente do simulador, totalizando em médio 6 folhas por muda de alface. As amostras nos termogramas após as simulações de chuva indicaram que houve difusão térmica, com reduções nos valores obtidos em cada alvo. Vale ressaltar que a amplitude térmica antes das simulações no recipiente com alface apresentava valores de 4,8°C, que decaíram para 1,5°C após os eventos pluviais simulados (Figura 15).

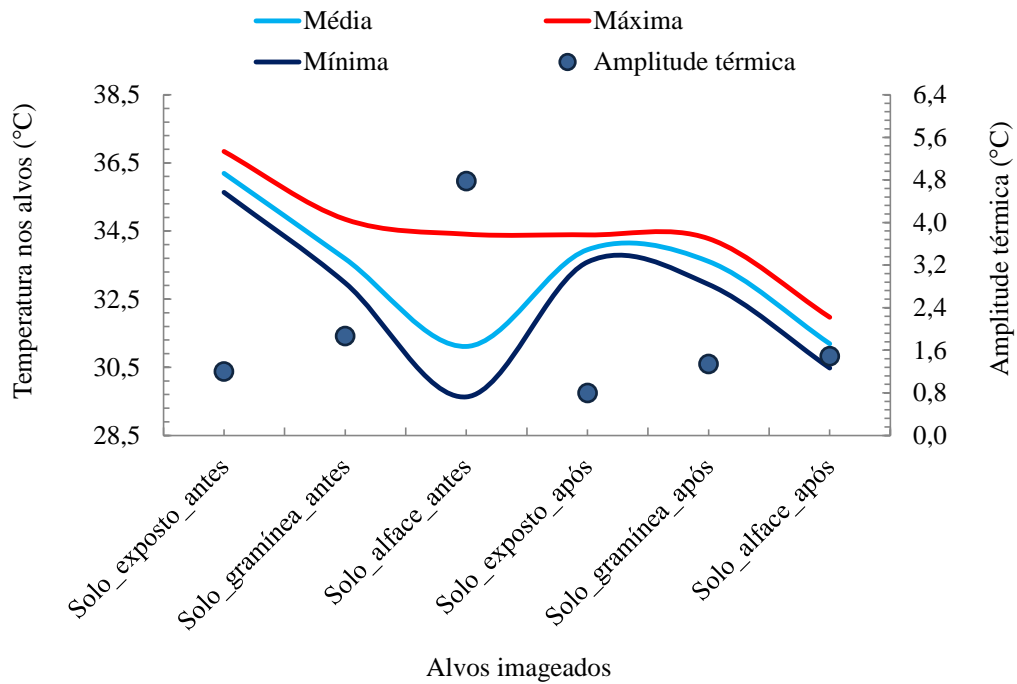


Figura 15: Temperaturas máximas, mínimas, médias e amplitudes térmicas antes e após os testes pluviais.

Em se tratando da temperatura na estrutura do simulador e no gramado do pátio da escola identificou-se que nos tubos de saída de água drenada quando ainda estava seco, tendo valores médios de 34,8°C.

