



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO SEMIÁRIDO  
UNIDADE ACADÊMICA DE TECNOLOGIA DO DESENVOLVIMENTO  
CURSO DE ENGENHARIA DE BIOSISTEMAS**

**MILENA FARIAS RIBEIRO**

**QUANTIFICAÇÃO DAS PERDAS DE FÓSFORO EM SEDIMENTOS DE UM  
LUVISSOLO COM E SEM COBERTURA VEGETAL NO CARIRI PARAIBANO**

**SUMÉ - PB**

**2023**

**MILENA FARIAS RIBEIRO**

**QUANTIFICAÇÃO DAS PERDAS DE FÓSFORO EM SEDIMENTOS DE UM  
LUVISSOLO COM E SEM COBERTURA VEGETAL NO CARIRI PARAIBANO**

**Monografia apresentada ao Curso Superior de Engenharia de Biossistemas do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharela em Engenharia de Biossistemas.**

**Orientador: Prof. Dr. Rummenigge de Macêdo Rodrigues**

**SUMÉ-PB**

**2023**



R484q Ribeiro, Milena Farias.  
Quantificação das perdas de fósforo em sedimentos de um luvissole com e sem cobertura vegetal no Cariri Paraibano. / Milena Farias Ribeiro. - 2023.

31 f.

Orientador: Professor Dr. Rummenigge de Macêdo Rodrigues.

Monografia - Universidade Federal de Campina Grande; Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido; Curso de Engenharia de Biosistemas.

1. Erosão do solo. 2. Perda de fósforo - solo. 3. Luvissole - perda de fosforo. 4. Cariri Paraibano - luvissole. 5. Manejo e conservação do solo. 6. Semiárido Paraibano. I. Rodrigues, Rummenigge de Macêdo. II. Título.

CDU: 631.4(043.1)

**Elaboração da Ficha Catalográfica:**

Johnny Rodrigues Barbosa  
Bibliotecário-Documentalista  
CRB-15/626

**MILENA FARIAS RIBEIRO**

**QUANTIFICAÇÃO DAS PERDAS DE FÓSFORO EM SEDIMENTOS DE UM  
LUVISSOLO COM E SEM COBERTURA VEGETAL NO CARIRI PARAIBANO**

**Monografia apresentada ao Curso Superior de Engenharia de Biosistemas do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharela em Engenharia de Biosistemas.**

**BANCA EXAMINADORA**

---

**Prof. Dr. Rummenigge de Macêdo Rodrigues  
Orientador (UATEC/CDSA/UFCG)**

---

**Dr. em Ecologia Leidson Allan Ferreira de Lucena  
Examinador I (UAEB/UFCG)**

---

**Eng. Agrônomo Danilson Correia da Silva  
Examinador II (UATEC/UFCG)**

**Trabalho aprovado em: 16 de fevereiro de 2023.**

**SUMÉ - PB**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, a quem é digno de toda minha gratidão.

Aos meus pais, que em todo este percurso estiveram me dando forças.

A meu companheiro de vida, Rodrigo, que sempre esteve comigo, que sonhou comigo essa conquista e sempre esteve presente para me apoiar, incentivar e vibrar comigo cada conquista, obrigado!

Aos meus familiares, meus avós, tios, primos, obrigado por todo o apoio, por acreditar e ajudar a construir o meu sonho.

Aos meus suportes que sempre estiveram ao meu lado, dando todo apoio Vanessa e Rubens, vocês são pessoas enviadas por Deus para fazer parte da minha vida.

A todos que fizeram parte dessa trajetória, cada um que caminhou comigo, sou imensamente grata a todos.

Ao CDSA, aos professores e colegas de curso, cada aprendizado adquirido para minha vida acadêmica e pessoal.

À banca examinadora, pela disponibilidade e por aceitarem gentilmente a contribuir com esse trabalho.

Ao Prof. Hugo Morais de Alcântara, por toda paciência e aprendizado.

Ao meu orientador, Dr. Rummenigge de Macêdo Rodrigues, pela contribuição acadêmica, por todo o esforço e todo o ensinamento.

E meu agradecimento mais do que especial vai para a minha Mãe Silvone, que foi e sempre será meu principal ponto de apoio, que sempre esteve presente em todos os momentos desta caminhada. Esta vitória é nossa!

Gratidão sempre.

## RESUMO

A erosão é a principal forma de degradação do solo no mundo, sendo a hídrica a mais predominante no Brasil. Este trabalho teve o objetivo quantificar a perda de fósforo associada pulsos de precipitação em áreas com diferentes tipos de cobertura vegetal, sendo P1 = Solo sem vegetação, P2 = solo sobre cultivo da palma forrageira e P3 = solo sobre vegetação nativa preservada. Durante o desenvolvimento da pesquisa, parcelas de perda de solo foram instaladas na área experimental do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, no município de Sumé, cariri paraibano. Os resultados mostraram que P1 apresentou as maiores quantidade de produção de sedimento, aproximadamente 1,4 t/ha, seguida da P3, com 0,88 kg/ha e P2 com 0,29 kg/ha. Quanto a lâmina escoada, na P1 foi constata do uma lâmina de 13,7 mm, seguida da P2 e P3, as quais apresentaram 0,277 e 0,042 mm respectivamente. Portanto, solos descobertos sofrem constantes perdas de material, apresentando maior produção de sedimentos, lâmina escoada e maior número de fósforo solúvel perdido, por outro lado a vegetação nativa conservada protege o solo e promove a permanência do fósforo naquele solo.

**Palavras-chave:** Erosão. Semiárido. Manejo e Conservação do Solo. Degradação Ambiental.

RIBEIRO, Milena Farias. **Quantification of phosphorus losses in sediments of a luvisol with and without plant cover in Cariri Paraibano (Brazil)**. 2023. 34f. Bachelor Thesis. Curso de Engenharia de Biossistemas, Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido, Universidade Federal de Campina Grande – Sumé – Paraíba – Brazil, 2023.