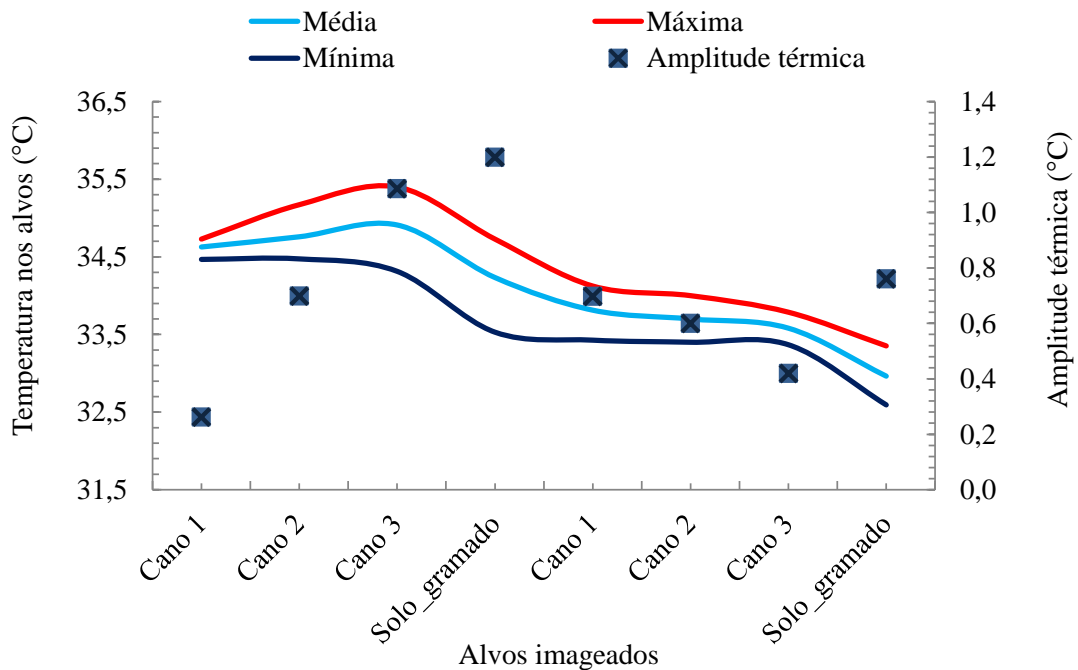


Figura 16: Temperatura nas saídas das tubulações e solo gramado no início e final das simulações.

Notou-se que no final das simulações as temperaturas médias nos três tubos reduziram de 34,8°C para 33,7°C. No solo com gramado verificou-se que a temperatura máxima extraída foi 34,7°C as 13h:57' antes dos procedimentos de coleta de campo, enquanto a máxima registrada as 15h:38' (finalizando as simulações) foi de 33,4°C (Figura 16).

## 6 CONCLUSÕES

O potencial erosivo das chuvas em Belterra apresenta valores elevados evidenciando a importância de manutenção da cobertura vegetal do solo, em cultivos agrícolas como estratégia mitigadora da erosão hídrica no polo de grãos quando os cultivos anuais predisõem o solo ao impacto das gotas de chuva.

Em anos com anomalias climáticas como anos com La Niña considerados como fortes, o volume de chuva se intensifica, ampliando-se os danos pelo o processo hídrico erosivo. Por outro lado, anos de El Niño forte intensificam os meses com redução das chuvas na região, ocasionando secas severas com riscos de queimadas que reduzem a cobertura vegetal, principalmente ampliando-se as áreas com exposição do solo às intempéries climáticas. O nível de água no rio Tapajós é um forte indicativo de efeitos integrados no carreamento entre a ocorrência de eventos pluviais e suas respostas no nível dos rios na bacia do Tapajós.

O aumento da área destinada ao cultivo de grãos entre 2014 a 2016 reflete a preocupação quanto a adoção de práticas conservacionistas como o sistema plantio direto na palha para evitar que o processo erosivo da chuva cause impacto ambiental como os ocorridos em outras regiões do Brasil.

Notou-se que o solo exposto em eventos pluviosos retém água por infiltração, mas com o decorrer das simulações, existe um desmoronamento de partículas com liberação rápida e intensa do material drenado, ocasionando visualmente o rompimento das partículas do solo e, conseqüentemente as perdas de material se intensificam, evidenciando o início do processo erosivo nas áreas cultivadas com baixa cobertura vegetal.

A apresentação do simulador de chuva no dia de campo despertou curiosidade e interesse nos agricultores, estudantes e comunitários presentes, chamando a atenção para os cuidados com o uso e conservação do solo e da água em áreas agrícolas.

Os testes a campo possibilitaram avaliar em simulador portátil efeitos de condições térmicas e hídricas com auxílio da termografia infravermelho. O contraste térmico nos diferentes alvos reforça a importância do uso da termografia IR para comparar diferentes processos que ocorrem no momento do impacto da gota da chuva nos respectivos alvos.