## **ABSTRACT**

The erosion is the main form of soil degradation in the world, being the hydric the most predominant in Brazil. This work aimed to quantify the loss of phosphorus associated pulses of precipitation in areas with different types of vegetation cover, being P1 = soil without vegetation, P2 = soil under cultivation of forage palm and P3 = soil under preserved native vegetation. During the development of the research, soil loss plots were installed in the experimental area of the Center for Sustainable Development of the Semiarid of the Federal University of Campina Grande, in the municipality of Sumé, cariri paraibano. The results showed that P1 presented the highest amounts of sediment production, approximately 1.4 t/ha, followed by P3, with 0.88 kg/ha and P2 with 0.29 kg/ha. As for the lamina drained, in P1 a lamina of 13.7 mm was verified, followed by P2 and P3, which presented 0.277 and 0.042 mm respectively. Therefore, bare soils suffer constant loss of material, presenting a greater production of sediment, runoff and a greater number of soluble phosphorus lost; on the other hand, the preserved native vegetation protects the soil and promotes the permanence of phosphorus in that soil.

**Keywords:** Erosion. Semiarid. Soil Management and Conservation. Ambiental degradation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Parcela 1 (P1) - Solo sem cobertura vegetal. ....	18
Figura 2 - Parcela 2 (P2) - Solo sob o cultivo da palma forrageira (Opuntia ficus-indica).....	19
Figura 3 - Parcela 3 (P3) - Solo protegido sob vegetação nativa conservada. ....	20
Figura 4 - Mediação do volume escoada na parcela.....	21
Figura 5 - Amostras em repouso.....	21
Figura 6 - Secagem das amostras em estufa de circulação de ar par obtenção da massa de sedimentos para amostras. ....	22
Figura 7 - Determinação de fósforo solúvel. ....	22



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Valores de temperatura máxima (T <sub>máx</sub> ), mínima (T <sub>mín</sub> ) e média (T <sub>méd</sub> ), evapotranspiração potencial (ETP), precipitação (P) e lâmina escoada (LE) nos meses de estudo.....	24
<b>Tabela 2</b> - Chuva, produção de sedimentos e lâmina escoada do solo sob diferentes coberturas do solo. ....	25
<b>Tabela 3</b> - Teores de fósforo solúvel determinados na lâmina escoada do solo em cada condição de cobertura do solo. Solo descoberto (P1), sob cultivo de palma forrageira (P2) e sob vegetação nativa (P3). ....	25

## LISTA DE ABREVIATURAS

CDSA	Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido.
ETP	Evapotranspiração potencial.
LAFHID	Laboratório de Fenômenos de Transporte, Hidráulica, Irrigação e Drenagem.
LE	Lâmina escoada.
MO	Matéria orgânica.
MOS	Matéria orgânica do solo.
P	Precipitação.
P1	Parcela 1.
P2	Parcela 2.
P3	Parcela 3.
PCD	Plataforma de coleta de dados.
$T_{(máx)}$	Temperatura máxima.
$T_{(méd)}$	Temperatura média.
$T_{(mín)}$	Temperatura mínima.
UFMG	Universidade Federal de Campina Grande.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>11</b>
<b>2.1 Objetivo Geral .....</b>	<b>11</b>
<b>2.2 Objetivos Específicos .....</b>	<b>11</b>
<b>3 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>12</b>
<b>3.1 Semiárido Brasileiro .....</b>	<b>12</b>
<b>3.2 Degradação do solo no Semiárido .....</b>	<b>13</b>
<b>3.3 Cobertura vegetal no Semiárido.....</b>	<b>14</b>
<b>3.4 Práticas conservacionistas no semiárido.....</b>	<b>15</b>
<b>4 METODOLOGIA.....</b>	<b>17</b>
<b>4.1 Local de execução da pesquisa .....</b>	<b>17</b>
<b>4.2 Monitoramento Hidroclimatológico .....</b>	<b>17</b>
<b>4.3 Parcelas experimentais e Monitoramento Hidrossedimentológico.....</b>	<b>17</b>
<b>5 RESULTADOS E DISCURSÕES.....</b>	<b>24</b>
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>26</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>27</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As terras áridas compreendem ecossistemas áridos e semiáridos e cobrem aproximadamente 40% da superfície da Terra (NICKAYIN *et al.*, 2022). No entanto, o efeito combinado das atividades naturais e humanas potencializou a degradação/desertificação do solo nesses ecossistemas (ARAUJO *et al.*, 2022). A degradação da terra devido à seca e à desertificação afeta aproximadamente 1,9 bilhão de hectares e aproximadamente 1,5 bilhão de pessoas em todo o mundo. O semiárido brasileiro apresenta uma grande área de 1,2 milhão de km<sup>2</sup>, sendo coberto por solos com elevada vulnerabilidade à desertificação devido às suas condições ambientais geológicas e climáticas (ALBUQUERQUE *et al.*, 2020).

Os solos desta região são geralmente mais jovens, rasos e menos desenvolvidos do que os solos das regiões tropicais úmidas do Brasil. Os principais processos pedogenéticos nos solos são formados de argila *in situ*, lessivagem, elutriação, salinização e sodificação. O principal tipo de solo na região de desertificação do semiárido brasileiro é classificado como Luvisolos (BARBOSA NETO *et al.*, 2020).

Em todo o mundo, os Luvisolos cobrem 500-600 milhões de hectares, principalmente em regiões temperadas, incluindo as planícies da Europa Oriental e partes da Sibéria Ocidental, nordeste dos Estados Unidos, Europa Central, região do Mediterrâneo e sul da Austrália. Em áreas subtropicais e tropicais, os Luvisolos ocupam principalmente superfícies de terra jovens (FAO, 2015). Essa classe de solo é encontrada no nordeste do Brasil, ocupando cerca de 107.000 km<sup>2</sup> da região semiárida. Na região semiárida do Brasil Luvisolos têm alta fertilidade devido a uma grande quantidade de argila com alta capacidade de troca iônica e alta saturação de bases em horizontes de subsuperfície (BARBOSA NETO *et al.*, 2020).

No entanto, a baixa ou a não cobertura vegetal tornam esses solos muito propensos a erosão. A cobertura vegetal tem sido amplamente recomendada como uma medida eficaz para o escoamento superficial e controle da erosão (TANG *et al.*, 2021). A cobertura vegetal do solo reduz a dispersão das partículas do solo e formação de crostas superficiais, contribuindo para a infiltração e além disso, favorece a infiltração, diminuindo a perda de solo (GHOLAMI *et al.*, 2013).

Além disso, o fósforo no solo apresenta uma dinâmica com diversos detalhes importantes que fazem a diferença quando o assunto é otimizar seu manejo de adubação. O teor de fósforo nos solos é limitado e isso é decorrente do material de origem desse solo (OCKENDEN *et al.*, 2017). As perdas de fósforo em terras agrícolas podem ser de curto ou longo prazo. As perdas de curto prazo ocorrem após eventos como a aplicação de fertilizantes

especialmente se estes coincidirem com condições de aplicação subótimas, por exemplo, condições de solo saturado (OCKENDEN *et al.*, 2017).