A termografia IR é uma ferramenta que permite diagnosticar em tempo real os valores de temperatura das superfícies por onde a água será drenada em caso de um evento pluvial erosivo, auxiliando na sensibilização de atores sociais, quanto os possíveis danos por quebra de estruturas superaquecidas no instante em que os eventos pluviais erosivos ocorrem na região.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIOVE. Associação Brasileira de Óleos Vegetais. Disponível em: [http://www.abiove.org.br/site/\\_FILES/Portugues/25092014-150644-25\\_09\\_2014-\\_reuters.pdf](http://www.abiove.org.br/site/_FILES/Portugues/25092014-150644-25_09_2014-_reuters.pdf). Acesso em: 18 de dez. 2017.
- AGUIAR, C. P. O.; PELEJA, J. R. P.; SOUSA, K. N. S. Qualidade da água em microbacias hidrográficas com agricultura nos municípios de Santarém e Belterra, Pará. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v. 38, n.6, p. 983-992, 2014.
- AGUIAR, C. P. O.; PELEJA, J. R. P.; SOUSA, K. N. S. Nível de trofia em microbacias hidrográficas sob diferentes usos de solo, na região amazônica. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 20, n. 4, p. 1093–1102. Porto Alegre, out./dez. 2015.
- ALMEIDA, A. Q. et al. Modelagem da dependência espacial do índice de erosividade das chuvas no semiárido brasileiro. *Pesquisa agropecuária brasileira*, Brasília, v. 52, n. 6, p. 371-379, 2017. DOI: 10.1590/S0100-204X2017000600001.
- ALVES, M. C.; CABEDA, M. S. V. Infiltração de água em um podzólico vermelho-escuro sob dois métodos de preparo, usando chuva simulada com duas intensidades. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 23, 753-761, 1999.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Disponível em: [www.ana.gov.br/hidroweb](http://www.ana.gov.br/hidroweb). Acesso em: 20 de agosto de 2017.
- BAGATINI, T.; COGO, N. P.; GILLES, L.; PORTELA, J. C.; PORTZ, G.; QUEIROZ, E. T. Perdas de solo e água por erosão hídrica após mudança no tipo de uso da terra, em dois métodos de preparo do solo e dois tipos de adubação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35: p. 999-1011, 2011.
- BARBOSA, A. M. S.; MARTORANO, L. G.; SANTOS, L. S.; MORAES, J. R. S. C.; MAIA, N. J. C.; SANTOS, A. S. Oferta pluvial e estimativa do potencial erosivo das chuvas em Belém-Pa. XXXVI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Amazônia e seus solos: Peculiaridades e potencialidades. 30 de julho a 04 agosto de 2017.
- BATALHA, S. S. A.; MARTORANO, L.G.; BIASE, A. G.; MORALES, G. P.; PONTES, A. N.; SANTOS, L. S. Condições físico-químicas e biológicas em águas superficiais do Rio Tapajós e a conservação de Floresta Nacional na Amazônia, Brasil. *Revista Ambiente & Água*, vol. 9 n. 4, Taubaté - Oct. / Dec, 2014.
- BERTOL, I.; MELLO, E. L.; COGO, N. P.; VÁSQUEZ, E. Q.; GONZALÉZ, A. P. Parâmetros relacionados com a erosão hídrica sob taxa constante da enxurrada, em diferentes métodos de preparo do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 30, 715-722, 2006.
- BERTOL, I.; ZOLDAN JUNIOR, W. A.; GONZALÉZ, A. P.; BARBOSA, S. T.; WERNER, R. S. Sediment transport in runoff on rugous soil surface submitted to simulated rainfall. *Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.)*, v. 67, n. 5, p. 591-597, 2010.

BERTOL, I. GOBBI, E.; BARBOSA, F. T.; PAZ-FERREIRO, J.; RAMOS, J. C.; WERNER, T. S. Erosão hídrica em campo nativo sob diversos manejos: perdas de água e solo e de fósforo, potássio e amônio na água de enxurrada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35: p. 1421-1430, 2011.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução Conama nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <[https:// www.mma.gov.br/conama](https://www.mma.gov.br/conama)>. Acesso em: 20 de jun. 2017.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. Manual prático de análise de água. Fundação Nacional de Saúde. 4. ed. – Brasília: Funasa, 2013, 150 p.

BRASIL. Política Nacional de Educação Ambiental. Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9795.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9795.htm). Acesso em 08 jan. 2015.

CALDARA, F. R. et al. Piglets Surface Temperature Change at Different Weights at Birth. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, v. 27, n. 3, p. 431-438, 2014.

CAPECHE, C. L. Confecção de um simulador de erosão portátil para fins de educação ambiental. Dados eletrônicos. — Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 31 p.

CAPRARIO, J.; RECH, A. S.; CAPRARIO, G. N.; FINOTTI, A. R. Simulação Hidrossedimentológica da Bacia Hidrográfica do Rio Quatorze, Francisco Beltrão (Paraná, Brasil). *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ* v 40 – 1, p. 102-114, 2017. ISSN 0101-9759 e-ISSN 1982-3908.

CARDOSO, D. P.; SILVA, M. L. N.; CARVALHO, G. J.; FREITAS, D. A. F.; AVANZI, J. C. Plantas de cobertura no controle das perdas de solo, água e nutrientes por erosão hídrica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, n. 6, p. 632–638, Campina Grande, PB, 2012.

CARVALHO, M. F. O.; CARDOSO, M. F.; ALMEIDA, B. N. Estimativa do Risco de Incêndios Florestais com Base em Fitofisionomias e Fatores Climáticos. *Biodiversidade Brasileira*, 6, (2), p. 187-204, 2016.

CASSOL, E. A.; COGO, N. P. Programa de pesquisa em conservação de solos no Brasil: estado do Rio Grande do Sul, Secretaria da Agricultura IPRNR e Faculdade de Agronomia. In: Encontro Nacional Sobre Pesquisas de Erosão Com Simuladores de Chuva, 1, p. 32-43, Londrina, IAPAR, EMBRAPA, 1975.

CETESB. Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo. Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos Sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem. SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE, 2009. GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. 2009.

COELHO, R. C. T. P.; BUFFON, I.; GUERRA, T. Influência do uso e ocupação do solo na qualidade da água: um método para avaliar a importância da zona ripária. *Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*: v. 6, n. 1, 2011.

COGO, N. P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R. A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27, 743-753, 2003.

COMIN, J. J.; LOVATO, P. E. Manejo para qualidade do solo. Departamento Universidade Federal de Santa Catarina. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Centro Tecnológico, Florianópolis, [s. n.], 2014, 55 p.

CORREA, I. M. C.; BERTOL, I.; RAMOS, J. C.; TAKIZAWA, M. M. Rugosidade da Superfície de um Cambissolo Húmico Relacionada com o Preparo e Compactação do Solo Sob Chuva Natural. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36:567-576, 2012.

COSTA, D. C.; MARTORANO, L. G.; MORAES, J. R. S. C. Potencial erosivo e índice de anomalias de chuvas no polo de produção de grãos de Paragominas, Pará. XVIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 02 a 06 de Setembro de 2013 – Centro de Convenções e Eventos Benedito Silva Nunes, Universidade Federal do Pará, Belém, PA.

CUNHA, G. R.; PIRES, J. L. F.; DALMAGO, D. A.; SANTI, A.; PASINATO, A.; SILVA, A. A. G.; ASSAD, E. D.; ROSA, G. M. El Niño e Lã Niña. Oscilação sul e seus impactos na agricultura brasileira. Fatos, especulações e aplicações. *Revista plantio direto*, 2011.

DANIELESCU, S.; MACQUARRIE, K. T. B.; FAUX, R. N. A integração da imagem infravermelha térmica, medições de descarga e simulação numérica para quantificar as contribuições relativas dos influxos de água doce para pequenos estuários no Canadá Atlântico. *Processos Hidrológicos*, 2009, 23 (20), p. 2847-2859. doi: 10.1002 / hyp.7383.

DECHEN, S. C. F.; TELLES, T. S.; GUIMARÃES, M. F.; DE MARIA, I. C. Perdas e custos associados à erosão hídrica em função de taxas de cobertura do solo. *Bragantia*, Campinas, v. 74, n. 2, p.224-233, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.0363>.

DIAS FILHO, M. B. Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação. 4. Ed. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2011. 215 p.

DONADIO, N. M. M.; GALBIATTI, J. A.; DE PAULA, R. C. Qualidade da água de nascentes com diferentes usos do solo na bacia hidrográfica do Córrego Rico, São Paulo, Brasil. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.25, n.1, p.115-125, jan./abr. 2005.

EDDY, A.L.; VAN HOOGLMOED, L.M.; SNYDER, J.R. The role of thermography in the management of equine lameness. *The Vet J.* 162: 172-181, 2001. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1090023301906185>.

ELTZ, F. L. F.; CASSOL, E. A.; PASCOTINI, P. B. Potencial erosivo e características das chuvas de Encruzilhada do Sul, RS. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 15, n. 4, p. 331–337, Campina Grande, PB 2011.