Ademais, as perdas de fósforo de longo prazo ao longo de vários anos podem se originar de acúmulos de nutrientes herdados nos solos, apesar de não ocorrer nenhuma aplicação de fósforo. Essas perdas normalmente ocorrem por meio de ações como drenagem subterrânea, escoamento superficial ou ocorrência de erosão do solo, que variam na magnitude e na frequência com que remobilizam as fontes de P do solo, dependendo de condições específicas (SHARPLEY *et al.*, 2015).

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo Geral

Diante desse contexto, a presente pesquisa se propôs avaliar a perda de fósforo nos solos com e sem cobertura vegetal associada a pulsos de precipitação.

### 2.2 Objetivos Específicos

- Realizar monitoramento hidroclimatológico em parcelas experimentais no município de Sumé, Cariri Paraibano, CDSA – UFCG;
- Quantificar a lâmina escoada, perda de fósforo e perda de solo por meio de três parcelas, com e sem coberturas vegetais;
- Realizar coleta de dados em estação de climatológica, em Datalogger CR1000, diretamente para notebook;
- Realizar coleta de amostras de água e sedimentos;
- Realizar separação das amostras, secagem e obtenção de massa seca após cada evento de chuva com consequente escoamento;
- Tabular os resultados obtidos para cada cheia, com apresentação de dados de lâmina escoada (mm), produção de sedimentos ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) e teores de fósforo solúvel (mg/L).

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Semiárido Brasileiro

A Região Nordeste do Brasil possui 1,56 milhões de km representando (18,2% do território nacional), compreende a maior parte do Semiárido brasileiro, que fica localizada na porção central dessa região, abrangendo os estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e parte do norte do Estado de Minas Gerais (Região Sudeste), a região Nordeste apresenta precipitação anual máxima de 800 mm, insolação média de 2.800 h.ano<sup>-1</sup>, temperaturas médias anuais que variam de 23 °C a 27 °C, evaporação média de 2.000 mm.ano<sup>-1</sup> e umidade relativa do ar média em torno de 50%. (EMBRAPA, 2010).

O relevo da região varia muito, o que contribui para o elevado número de grandes unidades de paisagens. A altitude média é de 400 m a 500 m, porém pode atingir 1000 m. O relevo está caracterizado por 37% da área ser de encostas com 4 a 12% de inclinação, além disso, 20% dessas encostas têm inclinação superior a 12%, portanto, determinando uma presença marcante de processos erosivos nas áreas antropizadas (SILVA, 2000).

Segundo Jacomine (1996), na região semiárida, há uma grande diversidade de litologias e material originário, relevo e regime de umidade do solo e estes fatores dão como resultados a presença de diversas classes de solos, as quais apresentam diferentes feições morfológicas e posições na paisagem. Existem quatro ordens de solos, de um total de quinze, que ocupam 66% da área sob caatinga, espacialmente fracionadas, sendo: Latossolos - 19%; Neossolos Litólicos - 19%; Argissolos - 15% e Luvisolos - 13%.

Cerca de 70% da precipitação na Caatinga ocorre em um único mês (DE ANDRADE *et al.*, 2017). As secas recorrentes podem durar anos e têm sido repetidamente responsáveis pela perda de colheitas, animais e vidas humanas, bem como pelo êxodo rural para grandes centros urbanos (DA SILVA *et al.*, 2017a; DA SILVA *et al.*, 2017b; BRAGAGNOLO *et al.*, 2017; DA SILVA *et al.*, 2020). Cerca de 94% da Caatinga apresenta risco moderado a alto de desertificação e é uma das vegetações mais sensíveis às mudanças climáticas no mundo (KASECKER *et al.*, 2018). As projeções climáticas futuras preveem secas mais longas e temperaturas mais altas (TORRES; LAPOLA; GAMARRA, 2017).

A remoção da cobertura original do solo do bioma caatinga é um dos primeiros indicadores dos processos de degradação e desertificação da região. Quando a cobertura vegetal nativa é protegida, a possibilidade de qualquer degradação é pequena e a degradação por causas

antrópicas é menor ainda. Portanto, a desertificação tende a começar com o desmatamento (SAMPAIO; ARAÚJO; SAMPAIO, 2005).

Com a retirada da cobertura vegetal desse bioma, toda a diversidade existente da região apresenta riscos, pois além de intervir nas condições físicas, atinge o desenvolvimento e a manutenção de atividades ligadas ao social, econômico e cultural. No entanto, a erosão é um dos problemas mais graves na escala de degradação, pois geralmente causa impactos irreversíveis ao meio ambiente. No que diz respeito ao Nordeste, mais precisamente ao Semiárido, os processos erosivos tornam-se preocupantes, uma vez que o solo é/está cada vez mais vulnerável, por motivo da ação antrópica intensificadora e à própria fragilidade do material pedológico: solos rasos, cascalhentos e muitas vezes arenoargiloso (BRASILEIRO, 2006).

As perdas de solo por processos erosivos na região semiárida podem ser muito mais amplas. A intensidade depende dos tipos de técnica e cultivo que estejam sendo usados. Geralmente, a perda é intensificada pelo desenvolvimento de culturas anuais, pois demandam sucessivamente uma maior exposição do solo e o seu revolvimento. No que se refere a processos erosivos, tecnicamente se pensa naqueles de maior amplitude: ravinamentos, voçorocas e deslizamentos. Contudo, a erosão que ocorre na região semiárida muitas vezes passa despercebida por não apresentar características alarmantes, porém possui um potencial de degradação bastante significativo (BRASILEIRO *et al.*, 2006).

### **3.2 Degradação do solo no Semiárido**

A degradação do solo é resultado da ação de um grande número de fatores (físicos, químicos, biológicos e antrópicos) e pode causar uma perda na capacidade do solo de fornecer serviços e funções ecossistêmicas em diferentes níveis de interação entre clima, vegetação, topografia, e também fatores socioeconômicos (WANG *et al.*, 2022). A mesma é determinada principalmente pela perda de matéria orgânica do solo (MOS), declínio da fertilidade, desequilíbrios de elementos nutrientes, acidificação e salinização (TAMENE *et al.*, 2019).