FARIAS, V. L. S. concentração de nutrientes e qualidade da água de enxurrada em entressulcos. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Jaboticabal, 2013, 46 p.

FEARNSIDE, P. M. A previsão de perdas de terra através de erosão do solo sob vários usos de terra na área de colonização da Rodovia Transamazônica. *Acta Amazônica*, 10, (3), p. 505-511, 1980.

FEARNSIDE, P. M. O cultivo da soja como ameaça para o meio ambiente na Amazônia brasileira. p. 281-324, 2006. In: L.C. Forline, R. S. S. Murrieta and I. C. G. Vieira (eds.) *Amazônia além dos 500 Anos*. Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém, Pará, Brasil. 566 p.

FEARNSIDE, P. M.; LEAL FILHO, N. Soil and development in Amazonia: Lessons from the Biological Dynamics of Forest Fragments Project. p. 291-312, 2001. In: R. O. Bierregaard, C. Gascon, T.E. Lovejoy e R. Mesquita (eds.) *Lessons from Amazonia: The Ecology and Conservation of a Fragmented Forest*. Yale University Press, New Haven, Connecticut, U.S.A. 478 p.

FERREIRA, V. M. O. S.; FRANCISCO, N. S.; BELLONI, M.; AGUIRRE, G. M. Z.; CALDARA, F. R.; NÄÄS, I. A.; GARCIA, R. G.; ALMEIDA, I. C. L.; POLYCARPO, G. V. Infrared thermography applied to the evaluation of metabolic heat loss of chicks fed with different energy densities. *Brazilian Journal of Poultry Science*, Campinas, v. 13, n. 2, p. 113-118, 2011.

GALDINO, S. Distribuição espacial da erosividade da chuva no Estado de Goiás e no Distrito Federal. Campinas. Embrapa Monitoramento por Satélite, 2015, 19 p.

GALDINO, S.; VIEIRA, L. M.; PELLEGRIN, L. A. Impactos Ambientais e Socioeconômicos na Bacia do Rio Taquari-Pantanal. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2006, 356 p.

GALDINO, S.; VIEIRA, L. M.; SORIANO, B. M. A (Editores). *Erosão na Bacia do Alto Taquari*. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2003, 46p.

GEBLER, L.; BERTOL, I.; GOBBI, E.; LOUZADA, J. A. F. Comportamento do Arraste Superficial de Fósforo Reativo por Enxurrada sob Diferentes Coberturas Vegetais na Cultura da Maçã em Regime de Chuvas Simuladas. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 17, n. 2, p. 101-110, 2012.

GILLE, F. S. S.; MOTA, M. A. S. importância das condições termodinâmicas nos eventos extremos de precipitação na cidade de Belém e região metropolitana. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 29, n. esp., p. 73 - 82, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/0102-778620130066>.

HICKMANN, C.; ELTZ, F.; CASSOL, E. A.; COGO, C. M. Erosividade das chuvas em Uruguaiana, RS, determinada pelo índice EI30, com base no período de 1963 a 1991. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32 n. 2 Viçosa, 2008.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=150145&search=para|belterra>. Acesso em 18 de agosto de 2017 (a).

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produção Agrícola Municipal. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/agricultura-e-pecuaria.html>. Acesso em: 15 dez. 2017 (b).

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. Acesso em: 20 ago. 2017.

LIBÂNIO, M. *Fundamentos de qualidade e tratamento de água*. 3º edição. Campinas, São Paulo: Editora Átomo, 2010

LIMBERGER, L.; SILVA, M. E. S. Precipitação na bacia amazônica e sua associação à variabilidade da temperatura da superfície dos oceanos Pacífico e Atlântico: uma revisão. *Geosp–Espaço e Tempo (Online)*, v. 20, n. 3, p. 657-675, 2016.

LOMBARDI NETO, F. Rainfall erosivity – its distribution and relationship with soil loss at Campinas, Brazil. Dissertação Mestrado. West Lafayette: PurdueUniversity, 1977, 53p.

MAIA, C. M. B. F.; PARRON, L. M. Matéria orgânica como indicador da qualidade do solo e da prestação de serviços ambientais. In: Parron, L. M. et al. (Editores). *Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica* [recurso eletrônico]. – Brasília, DF: Embrapa, 2015, 370 p.

MARTORANO, L. G.; LISBOA, L.; MEIRELLES, M. S. P.; SCHULER, A. Erosive Potential of Rainfalls in the Climate Change Scenarios in the Upper Taquari RiverMBasin, MS, Brazil. Conference on International Research on Food Security, Natural Resource Management and Rural Development. Hamburg, German 2009.

MARTORANO, L. G.; GALDINO, S.; D' AGOSTINI, L. R.; PONCE, S. A. HERNANI, L. C.; CUPERTINO, J. L.; COSTA, C. A.; VIEIRA, L. M.; ROSSO, J.; COSTA, A. R. C.; RAMALHO FILHO, A.; COUTINHO, H. L. C. Índice de desempenho ambiental na Bacia do Alto Taquari, MS: Aspectos metodológicos. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPNS, 2002. 30p.

MARTORANO, L. G.; NECHET, D.; PEREIRA, L. C. Tipologia climática do Estado do Pará: adaptação do método de Köppen. *Boletim de Geografia Teorética*, v. 23, p. 45-46, 1993.

MARTORANO, L. G.; LISBOA, L. S.; VILLA, P. M.; MORAES, J. R. S. C.. Fragilidade das terras pelo processo erosivo das chuvas em áreas antrópicas e declivosas na Amazônia Legal. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 36, 2017, Belém, PA: SBCS. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/167619/1/2115-31052017-2224541.pdf>. Acesso em: 05 de jan. 2018.

MARTORANO, L. G.; PEREIRA, L. C.; COSTA, A. C. L. Variabilidade da Precipitação pluviométrica em Belém-Pará Associada ao Fenômeno “El Niño”. In: *Anais do VII Congresso Brasileiro de Meteorologia*, São Paulo, 1992.

MELLO, C. R.; CAROLINO DE SÁ, CURI, N., MELLO, J. M.; VIOLA, M. R.; SILVA, A. M. Erosividade mensal e anual da chuva no Estado de Minas Gerais. *Pesquisa agropecuária brasileira*, v. 42, n. 4, p. 537-545, Brasília, 2007.

MINERVINO, A. H. H.; CARDOSO, E. C.; ORTOLANI, E. L. Características do sistema produtivo da pecuária no município de Santarém, Pará. *Acta Amazonica*, v. 38,(1), p. 11 – 16, 2008.

MONTENEGRO, A. A. A.; ABRANTES, J. R. C. B.; DE LIMA, J. L. M. P.; SINGH, V. P.; SANTOS, T. E. M. Impact of mulching on soil and water dynamics under intermittent simulated rainfall. *Catena*. 2013; 109: 139-149. doi: 10.1016 / j.catena.2013.03.018.

MORAES, J. R. S. C.; MARTORANO, L. C.; BATISTA, V. H. S.; SILVA, G. M. et al. Índice de anomalias de precipitação pluvial associados aos fenômenos Enos no município de Santarém, Pará. Apresentado no XVIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Centro de Convenções e Eventos Benedito Silva Nunes, Universidade Federal do Pará, Belém, PA, 2013.

OLIVEIRA JUNIOR, R. C. de. Índice de erosividade das chuvas na região de Conceição do Araguaia, Pará. Belém: EMBRAPA-CPATU, 1996. 20p.

OLIVEIRA, C. M.; SANTANA, A. C.; HOMMA, A. K. O. Os custos de produção e a rentabilidade da soja nos municípios de Santarém e Belterra, estado do Pará. *Acta Amazônica*, v. 43, (1), p. 23-32, 2013.

PANACHUKI, E.; BERTOL, I.; SOBRINHO, T. A.; OLIVEIRA, P. T. S.; RODRIGUES, D. B. B. Perdas de solo e de água e infiltração de água em Latossolo Vermelho sob sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35, p. 1777-1785, 2011.

PANAGOS, P.; STANDARDI, G.; BORRELLI, P.; LUGATO, E.; MONTANARELLA, L.; BOSELLO, F. Cost of agricultural productivity loss due to soil erosion in the European Union: From direct cost evaluation approaches to the use of macroeconomic models. *Land Degradation and Development*, p. 1–14, 2018. DOI: 10.1002/ldr.2879.