A matéria orgânica (MO) do solo é ampliada pela manutenção da cobertura do solo e é uma característica do solo fundamental para minimizar a degradação do solo (BAYER; MIELNICZUK, 1997). Grandes níveis de MO contribuem para reduzir a degradação ao aumentar a fertilidade do solo, estrutura e capacidade de infiltração de água (SHAHRIARI *et al.*, 2012).



A degradação física do solo é caracterizada por regular a porosidade do solo, infiltração e retenção de água, escoamento superficial, compactação do solo, flutuações da temperatura da superfície do solo, matéria orgânica do solo e outras alterações na estrutura do solo (RABOT *et al.*, 2018). Já, a degradação química do solo é caracterizada pela perda da fertilidade do solo, redução da capacidade de troca catiônica (CTC) com o aumento de alumínio, salinização do solo, acidificação, alcalinização e deficiência de nutrientes nas plantas (NIEDER *et al.*, 2018). O terceiro tipo é a degradação biológica do solo que pode ser ligada pelos teores de carbono orgânico do solo, especificamente causados pela erosão (VEUM *et al.*, 2014).

A ação antrópica quebra essa harmonia, rompendo o equilíbrio natural desse processo, dando origem a erosão acelerada (singularizada apenas como erosão), fenômeno que gera grandes prejuízos à sociedade (POESEN, 2018; EFTHIMIOU *et al.*, 2020). O crescente aumento populacional, juntamente com o consumo acelerado dos recursos naturais tem interferido severamente nas modificações da superfície terrestre, de tal forma que a exploração ocorre de maneira rápida, com falta de responsabilidade, sem a consciência de que parte dos recursos naturais são finitos ou de difícil recuperação, com destaque para a água e o solo (HAMIDOV *et al.*, 2018; CHALISE *et al.*, 2019).

Lepsch (2016) e De Queiroz *et al.* (2020) destacam que a região semiárida do Brasil apresenta tendências a ocorrência de erosões, devido à fraca estrutura de seus solos, bem como a elevada concentração de chuvas torrenciais em um curto período, ocasionando graves problemas ambientais como o assoreamento dos corpos hídricos superficiais. Nesse âmbito, Silva *et al.* (2019) retratam que além do assoreamento dos corpos hídricos, a erosão produz o empobrecimento de terras, em razão da perda da camada fértil do solo, além disso, causam prejuízos nas lavouras e auxiliam para o surgimento de áreas degradadas.

### **3.3 Cobertura vegetal no Semiárido**

As mudanças na cobertura vegetal influenciam o ciclo hidrológico regional por meio da regulação do balanço de energia da superfície e da evapotranspiração (BEGUE *et al.*, 2011; ZHANG *et al.*, 2011; CHEN *et al.*, 2014; LI *et al.*, 2016). Além disso, a cobertura vegetal afeta direta ou indiretamente os processos de erosão do solo (LEI *et al.*, 2014; DUAN *et al.*, 2016). Especificamente, a cobertura vegetal pode reduzir a energia cinética das gotas de chuva; e a camada de serapilheira poderia proteger as superfícies do solo (DUAN *et al.*, 2016), aumentam a rugosidade da superfície do solo, impedem o fluxo superficial e aumentam o tempo de infiltração (LEI *et al.*, 2014; ZHANG *et al.*, 2015; DUAN *et al.*, 2016).

Resíduos de culturas de cobertura são significativos para ampliar a infiltração de água no solo e diminuir o escoamento superficial e a erosão, além de auxiliar como uma forma primária de entrada de matéria orgânica que aumenta a atividade biológica do solo, conserva a umidade e controla a temperatura do solo (DERPSCH *et al.*, 2014). A cobertura vegetal realiza outro papel importante na proteção do solo contra a erosão, pois possui efeito direto inicial ao abrigar os agregados do solo da energia cinética das chuvas (PROSDOCIMI *et al.*, 2016).

A cobertura vegetal do solo apresenta vantagens, dentre as quais: i) diminui a dispersão das partículas do solo e formação de crostas superficiais, contribuindo para a infiltração (GHOLAMI *et al.*, 2013) e ii) a desaceleração do escoamento superficial, que também favorece a infiltração, reduzindo assim a perda de solo (LEYS *et al.*, 2010). A ausência de cobertura vegetal natural e as perturbações das atividades agrícolas frequentemente deixam o solo suscetível ao impacto das gotas de chuva e levam ao encrostamento e compactação do solo, limitando a porosidade, permeabilidade, infiltração e transporte vertical de nutrientes, acompanhado do aumento do escoamento (BLUETT *et al.*, 2019).

### **3.4 Práticas conservacionistas no semiárido**

O preparo e o manejo do uso da terra são as chaves para impedir a degradação do solo (ORCHARD *et al.*, 2013). A qualidade do solo só pode ser obtida pela conservação de características adequadas, que incluem sua biomassa, estrutura, armazenamento de água, ciclagem de nutrientes, atividade biológica e diversidade (AZIZSOLTANI *et al.*, 2019). Além do mais, os solos são um constituinte fundamental para a produção de alimentos e fibras, além de conservar a qualidade da região e do mundo, pois são a base da agricultura e da comunidade vegetal natural (DORAN; ZEISS, 2000).

As práticas de conservação do solo e da água são constantemente consideradas como serviços ecológicos por proporcionar benefícios positivos ao meio ambiente (CHEN *et al.*, 2020). Para proteger a cobertura do solo, diversos métodos biológicos e de engenharia de conservação do solo e da água são utilizados em todo o mundo (CHEN *et al.*, 2020; DAS *et al.*, 2022). Entre as práticas de conservação destacam-se o cultivo de contorno, cultivo de cobertura, cobertura de grama, cultivo em faixa, cobertura morta, cerca viva, cultivo em terraço, pedra e diques de solo, cultivo reduzido e plantio direto são os mais frequentemente usados (BOARDMAN; POESEN, 2007).

Culturas de cobertura, cobertura de grama e cobertura morta diminuem especialmente o impacto direto das gotas de chuva sobre o solo superficial (ZHU; ZHANG, 2016). Essas, em conjunto com outras práticas, como cultivo em contorno, cultivo em terraços, cercas vivas, cultivo em faixas e cômoros, contribuem para controlar o fluxo de escoamento superficial e diminuir a energia erosiva da água corrente (GUO, 2018; CHALISE *et al.*, 2019) na mesma proporção que o preparo reduzido e o plantio direto diminuem a perturbação das camadas do solo, conservando a estrutura do solo e a resistência à erosão (KLIK; ROSNER, 2020).

## 4 METODOLOGIA

### 4.2 Local de execução da pesquisa

O trabalho foi realizado na área experimental do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina grande, a partir de parcelas de perda de solo instaladas sob diferentes coberturas vegetais e as determinações analíticas realizadas no Laboratório de Fenômenos de Transporte, Hidráulica, Hidrologia, Irrigação e Drenagem - LAFHID, do mesmo Centro.

### 4.3 Monitoramento Hidroclimatológico

O monitoramento hidroclimatológico foi realizado por meio de Plataforma de Coleta de Dados (PCD) do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande. A estação é composta por uma central de tratamento e armazenamento de dados (DataLogger CR1000) conectada a sensores (temperatura, umidade, pluviômetro, etc.) coletores de dados hidrológicos. Os dados foram extraídos conectando-se um notebook na PCD cuja interface é dada por um software específico do DataLogger.

### 4.4 Parcelas experimentais e Monitoramento Hidrossedimentológico

Para o Monitoramento Hidrossedimentológico, foram instaladas parcelas de perda de solo em três situações: P1 = solo sem cobertura vegetal; P2 = solo sob o cultivo de palma forrageira (*Opuntia ficus-indica*) e P3 = solo protegido sob vegetação nativa conservada. A vegetação da Caatinga é um mosaico de cerrado e manchas de floresta seca (LEAL *et al.*, 2005), que tem sido considerada como uma floresta tropical sazonalmente seca no nordeste do Brasil (BULLOCK *et al.*, 1995; SANTOS *et al.*, 2011). Esta área biogeográfica singular (cobrindo cerca de 800.000 km<sup>2</sup>) abriga mais de 1.500 espécies de plantas, incluindo uma miríade de espécies endêmicas; ou seja, quase 1/3 da flora da Caatinga é composta por espécies endêmicas (ARAÚJO *et al.*, 2007; ALBUQUERQUE *et al.*, 2012).

As parcelas constaram de uma área delimitada de 2,4 m<sup>2</sup> (0,70 x 3,4 m) conectada a um sistema de coleta de sedimento. A delimitação da parcela foi feita com folha de zinco, com altura de 0,30 m, sendo 0,15 m enterrado no solo. O sistema de coleta de sedimentos consta com um balde de 20 L, conectado a parcela por tubo e conexões de PVC de 40 mm.

**Figura 1** – Parcela 1 (P1) - Solo sem cobertura vegetal.



**Fonte:** Acervo do Autor, 2023

**Figura 2** - Parcela 2 (P2) - Solo sob o cultivo da palma forrageira (*Opuntia ficus-indica*).



**Fonte:** Acervo do Autor, 2023

**Figura 3** - Parcela 3 (P3) - Solo protegido sob vegetação nativa conservada.



Fonte: Acervo do Autor, 2023

Após a instalação das parcelas, cada evento de precipitação foi quantificado, caso ocorresse o registro da precipitação com consequente escoamento. As coletas de amostra de água e sedimentos foram realizadas após cada chuva.

**Figura 4** - Mediação do volume escoada na parcela.



Fonte: Acervo do autor, 2023

Após a coleta, as amostras foram postas em repouso para decantação dos sedimentos, foi retirada uma alíquota para determinação de fósforo solúvel, conforme Teixeira *et al.* (2017), posteriormente feita a secagem em estufa e quantificação da massa seca de sedimentos em cada amostra.

**Figura 5** - Amostras em repouso.



Fonte: Acervo do autor, 2023



**Figura 6** - Secagem das amostras em estufa de circulação de ar par obtenção da massa de sedimentos para amostras.



**Fonte:** Acervo do Autor, 2023

**Figura 7** - Determinação de fósforo solúvel.



**Fonte:** Acervo do Autor, 2023

Após a identificação da massa seca em quilogramas que foi obtida após a secagem na estufa de circulação de ar através de uma balança analítica, de cada evento de cheia e, do volume escoado, se quantificou a lâmina escoada em milímetros e a produção de sedimentos em quilogramas por hectare.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 1 encontram-se os valores de temperatura máxima (T<sub>máx</sub>), mínima (T<sub>mín</sub>) e média (T<sub>méd</sub>), evapotranspiração potencial (ETP), precipitação (P) e lâmina escoada (LE) nos meses de estudo. Observa-se que as temperaturas variaram ao longo dos meses apresentando maior média no mês de maio e menor no mês de julho. A ETP alcançou valores bastante elevados, em torno de 4,5 mm/dia. Conseqüentemente a precipitação foi baixa, como também é característica da região semiárida, sendo constatada uma relação ETP/P de aproximadamente 2,4, bem como uma relação LE/P de aproximadamente 0,2.

**Tabela 1** - Valores de temperatura máxima (T<sub>máx</sub>), mínima (T<sub>mín</sub>) e média (T<sub>méd</sub>), evapotranspiração potencial (ETP), precipitação (P) e lâmina escoada (LE) nos meses de estudo.

Mês	T <sub>máx</sub>	T <sub>mín</sub> °C	T <sub>méd</sub>	ETP (mm/mês) mm.mês <sup>-1</sup>	P (mm)	LE (mm) mm
<b>Maio</b>	33,0	17,0	24,3	153,1	72,8	0,14
<b>Junho</b>	29,0	17,0	23,5	122,6	74,3	1,71
<b>Julho</b>	29,0	14,0	21,6	133,5	22,3	1,10
<b>Média</b>	30,3	16,0	23,1	136,40	56,5	0,97

**Fonte:** construída com os dados da pesquisa

Na tabela 2 encontram-se os valores de chuva, produção de sedimentos e lâmina escoada nas parcelas P1, P2 e P3, respectivamente. Nota-se que na P1, solo descoberto, a produção total de sedimentos alcançou 1.377, 45 kg/ha e uma lâmina de 13,7 mm, sendo muitas vezes maior do que o solo sob palma e vegetação nativa. Segundo Bertol *et al.* (2019), vários fatores influenciam a erosão hídrica pluvial, aqueles relacionados as características da chuva, como duração, intensidade e frequência, características do solo, como estabilidade de agregados, granulometria, capacidade de infiltração, características do relevo, sendo a cobertura e o manejo do solo os mais complexos.