PFISTER, L., M. C.; DONNELL, J. J.; HISSLER C., HOFFMANN, L. Ground-based thermal imagery as a simple, practical tool for mapping saturated area connectivity and dynamics. *Hydrological Processes*, 24 (21), 3123–3132, 2010. doi: 10.1002/hyp.7840.

PISMEL, V. A. M.; MARTORANO, L. G.; MONTEIRO, D. C. A.; LISBOA, L. S. S. Focos de Calor Associados ao Efeito do El Nino na Floresta Nacional do Tapajós e Seu Entorno. *Revista Brasileira de Climatologia*, Ano 122, v. 19, 2016. ISSN 1980-055X.

PORTELA, J. C.; COGO, N. P.; AMARAL, A. J.; BAGATINI, T.; CHAGAS, J. P.; PORTZ, G. Hidrogramas e sedimentogramas associados à erosão hídrica em solo cultivado com diferentes sequências culturais, com diferentes condições físicas na superfície. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35, p. 225-240, 2011.

PORTOCARRERO, H. ANDRADE, A. G.; CAMPOS, T. M. P.; FERNANDES, N. F. Aspectos Hidrológicos e Mecânicos da Vegetação na Estabilidade de Taludes e Encostas Naturais. Embrapa Solos, Rio de Janeiro, 2006.

RAMOS, M. R.; FAVARETTO, N.; UHLMANN, A. DIECKOW, J.; VEZZANI, F.; ALMEIDA, L. Produção de hortaliças no sistema orgânico: efeito nos atributos físicos do solo. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 58, n. 1, p. 45-51, jan./mar. 2015.

REIBOTA, M. S.; SANTOS, I. A. Influência de alguns padrões de teleconexão na precipitação no norte e nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia*, 15 (10): 28: 48. doi.org/10.5380/abclima. v. 15, 2014.

RIEGER, F. A.; ZOLIN, C. A.; MAGALHÃES, C. A. S.; PAULINO, J.; FARIAS NETO, A. L.; MENEGUCI, J. L. P. Perda de água e sedimentos em diferentes usos do solo. II INOVAGRI. International Meeting. <http://dx.doi.org/10.12702/ii.inovagri>. 2014.

ROOY, M. P. A rainfall anomaly index independent of time and space. *Notos*, Pretoria, v. 14, p. 43-48, 1965.

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. *Revista Ambiente & Água*, v. 11 n. 4 Taubaté, doi:10.4136/1980-993X. 2016.

SALTON, J. C. J.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, C, CONCEIÇÃO, P. C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. M. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em mato grosso do sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32, p. 11-21, 2008.

SANTOS, G. G.; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L. F. C. Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, n. 2, p. 115–123, Campina Grande, PB, 2010.

SANTOS, L. S.; MARTORANO, L. G.; BATALHA, S. S. A.; PONTES, A. N.; SILVA, O. M.; WALTRIN, O. S.; GUTIERREZ, C. B. B. Imagens orbitais e termografia infravermelho na avaliação da temperatura de superfície em diferentes usos e cobertura do solo na floresta nacional do Tapajós e seu entorno- PA. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 09, n. 04, p. 1234-1253, 2016.

SANTOS, L. S.; MARTORANO, L. G.; GUTIERREZ, C. B. B.; PONTES, A. N.; SILVA, O. M.; GUTIERREZ, D. M. G.; Aspecto Fisiográficos da Floresta Nacional do Tapajós e seu Entorno – Oeste do Pará, Brasil. *Revista espacios*, v. 38, (Nº 02), 2017.

SANTOS, S. R. Q.; BRAGA, C. C.; SANTOS, A. P. P.; BRITO, J. I. B.; CAMPOS, T. L. O. B. Classificação de eventos extremos de precipitação em múltiplas escalas de tempo em Belém-PA: Utilizando o índice de precipitação normalizada. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 7, (4), 629-635, 2014.

SANTOS, T. E. M.; MONTENEGRO, A. A. A. Erosividade e padrões hidrológicos de precipitação no Agreste Central pernambucano. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, n.8, p.971-880, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662012000800009>.

SCHUETZ, T.; WEILER, M.; LANGE, J.; STOELZLE, M. Twodimensional assessment of solute transport in shallow waters with thermal imaging and heated water. *Advances in Water Resources*, v. 43, p. 67-75, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.advwatres.2012.03.013>.