Estudos anteriores mostraram que o escoamento pode ser afetado por fatores naturais e antropogênicos. Entre os fatores naturais, como precipitação, temperatura, declive e solo, a precipitação é o fator de controle de escoamento mais significativo (ZHAI *et al.*, 2020). A produção de sedimentos pode ser afetada por solos, topografia, cobertura vegetal, vazão e declive (SHAO *et al.*, 2016).

**Tabela 2** - Chuva, produção de sedimentos e lâmina escoada do solo sob diferentes coberturas do solo.

Data	Chuva (mm)	Produção de sedimentos (kg/ha)			Lâmina escoada (mm)		
		P1	P2	P3	P1	P2	P3
Mês 1	12,5	11,55	0,00	0,00	0,253	0,000	0,000
Mês 2	11,0	143,95	0,00	0,00	1,993	0,000	0,000
	18,3	1.044,37	0,00	0,00	8,428	0,000	0,000
Mês 3	5,5	177,58	0,29	0,88	3,055	0,277	0,042
<b>TOTAL</b>		<b>1.377,45</b>	<b>0,29</b>	<b>0,88</b>	<b>13,729</b>	<b>0,277</b>	<b>0,042</b>

Quanto aos teores de fósforo, observa-se que o solo quando desprotegido devido a maior lâmina escoada encerra por apresentar as maiores perdas de fósforo. Conforme constata-se na tabela 3, os teores totais de fósforo solúvel por parcela foram de 4,9; 0,1 e 0,01 mg/L. Dessa forma, é possível comprovar a importância da cobertura do solo na preservação da qualidade dos solos, destacando o papel da vegetação nativa na manutenção dos ciclos biogeoquímicos e na totalidade das funções desempenhas pelo solo no ecossistema.

**Tabela 3** - Teores de fósforo solúvel determinados na lâmina escoada do solo em cada condição de cobertura do solo. Solo descoberto (P1), sob cultivo de palma forrageira (P2) e sob vegetação nativa (P3).

Data	Chuva (mm)	Teores de Fósforo solúvel (mg/L)		
		P1	P2	P3
Mês 1	12.5	1,56	0,00	0,00
Mês 2	11,0	0,31	0,00	0,00
	18.3	1,60	0,00	0,00
Mês 3	5.5	1,42	0,00	0,00
<b>TOTAL</b>		<b>4.90</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>

**Fonte:** construída com os dados da pesquisa

A cobertura vegetal exerce um papel importante no solo, pois ajuda na infiltração da água no solo e diminui o escoamento superficial e a erosão, além de auxiliar como uma forma primária de entrada de matéria orgânica que aumenta a atividade biológica do solo, conserva a umidade e controla a temperatura do solo, além disso, possui efeito direto inicial ao abrigar os agregados do solo da energia cinética das chuvas (DERPSCH *et al.*, 2014).

## 6 CONCLUSÃO

Os Luvisolos estão sujeitos a perdas consideráveis de solo, sendo estas perdas diretamente relacionadas a cobertura que protege o solo. Solos desprotegidos apresentam elevada suscetibilidade a erosão e são os principais produtores de sedimentos e os que apresentam as maiores perdas de fósforo. Por outro lado, solos sob vegetação nativa reduzem os efeitos erosivos e mantêm quase que a totalidade de fósforo *in locu*.

## REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, D.S; SOUZA, S.D.G; SOUZA, C.A.N; SOUSA, M.L.M. Desertification scenario in Brazilian territory and actions to combat the problem in the State of Ceará. **Sociedade e Ambiente no Semiárido**, v.15, p. 673 - 696, 2020.

ALBUQUERQUE, U.P. ARAÚJO, E.L. EL-DEIR, A.C.A.; LIMA, A.L.A.; SOUTO, A.; BEZERRA, B.L. Caatinga revisited: ecology and conservation of an important seasonal dry forest. **Scientific World Journal**, v.2012, p. 1-18, 2012.

ARAUJO, A.S.F; DE ARAUJO PEREIRA, A.P; MELO, V.M.M; DE MEDEIROS, E.V; MENDES, L.W. Environmental DNA sequencing to monitor restoration practices on soil bacterial and archaeal communities in soils under desertification in the Brazilian Semiarid, **Microb. Ecol.**, 2022.

ARAÚJO, E.L.; CASTRO, C.C.; ALBUQUERQUE, U. P. Dynamics of Brazilian Caatinga — a review concerning the plants, environment and people, **Funct Ecosyst Commun**, v.1, p.15-28, 2007.

AZIZSOLTANI, E.; How soil pore distribution could help in soil quality studies as an appropriate indicator, **Eurasian Soil Sci.**, v.52, n.6, p.654-660, 2019.

BAO, G.; BAO, Y.; SANJJAVA, A. NDVI-indicated long-term vegetation dynamics in Mongolia and their response to climate change at biome scale, **Int. J. Climatol**, v.35, n.14, p.4293-4306, 2016.

BARBOSA NETO, M.V.B; DE ARAÚJO, M.D.S.B; DE ARAÚJO FILHO, J.C; SAMPAIO, E.V.D.S.B; DE ALMEIDA, B.G. Rill and sheet soil erosion estimation in an area undergoing desertification in the Brazilian semi-arid region, **Model. Earth Syst. Environ**, v.7, p.1183-1191, 2020.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura, **Rev. Bras. Ciência do Solo**, v.21, n.1, p.105-112, 1997.

BEGUE, A.; VINTROU, E.; RUELLAND, D. Can a 25-year trend in Soudano-Sahelian vegetation dynamics be interpreted in terms of land use change? A remote sensing approach, **Glob. Environ. Chang**, v.21, p.423-420, 2011.

BERTOL, I.; CASSOL, E. A.; BARBOSA, F. T. Erosão do Solo. In: BERTOL, I.; DE MARIA, I C.; SOUZA, L. S. **Manejo e conservação do solo e da água**. Eds. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 423 – 460, 2019.

BLUETT, C.; TULLBERG, J.N.; MCPHEE, J.E.; ANTILLE, D.L. Soil and tillage research: why still focus on soil compaction? **Soil Tillage Res**, v.194, Article 104282, 2019.

BOARDMAN, J.; POESEN (EDS.), J. **Soil erosion in Europe**, John Wiley & Sons, 2007, 855 p.

BRAGAGNOLO, C., VIEIRA, F.A., CORREIA, R.A., MALHADO, A.C.M., LADLE, R.J., Cultural services in the caatinga. In: DA SILVA, J.M.C., LEAL, I.R., TABARELLI, M. (EDS.), **Caatinga**. Springer, Cham, p. 335–355, 2017.

BRASILEIRO, R.S. **Agricultura orgânica e conservação ambiental: uma alternativa de fortalecimento da produção familiar no assentamento Chico Mendes em Pombos/PE**. Dissertação (Mestrado) UFPE – CFCH – Dept. de Geografia, 157f, Recife – PE, v.05, n. 5, p.03-05, 2006.

BULLOCK, S.H.; MOONEY, H.A.; MOONEY, E. **Seasonally dry tropical forests**. Cambridge University Press, New York, 1995.

CHEN, J.; XIAO, H.; LI, Z.; LIU, C.; NING, K.; TANG, C. How effective are soil and water conservation measures (SWCMs) in reducing soil and water losses in the red soil hilly region of China? A meta-analysis of field plot data, **Sci. Total Environ**, v,735, Article 139517, 2020.

CHEN, T.; DE, J.R.A.M.; LIU, Y.Y.L. Sing satellite based soil moisture to quantify the water driven variability in NDVI: A case study over mainland Australia, **Remote Sens. Environ**, v.140, n.140, p.330-338, 2014.

DA SILVA, J.M.C., BARBOSA, L.C.F., DE SOUZA PINTO, L.P., CHENNAULT, C.M., Sustainable development in the Caatinga. In: DA SILVA, J.M.C., LEAL, I.R., TABARELLI, M. (EDS.), **Caatinga**. Springer, Cham, p. 445–458, 2017a.

DA SILVA, J.M.C., BARBOSA, L.C.F., LEAL, I.R., TABARELLI, M., The Caatinga: understanding the challenges. In: DA SILVA, J.M.C., LEAL, I.R., TABARELLI, M. (EDS.), **Caatinga**. Springer, Cham, p. 3–19, 2017b.

DA SILVA, R.M.A., DE AQUINO, J.R., COSTA, F.B., NUNES, E.M., Características produtivas e socioambientais da agricultura familiar no Semiárido brasileiro: evidências a partir do Censo Agropecuário de 2017. **Desenvolv. e Meio Ambient**, P.55, 2020.

DAS, S.; CHATTERJEE, S.; RAJBANSHI, J. Responses of soil organic carbon to conservation practices including climate-smart agriculture in tropical and subtropical regions: a meta-analysis, **Sci. Total Environ**, v.805, Article 150428, 2022.

DE ANDRADE, E.M., DO NASCIMENTO A, D., CHAVES, L.C.G., LOPES, F.B., Water as capital and its uses in the Caatinga. In: da Silva, J.M.C., LEAL, I.R., TABARELLI, M. (EDS.), **Caatinga. Springer, Cham**, p. 281–302, 2017.

DE QUEIROZ, M. G.; DA SILVA, T. G. F.; ZOLNIER, S.; JARDIM, A. M. D. R. F.; DE SOUZA, C. A. A.; JÚNIOR, G. D. N. A.; E DE SOUZA, L. S. B., Spatial and temporal dynamics of soil moisture for surfaces with a change in land use in the semi-arid region of Brazil. **Catena**, v. 188, p. 104457, 2020.

DERPSCH, R.; FRANZLUEBBERS, R. A.J.; DUIKER, S.W.; REICOSKY, D.C.; KOELLER, K.; FRIEDRICH, T.; STURNY, W.G.; SÁ, J.C.M.; WEISS, K. Why do we need to standardize no-tillage research? **Soil Tillage Res.**, v.137, p.16-22, 2014.

DORAN, J.W.; ZEISS, M.R. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality, **Appl. Soil Ecol.**, v.15, n.1, p.3-11, 2000.

DUAN, L.; HUANG, M.; ZHANG, L. Differences in hydrological responses for different vegetation types on a steep slope on the Loess Plateau, **China. Journal of Hydrology**, v.537, n.537, p.356-366, 2016.

EFTHIMIOU, N.; PSOMIADIS, E.; PANAGOS, P., Fire severity and soil erosion susceptibility mapping using multi-temporal earth observation data: the case of mati fatal wildfire in eastern Attica, Greece. **Catena**, v.187, p.104320, 2020.

FAO. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015 International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. **World Soil Resources Reports No. P.106**. FAO, Rome, 2015.

GHOLAMI, L.; SADEGHI, S.H.; HOMAEE, M. Straw mulching effect on splash erosion, runoff and sediment yield from eroded plots, **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.77, n.1, p. 268-278, 2013.

GUO, W. Application of geographic information system and automated guidance system in optimizing contour and terrace farming, **Agriculture (Switzerland)**, v.8, n.9, 2018.



HAMIDOV, A.; HELMING, K.; BELLOCCHI, G.; BOJAR, W.; DALGAARD, T.; GHALEY, B. B.; & SCHÖNHART, M. Impacts of climate change adaptation options on soil functions: a review of european case-studies. **Land degradation & development**, p.29,-2389, 2018.

KASECKER, T.P., RAMOS-NETO, M.B., DA SILVA, J.M.C., SCARANO, F.R. Ecosystem-based adaptation to climate change: defining hotspot municipalities for policy design and implementation in Brazil. **Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Change**, v. 23 n. 6, p.981–993, 2018.

KLIK, A.; ROSNER, J. Long-term experience with conservation tillage practices in Austria: impacts on soil erosion processes, **Soil Tillage Res.**, v.203, p. 1- 4, 2020.

LEAL, I.R.; SILVA, J.M.C.; TABARELLI, M.; LACHER JUNIOR, T.E. Changing the course of biodiversity conservation in the Caatinga of northeastern Brazil, **Conserv Biol**, v.19, p.701-706, 2005.

LEI, H.; YANG, D.; HUANG, M. Impacts of climate change and vegetation dynamics on runoff in the mountainous region of the Haihe River basin in the past five decades, **J. Hydrol**, v.511, n.4, p.786-799, 2014.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**, 2ed. São paulo: oficina de textos, p.178, 2016.

LEYS, A.; GOVERS, G.; GILLIJNS, K.; BERCKMOES, E.; TAKKEN, I. Scale effects on runoff and erosion losses from arable land under conservation and conventional tillage: The role of residue cover, **J. Hydrol.**, v.390, n.3-4, p.143-154, 2010.