SODRÉ, S. S. V. Hidroquímica nos lagos Bolonha e Água Preta, mananciais de Belém-Pará. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Pará. Belém-PA. 2007, 114 p.

SOUSA, G. B.; FILHO, M. V. M.; MATIAS, S. S. R. Perdas de solo, matéria orgânica e nutrientes por erosão hídrica em uma vertente coberta com diferentes quantidades de palha de cana-de-açúcar em Guariba, SP. *Eng. Agrícola Jaboticabal*, v.32, n.3, p.490-500, maio/jun., 2012.

SOUZA, M. D. Desenvolvimento e Utilização de um Simulador de Chuvas para Estudos de Atributos Físicos e Químicos do Solo Relacionados a Impactos Ambientais. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2004, 20 p.

SPERANDIO, H. V. CECÍLIO, R. A.; CAMPANHARO, W. A.; DEL CARO, C. F. HOLLANDA, M. P. Avaliação da erosão hídrica pela alteração na superfície do solo em diferentes coberturas vegetais de uma sub-bacia hidrográfica no Município de Alegre, ES. *Ciências Agrárias*, Londrina, v. 33, n. 4, p. 1411-1418, jul./ago. 2012. DOI: 10.5433/1679-0359.2012v33n4p1411.

SPOHR, R. B. Desenvolvimento e validação de um simulador de chuvas portátil. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. Versão On-line ISSN 2318-0331 *RBRH* vol. 20 n. 2, Porto Alegre abr./jun. p. 411 – 417, 2015.

TORRES, J. L. SOUZA, Z. M.; PEREIRA, M. G.; ASSIS, R. L. Atributos indicadores da qualidade do solo numa área sob plantio direto ha doze anos. *Comunicata Scientiae*, 6 (2), p. 123-133, 2015.

VANZELA, L. S.; HERNANDEZ, L. B. T.; FRANCO, R. A. M. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, PB, v.14, n.1, p.55–64, 2010.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Agregação e estoque de carbono em Argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35, p. 213-223, 2011.

VIEIRA, R. C. B.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; ANGHINONI, I.; ERNANI, P. R.; MORAES, R. P. Critérios de calagem e teores críticos de fósforo e potássio em Latossolo sob plantio direto no centro sul do Paraná. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 37, p. 188-198, 2012.

VISCHI FILHO, O. J.; CORSATO, L. G.; QUIESSI, J. A.; KANNO, O. Y.; PENTEADO, R. B.; ARABORI, R. M.; BERLOTE, L. C. C.; LIMA, M. E. Diagnóstico e reabilitação agroambiental de trecho de bacia hidrográfica por sensoriamento remoto e turbidez da água. *Pesq. agropecuária brasileira*, Brasília, v.51, n. 9, p. 1099-1109, 2016. DOI: 10.1590/S0100-204X2016000900009.

VOLK, L. B. S.; COGO, N. P. Erosão hídrica, em três momentos da cultura do milho, influenciada por métodos de preparo do solo e semeadura. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 8, p. 565-574, 2014.

VOLK, L. B. S.; COGO, N. P.; STRECK, E. V. Erosão hídrica influenciada por condições físicas de superfície e subsuperfície do solo resultantes do seu manejo, na ausência de cobertura vegetal. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28: p. 763-774, 2004.

WALTRICK, P. C.; MACHADO, M. A. M.; DIECKOW, J.; OLIVEIRA, D. Estimativa da erosividade de chuvas no estado do Paraná pelo método da pluviometria: atualização com dados de 1986 a 2008. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 39:256-267, 2015. DOI: 10.1590/01000683rbc20150147.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, O. O. Prediction rainfall erosion losses-aguide to conservation planning. Washington: USOA (USOA Agricultural Handbook, 537). 1978, 58p.

ZOLIN, C. A.; PAULINO, J.; MATOS, E. S.; MAGALHÃES, C. A. S.; ALMEIDA, F. T. SOUZA, A. D.; MINGOTI, R. Perda de solo e água sob integração lavoura-floresta e em sucessão soja-milho. *Pesquisa agropecuária brasileira*, Brasília, v.51, n.9, p.1223-1230, set. 2016. DOI: 10.1590/S0100-204X2016000900022.