LI, S.; LIANG, W.; FU, B. Vegetation changes in recent large-scale ecological restoration projects and subsequent impact on water resources in China's Loess Plateau, **Science of the Total Environment**, v.569-570, p.1032-1039, 2016.

NICKAYIN, S.S; COLUZZI, R; MARUCCI, A; BIANCHINI, L; SALVATI, L; CUDLIN, P; IMBRENDA, V. Desertification risk fuels spatial polarization in ‘affected’ and ‘unaffected’ landscapes in Italy, **Sci. Rep**, v.12, p.1-11, 2022.

NIEDER, R.; BENBI, D.K.; REICHL, F.X. Soil Components and Human Health, **Springer, Berlin, Germany**, p.223-255, 2018.

OCKENDEN, M.C.; HOLLOWAY, M.J.; BEVEN, K.J.; COLLINS, A.L.; EVANS, R.; FALLOON, P.D.; FORBER, K.J.; HISCOCK, K.M.; KAHANA, R.; MACLEOD, C.J.A.; TYCH, W.; VILLAMIZAR, M.L.; WEARING, C.; WITHERS, O.J.A.; ZHOU, J.G.; BARKER, P.A.; BURKE, S.; FREER, J.E.; JOHNES, P.J.; SNELL, M.A.; SURRIDGE, B.W.J.; HAYGARTH, P.M. Major agricultural changes required to mitigate phosphorus losses under climate change, **Nat. Commun**, v.8, n.161, 2017.

ORCHARD, C.M.; LORENTZ, S.A.; JEWITT, G.P.W.; CHAPLOT, V.A.M. Spatial and temporal variations of overland flow during rainfall events and in relation to catchment conditions, **Hydrol. Process**, v.17, n.16, p.2325-2338, 2013.

PENNINGTON, T.D.; Flora da Reserva Ducke, Amazonas, Brasil: Sapotaceae. **Rodriguésia**, v.57, p.251-366, 2006.

POESEN, J. Soil erosion in the anthropocene: research needs. **Earth surface processes and landforms**, n.43, p.64-84, 2018. Disponível: <https://doi.org/10.1002/esp.4250>. Acesso: 09 de jan. 2023.

RABOT, E.; WIESMEIER, M.; SCHLÜTER, S.; VOGEL, H.J. Soil structure as an indicator of soil functions: a review, **Geoderma**, v. 314, p.122-137, 2018.

SAMPAIO, E. V.S.B.; ARAÚJO, M.S B.; SAMPAIO, Y.S.B. Impactos ambientais da agricultura no processo de desertificação no Nordeste do Brasil. **Revista de Geografia**. Recife: UFPE – DCG/NAPA, v. 22, nº 1, jan/jun. 2005.

SANTOS, J.C.; LEO, I.R.; ALMEIDA-CORTEZ, J.S.; FERNANDES, G.W.; TABARELLI, M. Caatinga: the scientific negligence experienced by a dry tropical forest, **Trop Conserv Sci**, v.4, p.276-286, 2011.

SHAHRIARI, A. Effect of a long-term cultivation and crop rotations on organic carbon in loess derived soils of Golestan Province, Northern Iran, **Int. J. Plant Prod**, v.5, n.2, p.147-152, 2012.

SHAO, M.A.; JIA, X.; WANG, Y.; ZHU, Y. A review of studies on dried soil layers in the loess plateau, **Adv. Atmos. Sci**, v.31, n.1, p.14-22, 2016.

SHARPLEY, A.N.; BERGSTRÖM, L.; ARONSSON, H.; BECHMANN, M.; BOLSTER, C.H.; BÖRLING, K.; DJODJIC, F.; JARVIE, H.P.; SCHOUMANS, O.F.; STAMM, C.; TONDERSKI, K.S.; ULÉN, B.; UUSITALO, R.; WITHERS, P.J.A. Future agriculture with minimized phosphorus losses to waters: Research needs and direction, **Ambio**, v.44, n.2, 2015.

SILVA, J. R. C. Erosão e produtividade do solo no semi-árido. In: OLIVEIRA, T. S.; ASSIS, JÚNIOR, R. N.; ROMERO, R. E; SILVA, J. R. C. **Agricultura, sustentabilidade e o semi-árido**. Fortaleza: UFC, p. 168-213, 2000.

TAMENE, L.; SILESHI, G.W.; Ndengu, G.; Mponela, P.; Kihara, J.; Sila, A.; Tondoh, J. Soil structural degradation and nutrient limitations across land use categories and climatic zones in Southern Africa, **Land Degrad. Dev.**, v.30, n.11, p.1288-1299, 2019.

TANG, C.; LIU, Y.; LI, Z.; GUO, L.; XU, L.; ZHAO, J. Effectiveness of vegetation cover pattern on regulating soil erosion and runoff generation in red soil environment, southern China. **Ecological Indicators**, v.129, 2021.

TORRES, R.R., LAPOLA, D.M., GAMARRA, N.L.R., Future climate change in the Caatinga. In: DA SILVA, J.M.C., LEAL, I.R., TABARELLI, M. (EDS.), **Caatinga**. Springer, Cham, p. 383–410, 2017.

VEUM, K.S.; GOYNE, K.W.; KREMER, R.J.; MILES, R.J.; SUDDUTH, K.A. Biological indicators of soil quality and soil organic matter characteristics in an agricultural management continuum, **Biogeochemistry**, v.117, v.1, p.81-99, 2014.

WANG, J.; LU, P.; VALENTE, D.; PETROSILLO, L.; BABU, S.; XU, S.; LI, C.; HUANG, D.; LIU, M. Analysis of soil erosion characteristics in small watershed of the loess tableland Plateau of China, **Ecol. Indic**, 2022.

ZHAI, R.; TAO, F.L.; LALL, U.; FU, B.J.; ELLIOTT, J.; JAGERMEYR, J.; AHN, K.H.; MERWADE.V. Larger drought and flood hazards and adverse impacts on population and economic productivity under 2.0 than 1.5 degrees C warming, **Earth's Future**, n.8, p.7, 2020.

ZHANG, W.; AN, S.; XU, Z. The impact of vegetation and soil on runoff regulation in headwater streams on the east Qinghai-Tibet Plateau, **Catena**, v.87, n.2, p.182-189, China, 2011.

ZHU, H.; ZHANG, L.M. Field investigation of erosion resistance of common grass species for soil bioengineering in Hong Kong, **Acta Geotech.**, v.11, n.5, p.1047 - 1059, 2016.